

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

## Ingeniería Civil

Cátedra: Tecnología de los Materiales de  
Construcción

Tema: *"Cales, Puzolanas, Cemento Portland:  
fabricación, hidratación, propiedades"*

Ing. Civil Carlos E. Baronetto - Profesor adjunto  
carlosbaronetto@gmail.com

# LIGANTES

## SEGÚN SU FORMA DE REACCIONAR

- **AÉREOS**

- Cal aérea

- **HIDRÁULICOS**

- Cemento

- Cemento de albañilería

- Cal hidráulica

- **PUZOLANAS**

# LIGANTES

## SEGÚN SU FORMA DE REACCIONAR

- **AÉREOS**

- Cal aérea

- **HIDRÁULICOS**

- Cemento

- Cemento de albañilería

- Cal hidráulica

- **PUZOLANAS**

# CAL

- AEREA

- HIDRAULICA



# CAL AÉREA

Producto obtenido mediante la calcinación de rocas ricas en  $\text{CaCO}_3$ , que pueden contener además  $\text{MgCO}_3$  y pequeñas cantidades de otras sustancias (impurezas)

El  $\text{OCa}$  resultante de la cocción de los carbonatos se llama "cal viva", la que se hidrata con adición de agua, tomando entonces el nombre de cal hidratada o cal apagada.-

# CAL AÉREA

## CICLO DE LA CAL

### **CALCINACION:**



### **HIDRATACION:**



# CAL AÉREA

## HIDRATACIÓN DEL $OCa$

**A POCA AGUA (Cal Hidratada)**

- aspersion
- inmersión
- autoclave

**POR ANEGAMIENTO (Cal en pasta)**



**APAGADO DE LA CAL VIVA**

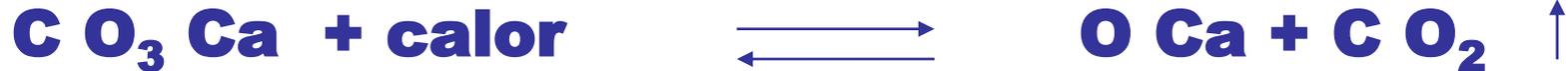
**CAL EN PASTA**



# CAL AÉREA

## CICLO DE LA CAL

### CALCINACION:



### HIDRATACION:



### CARBONATACION:



# **CAL AÉREA (hidratada en obra):**

## **Aspectos a considerar**

**ESPACIO**

**DEMORAS**

**PELIGROS DURANTE EL PROCESO DE APAGADO**

**PROBLEMAS DE MALA HIDRATACIÓN**

**PLASTICIDAD Y FACILIDAD PARA TRABAJO**

# CAL AÉREA: Aspectos a considerar

**Hidratación  
deficiente**



# LIGANTES

## SEGÚN SU FORMA DE REACCIONAR

- **AÉREOS**

- Cal aérea

- **HIDRÁULICOS**

- Cemento

- Cemento de albañilería

- Cal hidráulica

- **PUZOLANAS**

## CEMENTO:

Es un conglomerante hidráulico, que se fabrica moliendo finamente una mezcla de materiales arcillosos y calizas, que se calcina en un horno hasta la fusión parcial (sinterización).

De esta forma se obtiene el clinker, que luego pulverizado y con la adición de 2.5 a 5 % de yeso, se convierte en un producto que se combina químicamente con el agua y endurece.-

# FABRICACIÓN DE CEMENTOS



## 1 Explotación

La piedra caliza, materia prima principal en la fabricación de cemento, se extrae de la cantera mediante explosivos.

## ➔ Explotación

# FABRICACIÓN DE CEMENTOS



## 1 Explotación

La piedra caliza, materia prima principal en la fabricación de cemento, se extrae de la cantera mediante explosivos.



## 2 Transporte

La piedra es transportada en camiones de gran porte a la planta de trituración. A la caliza extraída se le realizan análisis químicos completos.

➔ Explotación

➔ Transporte

# FABRICACIÓN DE CEMENTOS



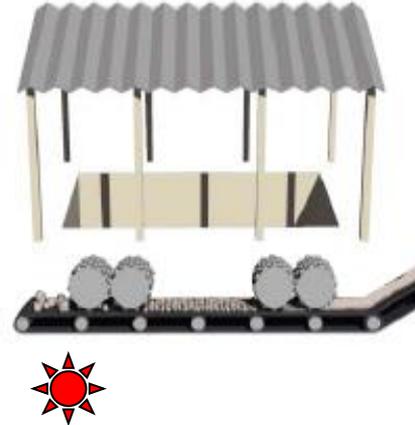
## 1 Explotación

La piedra caliza, materia prima principal en la fabricación de cemento, se extrae de la cantera mediante explosivos.



## 2 Transporte

La piedra es transportada en camiones de gran porte a la planta de trituración. A la caliza extraída se le realizan análisis químicos completos.



## 3 Trituradora

La piedra caliza se reduce de tamaño, para adecuarla al proceso, por medio de dos trituradoras denominadas Primaria y Secundaria cuya producción es de 600 Tn/h.

➔ Explotación

➔ Transporte

➔ Trituración



# FABRICACIÓN DE CEMENTOS



## 1 Explotación

La piedra caliza, materia prima principal en la fabricación de cemento, se extrae de la cantera mediante explosivos.



## 2 Transporte

La piedra es transportada en camiones de gran porte a la planta de trituración. A la caliza extraída se le realizan análisis químicos completos.



## 3 Trituradora

La piedra caliza se reduce de tamaño, para adecuarla al proceso, por medio de dos trituradoras denominadas Primaria y Secundaria cuya producción es de 600 Tn/h.

## 4 Formación de escombreras

A la salida de las trituradoras un sistema **on line** analiza la piedra que va al stock (la escombrera), garantizando la calidad del material. La escombrera tiene una capacidad de 25000 Tn.

➔ Explotación

➔ Transporte

➔ Trituración

➔ Formación de Escombreras

# FABRICACIÓN DE CEMENTOS

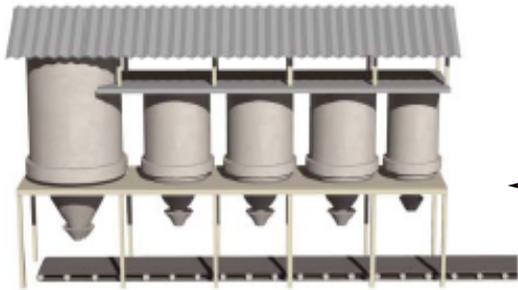


## 5 Almacenamiento y Dosificación

En los silos de materias primas está la caliza proveniente de la escombrera y otros componentes minoritarios que actúan como correctores para realizar el ajuste químico final del material que deberá ingresar al horno.

## → Almacenamiento y Dosificación

# FABRICACIÓN DE CEMENTOS



Molino vertical



## 5 Almacenamiento y Dosificación

En los silos de materias primas está la caliza proveniente de la escombrera y otros componentes minoritarios que actúan como correctores para realizar el ajuste químico final del material que deberá ingresar al horno.

## 6 Molienda de crudo

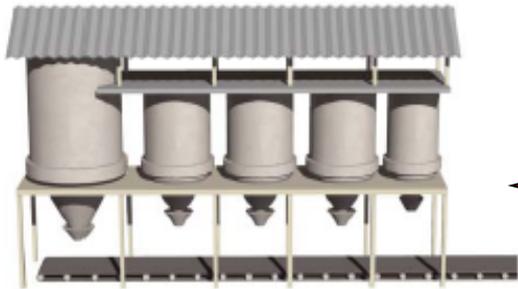
Los materiales se dosifican e ingresan al molino vertical de 300 Tn/h para ser molidos. El material finamente molido, llamado Harina Cruda, es muestreado en forma continua y analizado por Espectroscopía de Rayos X controlando su calidad final antes de ingresar al horno.

→ Almacenamiento y Dosificación

→ Molienda de crudo



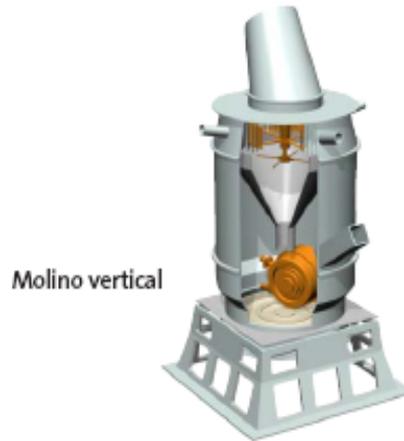
# FABRICACIÓN DE CEMENTOS



## 5 Almacenamiento y Dosificación

En los silos de materias primas está la caliza proveniente de la escombrera y otros componentes minoritarios que actúan como correctores para realizar el ajuste químico final del material que deberá ingresar al horno.

➔ Almacenamiento y Dosificación

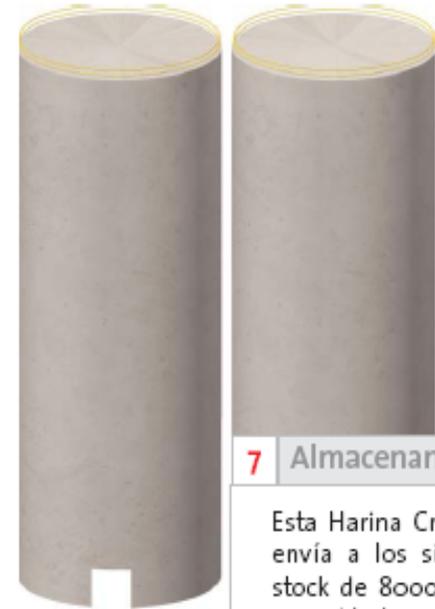


Molino vertical

## 6 Molienda de crudo

Los materiales se dosifican e ingresan al molino vertical de 300 Tn/h para ser molidos. El material finamente molido, llamado Harina Cruda, es muestreado en forma continua y analizado por Espectroscopía de Rayos X controlando su calidad final antes de ingresar al horno.

➔ Molienda de crudo



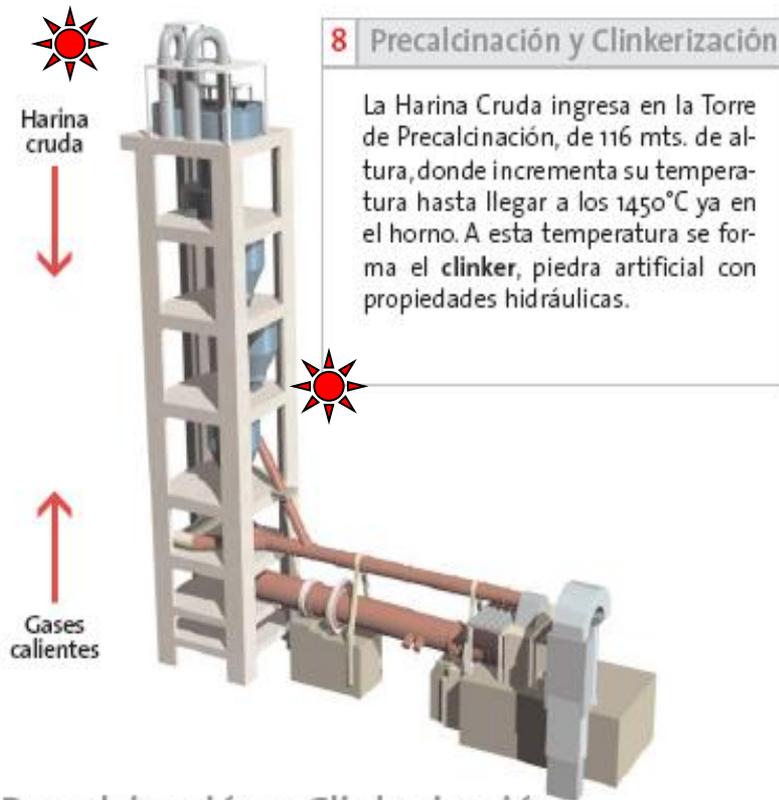
## 7 Almacenamiento

Esta Harina Cruda se envía a los silos de stock de 8000 Tn de capacidad para su homogeneización y posterior ingreso al horno.

➔ Almacenamiento y Homogeneización



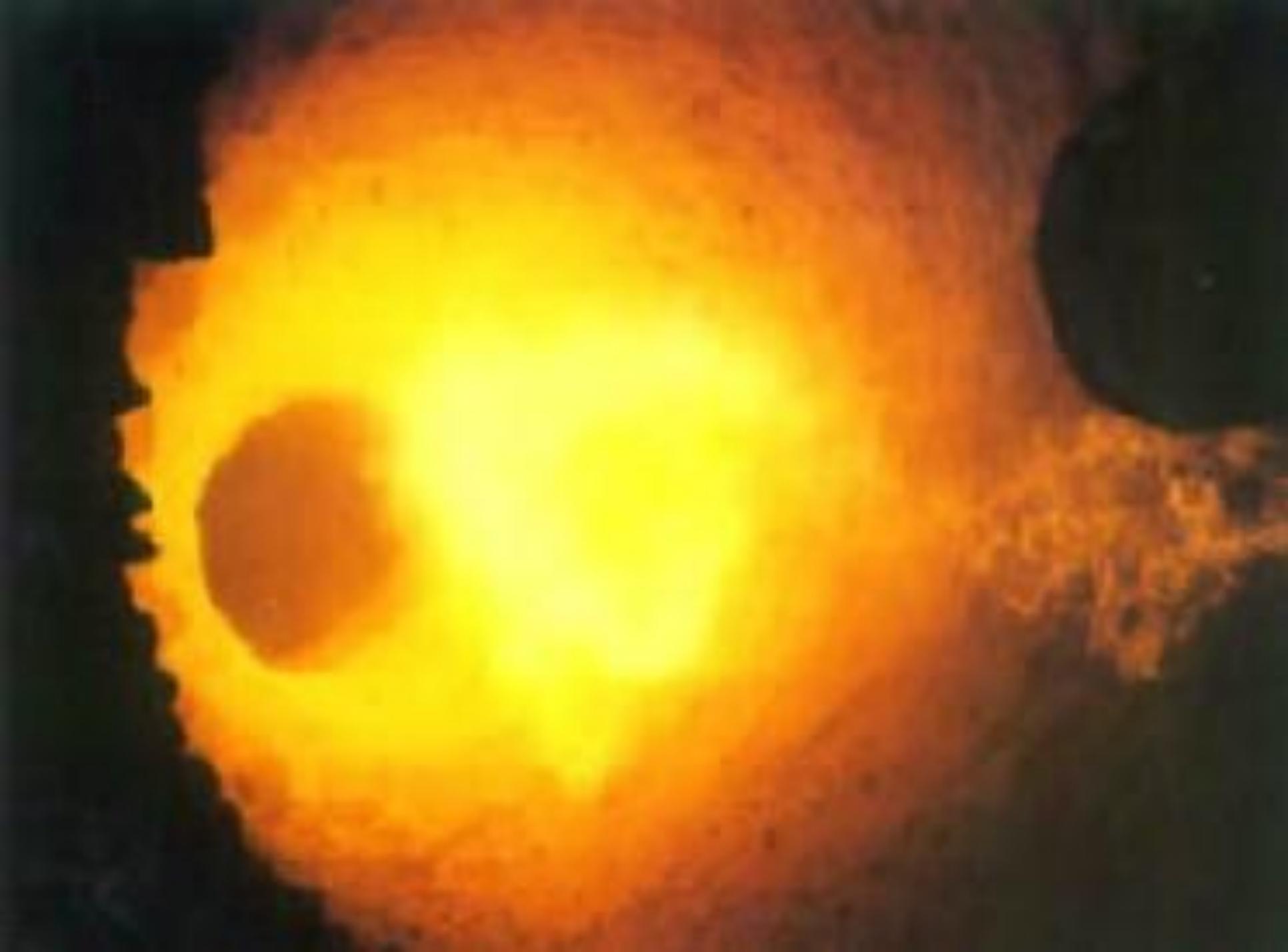
# FABRICACIÓN DE CEMENTOS



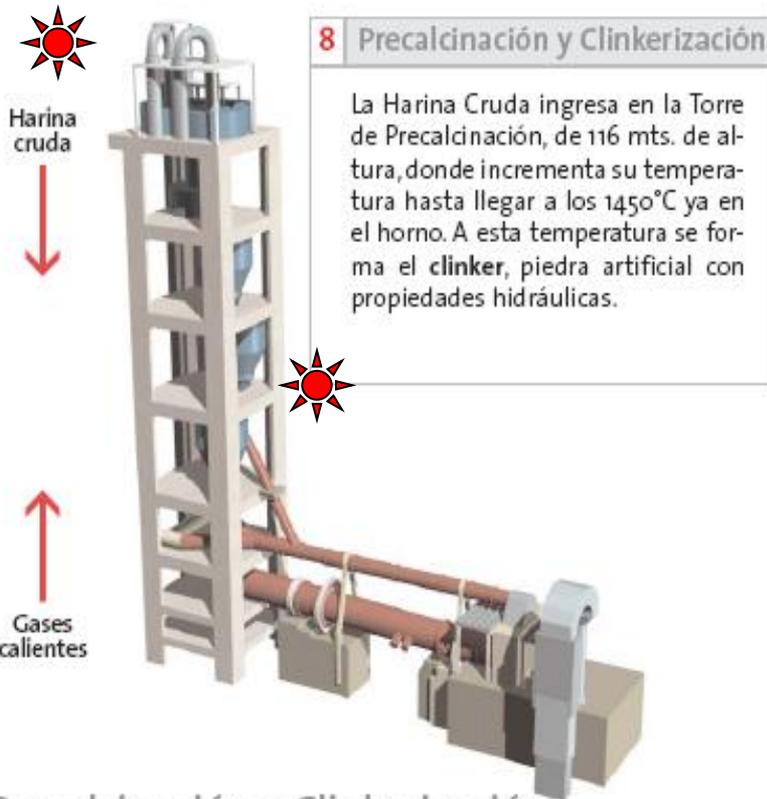
→ Precalcinación y Clinkerización







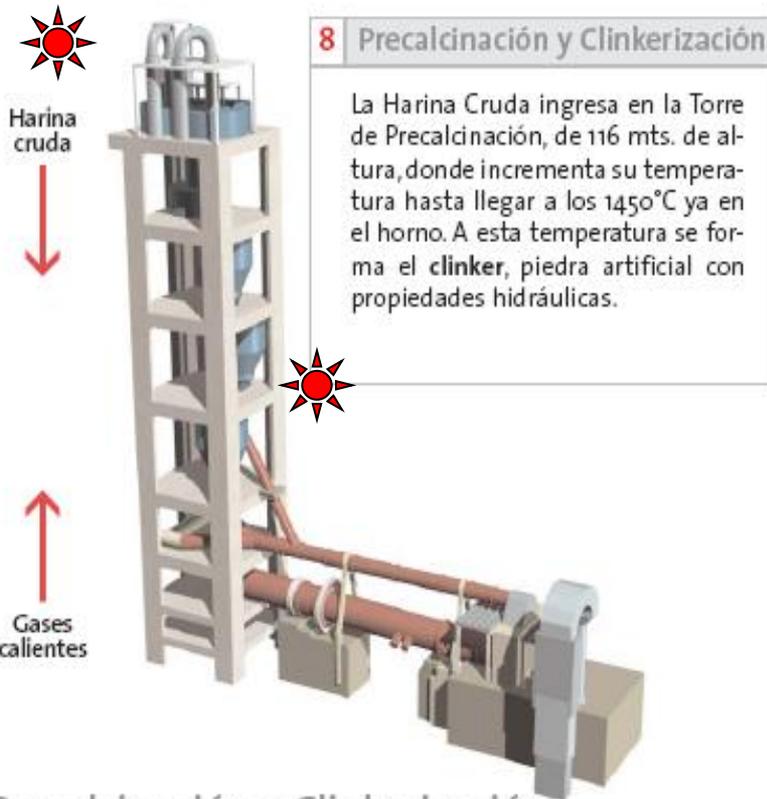
# FABRICACIÓN DE CEMENTOS



➔ Precalcinación y Clinkerización

➔ Enfriamiento

# FABRICACIÓN DE CEMENTOS



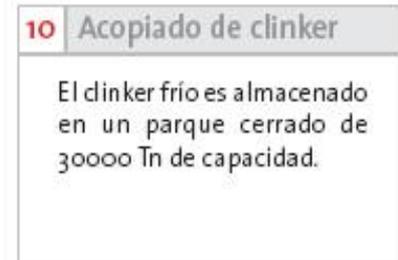
## 8 Precalcinación y Clinkerización

La Harina Cruda ingresa en la Torre de Precalcinación, de 116 mts. de altura, donde incrementa su temperatura hasta llegar a los 1450°C ya en el horno. A esta temperatura se forma el **clinker**, piedra artificial con propiedades hidráulicas.



## 9 Enfriamiento

El clinker sale del horno a 1200/1300°C, y se lo enfría rápidamente hasta 100/120°C por medio de corrientes de aire frío a fin de conservar sus propiedades hidráulicas.



## 10 Acopiado de clinker

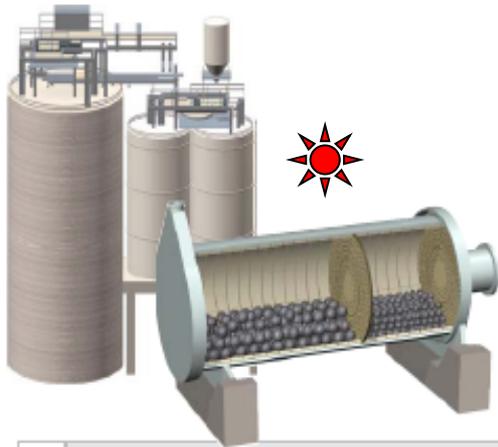
El clinker frío es almacenado en un parque cerrado de 30000 Tn de capacidad.

➔ Precalcinación y Clinkerización

➔ Enfriamiento

➔ Acopiado de clinker

# FABRICACIÓN DE CEMENTOS

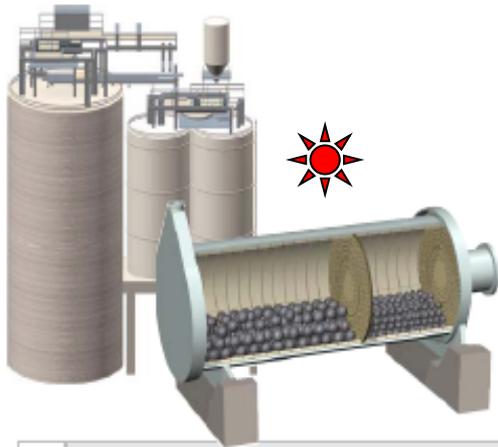


## 11 Molienda de cemento

El clinker se lleva desde el parque a los silos del molino de cemento. Ingresan al molino de 130 Tn/h de producción, junto con el clinker, el yeso y el componente mineral. El cemento producido, bajo estrictos controles de calidad, se envía al silo de cemento que corresponda.

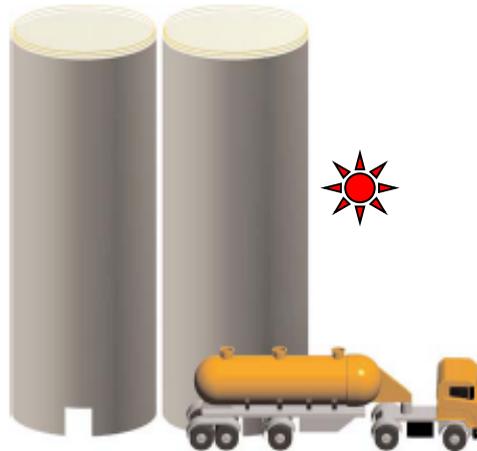
## → Molienda de cemento

# FABRICACIÓN DE CEMENTOS



## 11 Molienda de cemento

El clinker se lleva desde el parque a los silos del molino de cemento. Ingresan al molino de 130 Tn/h de producción, junto con el clinker, el yeso y el componente mineral. El cemento producido, bajo estrictos controles de calidad, se envía al silo de cemento que corresponda.



## 12 Ensilado y Despacho a granel

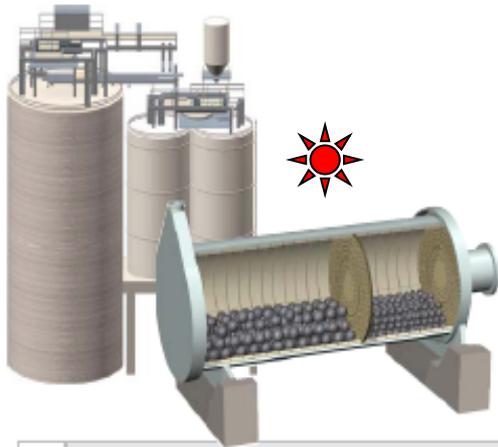
Desde los silos de cemento, cuya capacidad total es de 20000 Tn, se puede cargar a granel en camiones y/o dirigir el material a los silos de embolsadora.

➔ Molienda de cemento

➔ Ensilado y Despacho a granel



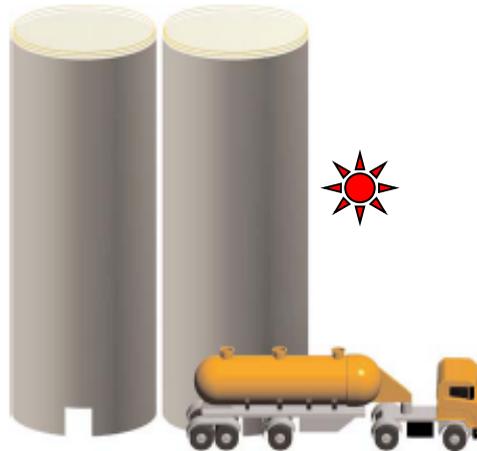
# FABRICACIÓN DE CEMENTOS



## 11 Molienda de cemento

El clinker se lleva desde el parque a los silos del molino de cemento. Ingresan al molino de 130 Tn/h de producción, junto con el clinker, el yeso y el componente mineral. El cemento producido, bajo estrictos controles de calidad, se envía al silo de cemento que corresponda.

➔ Molienda de cemento



## 12 Ensilado y Despacho a granel

Desde los silos de cemento, cuya capacidad total es de 20000 Tn, se puede cargar a granel en camiones y/o dirigir el material a los silos de embolsadora.

➔ Ensilado y Despacho a granel

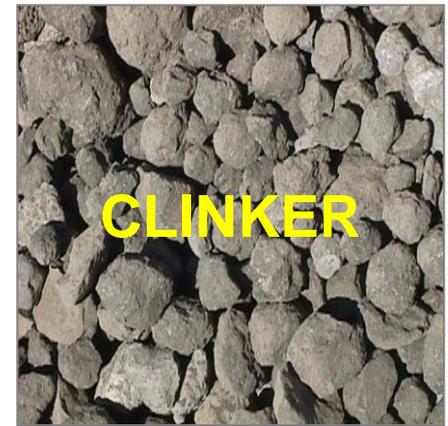
## 13 Embolsado palletizado y Carga

Las máquinas automáticas de embolsado tienen una producción de 50 bolsas/min. Las bolsas se dirigen a la palletizadora automática y de allí al stock. La carga de camiones se puede realizar con: pallets, sistema push pull o directamente al piso.



➔ Embolsado y Carga

# Compuestos Principales



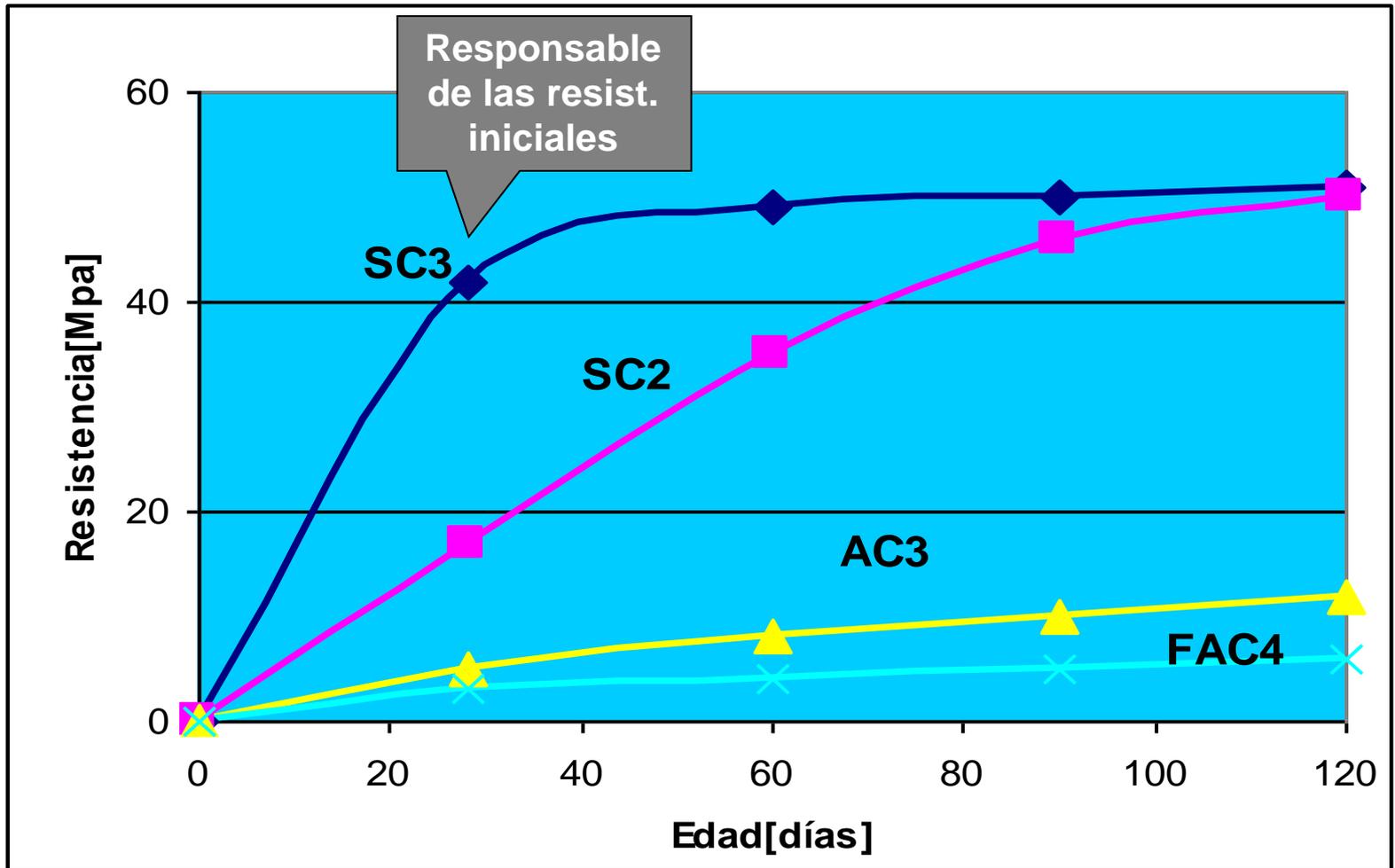
## CLINKER

- $2\text{CaOSiO}$   $\text{C}_2\text{S}$  (Silicato Dicálcico)
- $3\text{CaOSiO}_2$   $\text{C}_3\text{S}$  (Silicato Tricálcico)
- $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$   $\text{C}_3\text{A}$  (Aluminato tricálco)
- $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$   $\text{C}_4\text{AF}$  (Ferro aluminato tetracálcico)

## YESO

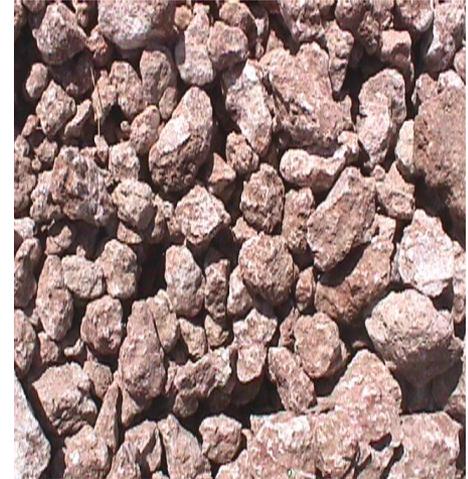
- $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$   $\text{CSH}_2$  (Sulfato de Calcio dihidratado),

<b>Nombre</b>	<b>Símbolo</b>	<b>% en Clinker</b>	<b>Rol Principal</b>
Silicato Tricálcico	<b>C3S</b>	50 al 70	Resistencias Iniciales
Silicato Dicálcico	<b>C2S</b>	10 al 30	Resistencias > 28 días
Aluminato Tricálcico	<b>C3A</b>	0 al 15	Alto Calor de Hidratación – Vulnerabilidad a Sulfatos
Ferroaluminato tetracálcico	<b>C4FA</b>	4 a 16	Estabilidad química frente a los sulfatos

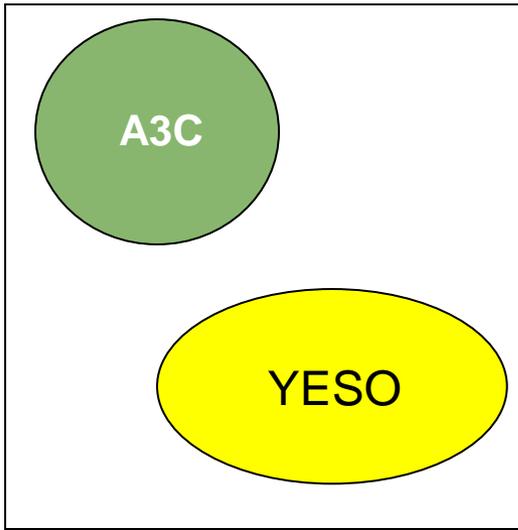


# YESO

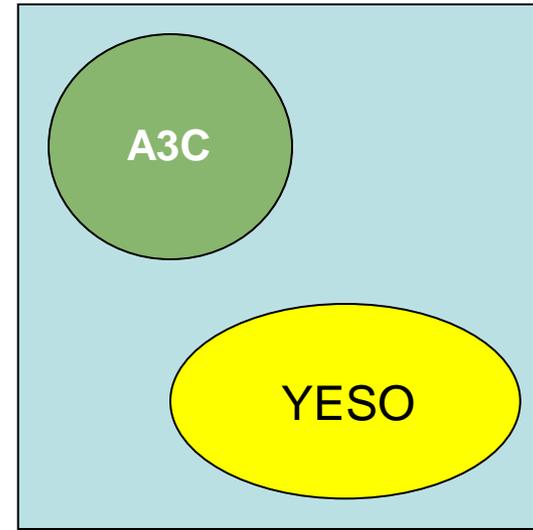
(Sulfato de Calcio)



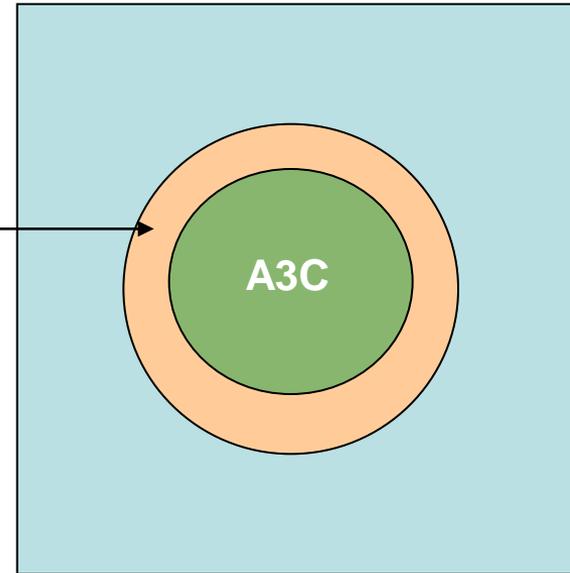
***FUNCIÓN:*** ***REGULADOR DE FRAGUADO.***



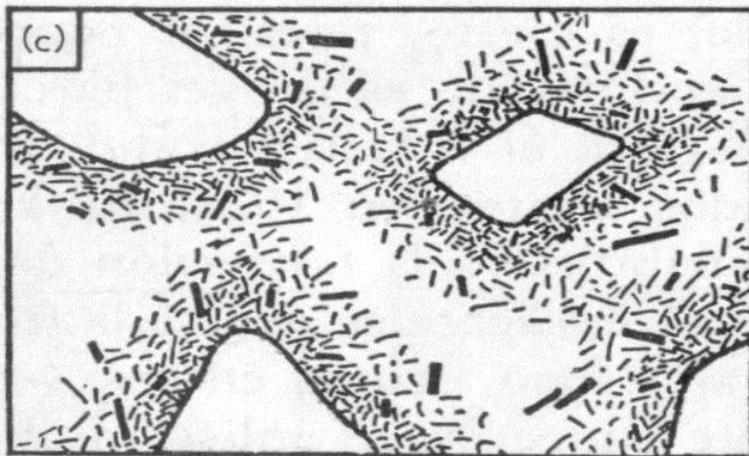
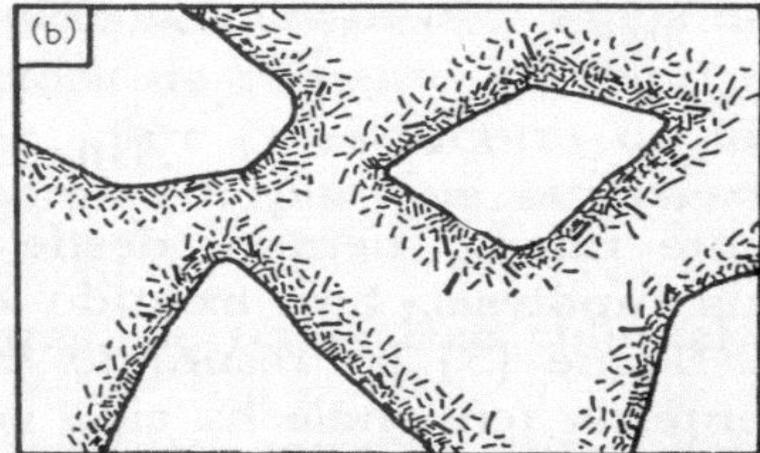
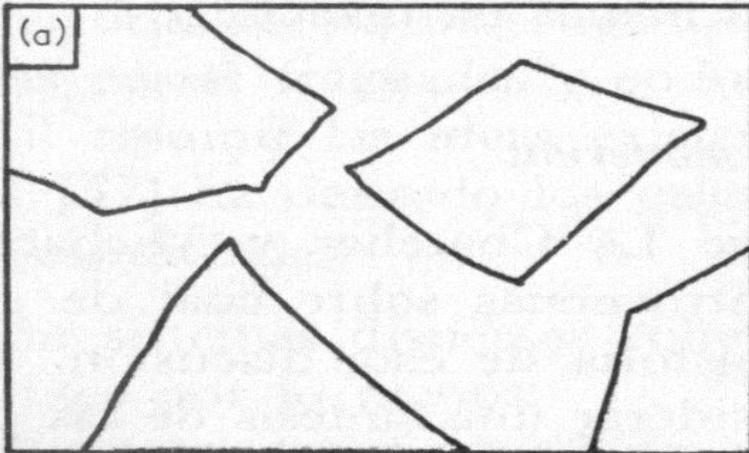
+ H<sub>2</sub>O



**SULFOALUMINATO DE CALCIO**



# HIDRATACION



# HIDRATACION

H I D R A T A C I O N

T<sub>if</sub>

T<sub>ff</sub>

ENDURECIMIENTO

0

ESTADO FRESCO

FRAGUADO

TIEMPO

- REACCIÓN QUÍMICA
- EXOTÉRMICA

# HIDRATACION

La reacción química del fraguado del cemento es como sigue:



Donde:

Siendo el Gel tobermorita ( $3\text{CaO}_2\text{SiO}_2x\text{H}_2\text{O}$ ) el responsable de las propiedades mecánicas del cemento.

Podemos observar que se produce un tercer producto, que es el  $\text{Ca(OH)}_2$ , con poco valor cementante, y que es responsable de la reacción con los sulfatos que degradan la calidad del mismo.

# LIGANTES

## SEGÚN SU FORMA DE REACCIONAR

- **AÉREOS**

- Cal aérea

- **HIDRÁULICOS**

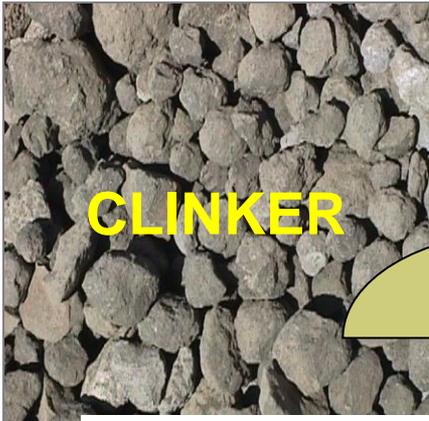
- Cemento

- Cemento de albañilería

- Cal hidráulica

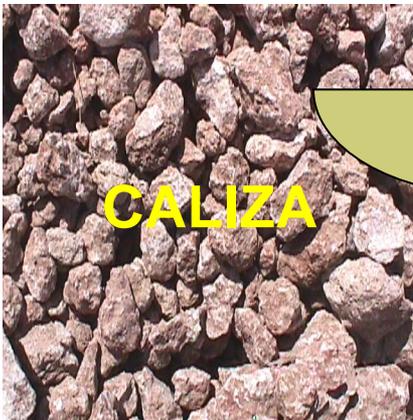
- **PUZOLANAS**

**¿Cómo esta  
Compuesto?**



**Finamente molidos y en las  
proporciones correctas nos permite  
obtener.....**

**CEMENTO DE ALBAÑILERÍA**



FUENTE: MINETTI S.A.

## ¿Para que fue Diseñado?

- Para reemplazar la mezcla de cal y cemento en trabajos de Albañilería.

Como regla general puede utilizarse cemento de albañilería Donde se utiliza cal.....Sin embargo no contiene cal

- **No fue diseñado para usos estructurales** (vigas, losas, columnas, etc.), **NO** reemplaza al cemento Pórtland

# Propiedades

- Las propiedades del cemento de albañilería deben cumplir los requisitos establecidos en la norma IRAM 1685.
- Entre las propiedades más relevantes, por estar vinculadas con la buena performance del ligante, figuran la retención de agua, el aire incorporado y la resistencia a la compresión.



# Propiedades

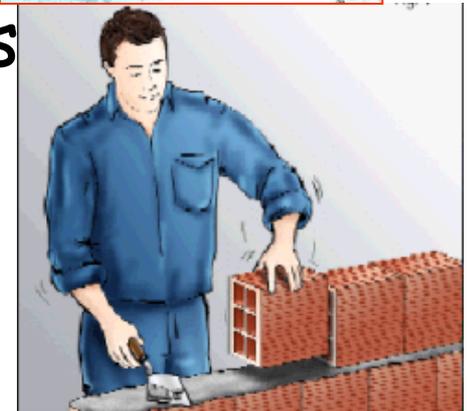
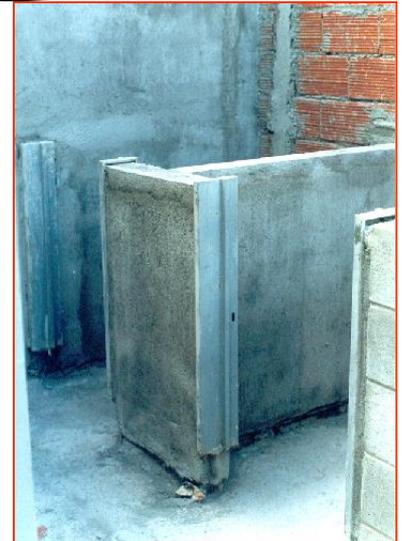
- La retención de agua es la propiedad más importante de todas, ya que al elevarse su valor la plasticidad se mantiene durante un período de tiempo más prolongado,
- El aire incorporado es el responsable de conferirle trabajabilidad a las mezclas (a mayor contenido de aire, mayor trabajabilidad)..

# Requisitos de la Norma IRAM 1685

- Tiempo de fraguado Inicial: 90 min.
- Tiempo de fraguado Final: 24 hs.
- Finura-Ret. Sobre tamiz IRAM 75  $\mu$ m: 15%
- Aire incorporado: 24%
- Resistencia a Compresión a los 7 días: 2,5 Mpa
- Resistencia a Compresión a los 28 días: 4,5 Mpa
- Retención de agua: 65%
- Contracción por secado: 0,15%

# Usos

- Submuraciones
- Mampostería
- Revoques gruesos
- Contrapisos interiores y exteriores
- Carpetas sobre contrapisos
- Carpetas hidrófugas
- No debe emplearse en elementos estructurales (columnas, bases, vigas, etc.)



# LIGANTES

## SEGÚN SU FORMA DE REACCIONAR

- **AÉREOS**

- Cal aérea

- **HIDRÁULICOS**

- Cemento

- Cemento de albañilería

- Cal hidráulica

- **PUZOLANAS**

# PUZOLANAS

**Sustancias silíceas de origen volcánico que reducidas a polvo fino y amasadas con cal, forman aglomerantes hidráulicos**

Los Aluminosilicatos presentes en la puzolana, reaccionan con el Hidróxido de Calcio liberado en la hidratación del cemento Pórtland.

# HIDRATACION

La reacción química del fraguado del cemento es como sigue:

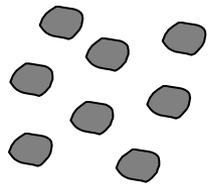


Donde:

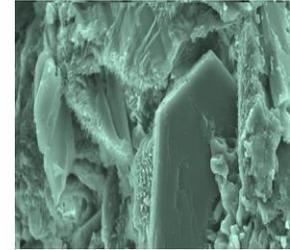
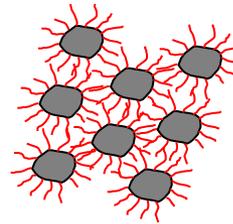
Siendo el Gel tobermorita ( $3\text{CaO}_2\text{SiO}_2x\text{H}_2\text{O}$ ) el responsable de las propiedades mecánicas del cemento.

Podemos observar que se produce un tercer producto, que es el  $\text{Ca(OH)}_2$ , con poco valor cementante, y que es responsable de la reacción con los sulfatos que degradan la calidad del mismo.

# ACCIÓN DE LOS COMPONENTES MINERALES HIDRAULICAMENTE ACTIVOS



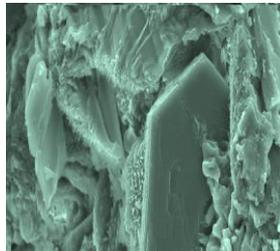
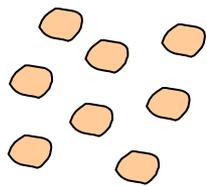
H<sub>2</sub>O



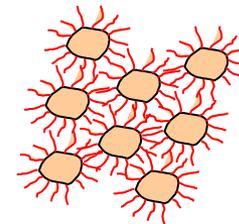
Clinker

Silicato de  
calcio  
hidratado

HC



H<sub>2</sub>O



COMPONENTES  
MINERALES

HC

Silicato de  
calcio  
hidratado

# PUZOLANAS

**Sustancias silíceas de origen volcánico que reducidas a polvo fino y amasadas con cal, forman aglomerantes hidráulicos**

Los Aluminosilicatos presentes en la puzolana, reaccionan con el Hidróxido de Calcio liberado en la hidratación del cemento Pórtland.

Esto se realiza en una reacción lenta (que disminuye el calor), consume el Hidróxido de Calcio (lo que mejora su resistencia frente a ambientes ácidos), y al realizarse la reacción rellenan los espacios resultantes de la reacción de hidratación del cemento (lo que aumenta la impermeabilidad y la resistencia mecánica).

# OTROS MATERIALES QUE TIENEN ACTIVIDAD PUZOLÁNICA

- ESCORIAS DE ALTO HORNO
- MICROSÍLICA O HUMO DE SÍLICE que se genera como producto secundario en la fundición de aleaciones de ferrosilicatos (humos de escape)
- CENIZAS VOLANTES procedentes de la combustión del carbón en plantas térmicas.

# LIGANTES

## SEGÚN SU FORMA DE REACCIONAR

- **AÉREOS**

- Cal aérea
- Yeso

- **HIDRÁULICOS**

- Cemento
- Cemento de albañilería
- Cal hidráulica

- **PUZOLANAS**

# FUENTES DE INFORMACIÓN:



- NOTAS DE CÁTEDRA
- PÁGINAS WEB VARIAS

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

## Ingeniería Civil

Cátedra: Tecnología de los Materiales de  
Construcción

Tema: *"Cales, Puzolanas, Cemento Portland:  
fabricación, hidratación, propiedades"*

Ing. Civil Carlos E. Baronetto - Profesor adjunto  
carlosbaronetto@gmail.com