

TEMA 4 – CEMENTOS	
Contenido	TdH UNCuyo - TEMA 4 – CEMENTOS
	COMPOSICIÓN Y TIPOS DE CEMENTO
	● Introducción general y reseña histórica
	● Componentes y composición de cementos
	● Clasificaciones generales de cementos
	● Normas IRAM 50.000 y 50.001
	● Tipos de cemento y criterios de elección
	REACCIONES DE HIDRATACIÓN Y FRAGÜE
	● Principios generales de la hidratación
	● Hidratación de las diferentes fases
	FABRICACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN
	● Etapas en la fabricación del cemento
	● Evolución de la industria y comercialización
	● Acopio, manupelo y SGA en plantas
ENSAYOS DE CEMENTOS (Trabajo Práctico)	

TEMA 4 – CEMENTOS	
Composición y Tipos de Cementos	
Reseña histórica	
<p>Los primeros aglomerantes empleados fueron el yeso y las cales hidráulicas. Fundamentalmente con las segundas se trabajó hasta inicios del siglo XIX. Para mejorar sus propiedades, por ejemplo, durabilidad y resistencia los romanos emplearon cenizas volcánicas (sustancias puzolánicas)</p> <p>En 1824 Joseph Aspdin es el primero que produce industrialmente cemento Portland, sin embargo no da a conocer sus experiencias. Isaac Johnson en 1845 lo “re-inventa” y allí comienza su basto desarrollo exponencial. La particularidad es la “proporción justa” de calizas y arcillas que llevadas a una temperatura de 1400 a 1500°C presenta propiedades específicas</p>	
	

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Reseña histórica

En Argentina, la producción de cemento comienza en 1907. Por ello, comparativamente con las rocas, madera y acero, es el material con fines estructurales más reciente y el que más desarrollos ha tenido en el siglo

La industria ha progresado enormemente y en las últimas décadas se ha focalizado en reducir el impacto ambiental (7 a 8% de los gases de invernadero a nivel mundial) y optimizar el uso de los combustibles (energía)

La producción de cemento estimada para 2020 supera las 3.500 millones de toneladas anuales, y la Argentina produce entre 10 y 15 x 10⁶ tons / año




Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Definiciones IRAM 1569

- **Clinker Portland:** Producto que se obtiene por cocción hasta fusión parcial (clinkerización), de mezclas íntimas, denominadas crudos, preparadas artificialmente y convenientemente dosificadas a partir de materias calizas y arcillas, con la inclusión de otros materiales que, sin aportar elementos extraños a los de composición normal del cemento, facilitan la dosificación de los crudos deseada en cada caso
- **Cemento Portland:** Producto obtenido por molienda del clinker Portland, con la eventual adición de pequeñas cantidades de sulfato de calcio, la adición de otras sustancias (incorporadores de aire, plastificantes, aceleradores, repelentes al agua) en pequeñas cantidades, que no excedan del 2%, tendrá la mención de su naturaleza general, complementando la denominación normalizada del cemento

Cemento Portland = Clinker + Adiciones + Yeso

CP = Producto que sale del horno con nuevas fases minerales + En la mayor parte de los cementos (5 a 70%) + Pequeñas cantidades (2 a 4%)

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Introducción

- Una vez producido el **clinker**, el **cemento** se obtiene al moler éste junto a **sulfato de calcio** y en la mayor parte de los casos **otras adiciones**
- El clinker es obtenido mediante la cocción hasta fusión parcial (clinkerización) de una mezcla dosada y homogeneizada de materiales constituidos principalmente por **cal** (CaO), **sílice** (SiO₂) y en proporciones menores **alúmina** (Al₂O₃) y **óxido de hierro** (Fe₂O₃)
- El clinker Portland está compuesto básicamente por los siguientes **4 minerales**:

Designación	Nombre	Composición química
C ₃ S	Silicato tricálcico	3CaO.SiO ₂
β C ₂ S	Beta-silicato dicálcico	2CaO.SiO ₂
C ₃ A	Aluminato tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃
C ₄ AF	Ferro-aluminato tetracálcico	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Factores principales que definen las propiedades del cemento

- A- Composición potencial del clinker y sus fases minerales
- B- Finura del cemento
- C- Tipo (o tipos) de adiciones presentes en el cemento
- D- Contenido de cada una de las adiciones











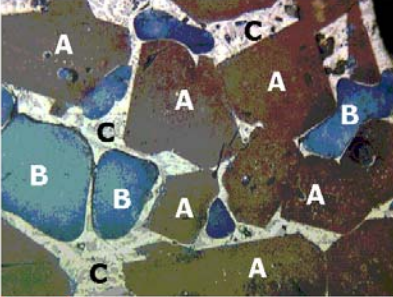
Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Principales componentes del clinker




50 μ m


3 Fases principales

Alita = C_3S + impurezas
(cristales poligonales)

Belita = C_2S + impurezas
(cristales redondeados)

Celita = C_3A + C_4AF + imp
(masa intersticial)





Rocas de clinker

CM 1 2 3

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

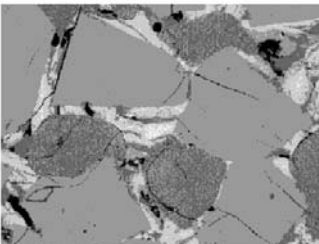
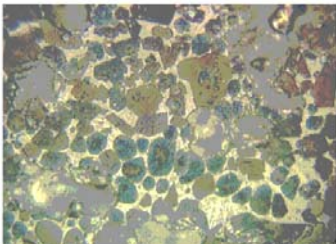
Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Composición química del Cemento Portland Normal

COMPONENTE			%
ELEMENTOS PRIMARIOS	Cal	CaO	61 a 67
	Sílice	SiO ₂	20 a 27
	Alúmina	Al ₂ O ₃	4 a 7
	Oxido de hierro	Fe ₂ O ₃	2 a 4
ELEMENTOS SECUNDARIOS	Sulfatos (yeso)	SO ₃	1 a 3
	Magnesia	MgO	1 a 5
	Alcalis	K ₂ O y Na ₂ O (como Na ₂ O)	0,2 a 1,5

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

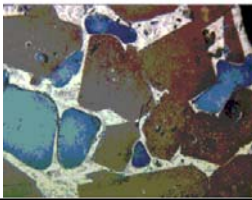
Estimación de la Composición Potencial del clinker Portland

- A partir de la composición química, se puede estimar para el cemento sin adiciones la **composición potencial** con las **fórmulas de Bogue**, perdiendo validez para cementos adicionados empleados en la actualidad

1) **Silicato tricálcico**
 $C_3S (\%) = 4,07.CaO(\%) - 7,60.SiO_2(\%) - 6,72.Al_2O_3(\%) - 1,43.Fe_2O_3(\%)$

2) **Silicato dicálcico**
 $C_2S (\%) = 2,86.SiO_2(\%) - 0,75.C_3S (\%)$

3) **Ferro-aluminato tetracálcico** 4) **Aluminato tricálcico**
 $C_4AF (\%) = 3,04.Fe_2O_3(\%)$ $C_3A (\%) = 2,65.Al_2O_3(\%) - 1,69.Fe_2O_3(\%)$



COMPONENTE		%	
Silicato tricálcico	C_3S	50	a 70
Silicato dicálcico	C_2S	10	a 30
Aluminato tricálcico	C_3A	1	a 15
Ferroaluminato tetracálcico	C_4AF	4	a 16

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Propiedades de los componentes principales

Silicato tricálcico (C_3S) - Alita (variedad impura)

- Proporciona la **resistencia inicial** del cemento Portland
- Libera un alto calor de hidratación (reacción exotérmica)
- La suma del C_2S y C_3S controlan la **resistencia** mecánica

β Silicato dicálcico (C_2S) - Belita (variedad impura)

- Proporciona la **resistencia a edades tardías** (> 14 días)
- Buena durabilidad (genera pocos cristales de $Ca(OH)_2$)
- $C_2S + C_3S > 66\%$ del clinker, generalmente entre 70 y 80%

Aluminato tricálcico (C_3A)

- **Fraguado relámpago** (se incorpora yeso para evitarlo)
- Alto calor de hidratación disipado
- Durabilidad muy baja a sulfatos

Ferroaluminato tetracálcico (C_4AF)

- Junto con el C_3A forma la fase intersticial llamada celita
- Le confiere el color al cemento, ya que los demás son blancos

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Propiedades de los componentes secundarios

Álcalis (Na_2O y K_2O)

- Gran importancia en el fragüe y en la protección de las armaduras, ya que controla el pH elevado (12 a 12,5) junto con $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- Velocidad de solubilidad muy alta
- Pueden llegar a reaccionar con cierto tipo de agregados (RAA)
- Contenido entre 0,5 y 1,5%, calculado con Na_2O equivalente
$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{equiv}} (\% \text{ total}) = \text{Na}_2\text{O} (\%) + 0,658 \cdot \text{K}_2\text{O} (\%)$$

Magnesia (MgO)

- Forma vítrea o cristalina según la velocidad de enfriamiento
- Contenido entre 0,5 y 3,0%

Cal libre (CaO)

- Aparece por desperfectos en el proceso de fabricación
- Su presencia es peligrosa en el hormigón endurecido

Sulfato de calcio ($\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ o SO_4Ca)

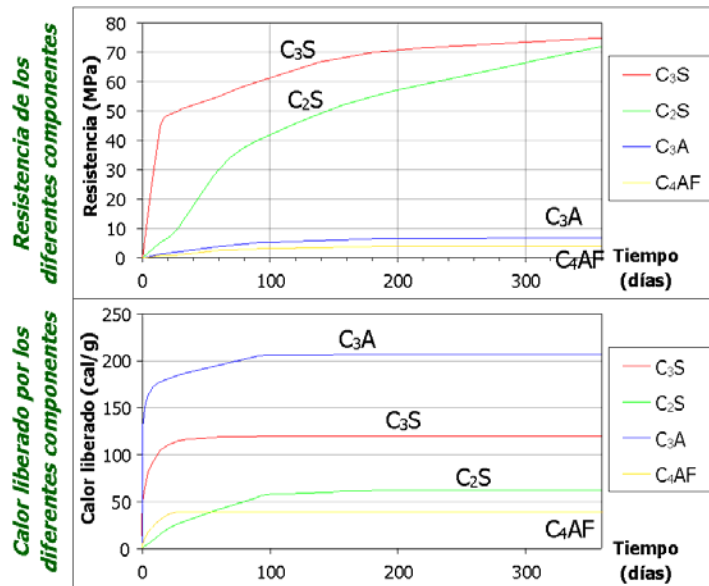
- Se muele con el clinker para regular el fragüe del C_3A

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Finura del Cemento Portland

- Después de la composición química, el otro factor dominante que afecta las propiedades del cemento, es la **finura de su molienda**
- La finura de molido se aprecia a través de la **superficie específica**
- Las partículas de cemento tienen diámetros entre: **1 y 50 μm**
- La **Superficie específica (Blaine)** varía de **2.500 a 4.500 cm^2/g** de cemento
- Algunas **adiciones** tienen SE más elevadas
- A **mayor superficie específica** (mayor finura):
 - Mayores resistencias a edades tempranas
 - Mayor calor de hidratación liberado
 - Mayor trabajabilidad de las mezclas
 - Mayor riesgo de fisuración



Tendencia actual:

Obtener cementos cada vez más finos

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos


Cementos adicionados o compuestos

- El uso de cementos compuestos presenta ciertas **ventajas**:
 - **Mejora** las características del **hormigón endurecido** a largo plazo
 - **Mejora la durabilidad** ante diferentes ambientes agresivos
 - **Reduce el calor de hidratación** liberado en las primeras horas
- En la mayoría de los casos **se prefiere el empleo de cementos adicionados** y no el clásico CPN, ya que se comportan mejor que éste
- La producción de cementos adicionados permite obtener **productos "a medida"** según las necesidades
- También se **disminuyen los problemas ambientales** (emisión CO_2)
- Se producen por medio de:
 - **Molienda conjunta** de clinker, yeso y adiciones minerales
 - **Molienda separada** del clinker-yeso y de las adiciones minerales



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER


Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS	
Contenido	TdH UNCuyo - TEMA 4 – CEMENTOS
	DEFINICIÓN, CLASIFICACIÓN Y COMPONENTES
	● Introducción general y reseña histórica
	● Componentes y composición de cementos
	● Clasificaciones generales de cementos
	● Normas IRAM 50.000 y 50.001
	● Tipos de cemento y criterios de elección
	REACCIONES DE HIDRATACIÓN Y FRAGÜE
	● Principios generales de la hidratación
	● Hidratación de las diferentes fases
	FABRICACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN
● Etapas en la fabricación del cemento	
● Evolución de la industria y comercialización	
● Acopio, manipuleo y SGA en plantas	
ENSAYOS DE CEMENTOS (Trabajo Práctico)	


TEMA 4 – CEMENTOS	
Composición y Tipos de Cementos	
<i>Escuelas americana y europea</i>	
- Ambas filosofías de la clasificación del cemento son opuestas	
Estados Unidos	Comunidad Europea
<ul style="list-style-type: none"> - Clasificación según la composición del clinker - El clinker varía fuertemente de un tipo de cemento a otro - Las adiciones se incorporan en forma diferida (dosificación) - Las adiciones se incorporan como materiales diferentes 	<ul style="list-style-type: none"> - Clasificación según el porcentaje de las adiciones - El clinker casi no varía de un tipo de cemento a otro - Las adiciones ya están incorporadas en el cemento - En la hormigonera se incorporan sólo los aditivos químicos
- 5 tipos de cemento clasificados con números romanos (I a V)	

TEMA 4 – CEMENTOS

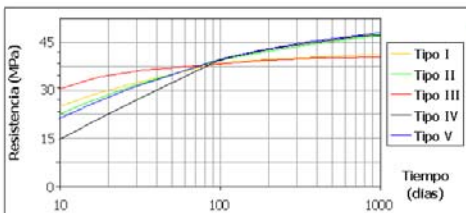
Composición y Tipos de Cementos



EE.UU. : ASTM - ACI
American Concrete Institute

Norma ASTM C 150 

Tipo I: común o normal
Tipo II: acción moderada sulfatos
Tipo III: alta resistencia inicial
Tipo IV: bajo calor de hidratación
Tipo V: alta resistencia sulfatos



Tipo de cemento (ASTM)	Composición en peso promedio (porcentaje)							
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	CaO libre máx	MgO	Pérdida por calcinación
I	49	25	12	8	2,9	0,8	2,4	1,2
II	46	28	6	12	2,8	0,6	3	1,0
III	56	15	12	8	3,9	1,3	2,6	1,9
IV	30	46	5	13	2,9	0,3	2,7	1,0
V	43	36	4	12	2,7	0,4	1,6	1,0

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos



EE.UU. : ASTM - ACI
American Concrete Institute

Norma ASTM C 150 

Cada vez más, se están empleando **especificaciones por performance** es un conjunto de instrucciones que limita los requerimientos funcionales del hormigón endurecido dependiendo de la aplicación. Las instrucciones deben ser claras, alcanzables y mensurables.

 **Prescriptiva v. Rendimiento**

ASTM C150



Designation: C150/C150M – 09

Standard Specification for Portland Cement¹

vs.

ASTM C157



Designation: C1157/C1157M – 10

Standard Performance Specification for Hydraulic Cement¹


Otro cambio creciente en Estado Unidos es que cada vez se emplean más adiciones, tanto en la fabricación del cemento como fundamentalmente con adición en planta. En estos casos se cuenta con un silo independiente al del cemento y se incorporan adiciones en la carga del hormigón (Cenizas Volantes, Escorias de Alto Horno, etc.)

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER


Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos



Comunidad Europea
Norma EN 197-1



CEM I : Cemento Portland, del 95 a 100% de clinker Portland

CEM II : Cemento Portland compuesto, 65 a 95% de clinker
 Adiciones: cenizas, microsílíce, escorias, filler calcáreo

CEM III : Cemento de alto horno, 20 a 64% de clinker
 Adiciones: 36 al 80% de escorias de altos hornos

CEM IV : Cemento puzolánico, 45 a 64% de clinker
 Adiciones: puzolanas, microsílíce, cenizas volantes

CEM V : Cemento compuesto, 20 a 64% de clinker
 Adiciones: del 35 al 79% de cenizas o escorias

Según **resistencias**: 32,5; 42,5 y 52,5; N o R (alta resistencia inicial)
 Ej: **CEM II 42,5 R** Tipo II, clase 42,5 MPa, alta resistencia inicial

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Tipos de cementos UNE-EN 197-1:2.000

Principales tipos	Designación de los 27 productos (tipos de cementos comunes)	Composición (proporción en masa 1)										Constit. Minorit.		
		Clinker K	Escoria de horno alto S	Humo de Sílice p. (H)	Puzolana				Esquistos Calcinados T	Caliza				
					Natural p	Natural calcinada Q	Silíceas V	Calizas W		L	LL			
CEM I	Cemento Portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland con escoria	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Cemento Portland con humo de sílice	CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland con puzolana	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland con ceniza volante	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
		Cemento Portland con esquistos calcinados	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
			CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
		Cemento Portland con caliza	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
			CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5	
	Cemento Portland mixto	CEM II/A-M	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-M	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5	
CEM III	Cemento con escorias de horno alto	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	Cemento puzolánico	CEM IV/A	65-89	-	-	-	11-35	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	-	-	36-55	-	-	-	-	-	0-5	
CEM V	Cemento Compuesto	CEM V/A	40-64	-	-	-	18-30	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM V/B	20-38	31-50	-	-	31-50	-	-	-	-	-	0-5	




TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

Ejemplos de Países latinoamericanos

Clasificación de los cementos según su composición

Denominación	Proporción de los componentes		
	Clinker	Puzolana	Escoria
Portland	100 %	–	–
Portland con agr. Puzolánico	≥70 %	≤30 %	–
Siderúrgico	≥70 %	–	30 %
Cemento con agr. Puzolánico	50-70 %	30-50 %	–
Siderúrgico	25-70 %	–	30-75 %

TIPO	RESISTENCIA	CARACT. ESPECIALES
CPO Cemento Portland Ordinario	20	RS Resistencia a Sulfatos
CPP Cemento Portland Puzolánico	30	BRA Baja Reactividad Alcalí-agregado
CPEG Cemento Portland Escoria Granulada	40	BCH Bajo Calor de Hidratación
CPS Cemento Portland Humo de Silice	30R	B Blanco
CPC Cemento Portland Compuesto	40R	
CEG Cemento Escoria Granulada		

EJEMPLOS:
 CPO 30 R
 CPP 30 RS / BRA

TIPOS Y CLASES DE CEMENTOS POR EMPRESAS

EMPRESAS	Portland Tipos [1]		Hidráulico para uso general	Portland Puzolánico Tipos [2]		AntiAlRe [3]	Entradurable [3]	Compuesto ICo [2]	Ala Resistencia Inicial
	I	V	GU [1]	IP	IPM	MS	HS	ICo [2]	HE
UNACEM S.A.A.	✓(*)		✓	✓(*)					
Condorcocha	✓(*)	✓(*)		✓(*)	✓(*)				
Cementos Pacasmayo S.A.A.	✓	✓		✓		✓	✓	✓	
Cal & Cemento Sur S.A.				✓					
Tura S.A.				✓			✓		✓

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

Normativa de cementos vigente en Argentina

Desde 2017, se agrupan en 4 normas de la serie “50.000”, entre las cuales las normas IRAM 50.000 y 50.001 son las más relevantes para el usuario convencional y proveedores de hormigón elaborado

También hay normas específicas de apoyo para los ensayos de caracterización y para verificar aptitud de adiciones (IRAM 1593:94 Para filler calcáreo, IRAM 1668:15 para puzolanas e IRAM 1667:16 para escorias de alto horno)

Norma	Versión	Nombre
IRAM 50.000	2017	Cementos para uso general Composición y requisitos
IRAM 50.001	2017	Cementos con propiedades especiales Requisitos
IRAM 50.002	2009	Cementos para hormigón de uso vial aplicable con tecnología de alto rendimiento
IRAM 50.003	2017	Evaluación de la conformidad

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos



**Argentina: Normas
IRAM 50.000 y 50.001**



- Desde el año 2000 nuestro país cuenta con **normas unificadas** en lo que refiere a cementos, ya que con anterioridad existían diferentes normativas para los distintos tipos de cementos

IRAM 50.000 "Cementos de Uso General"

- Clasificación de **6 tipos de cementos** en función de su composición, fundamentalmente el contenido y tipo de adiciones
- Requisitos mecánicos: **3 categorías resistentes** para cementos
- Requisitos físicos y químicos de los 6 tipos de cementos
- Evaluación de la conformidad del cemento

IRAM 50.001 "Cementos con propiedades especiales"


- Clasificación de **6 propiedades especiales** y sus requisitos, de las cuales el cemento puede tener ninguna, una, dos o tres

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER


Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO


TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos



**Argentina: Normas
IRAM 50.000 y 50.001**





Centro de Investigación en los Regímenes Industriales de Seguridad para los Obres Civiles del Sistema SNT

Tipo de Cemento	Nomenclatura	A usar en hormigón
Cemento Portland normal	CPN	Simple, Armado o Pretensado
Cemento Portland con filler calcáreo	CPF	
Cemento Portland puzolánico	CPP	
Cemento Portland con escoria	CPE	
Cemento Portland compuesto	CPC	
Cemento de alto horno	CAH	Simple o Armado

IRAM 50.000

Artículo 3.1.2
Cementos con Propiedades especiales

Nomenclatura	Tipo de Cemento
MRS	Cemento moderadamente resistente a los sulfatos
ARS	Cemento altamente resistente a los sulfatos
BCH	Cemento de bajo calor de hidratación
RRAA	Cemento resistente a la reacción álcali-agregado
ARI	Cemento de alta resistencia inicial
B	Cemento blanco


IRAM 50.001

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER


Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos



**Argentina: Normas
IRAM 50.000 y 50.001**




Requisitos químicos	Características	Tipo de cemento					
		CPN	CPE	CPP	CAH	CPF	CPC
	Pérdida por calcinación	≤ 5,0 %	≤ 5,0 %	≤ 9,0 %	≤ 5,0 %	≤ 13,5 %	≤ 14,5 %
	Residuo insoluble	≤ 2,0 %	≤ 2,0 %	-	≤ 2,0 %	≤ 5,0 %	-
	Trióxido de azufre (SO ₃)	≤ 3,5 %	≤ 3,5 %	≤ 3,5 %	≤ 3,5 %	≤ 3,5 %	≤ 3,5 %
	Óxido de Magnesio (MgO)	≤ 6,0 %	-	≤ 6,0 %	-	≤ 7,0 %	-
	Cloruros (Cl ⁻)	≤ 0,10 %	≤ 0,10 %	≤ 0,10 %	≤ 0,10 %	≤ 0,10 %	≤ 0,10 %
	Sulfuros (S ²⁻)	≤ 0,10 %	≤ 0,50 %	≤ 0,10 %	≤ 1,0 %	≤ 0,10 %	≤ 0,50 %
	Coefficiente puzolánico	-	-	< 1,0 %	-	-	-


Requisitos físicos	Requisito		Mínimo	Máximo	Método de ensayo
	Finura	Material retenido tamiz # 75 µm		-	15,0%
Superficie específica		Promedio	250,0 m ² /kg	-	IRAM 1623
		Individual	225,0 m ² /kg	-	
Constancia de volumen	Expansión en autoclave		-	0,8%	IRAM 1620
Tiempo de fraguado	Inicial		45 - 60 - 75 minutos	-	IRAM 1619
	CP		30 40 50	-	
Contracción por secado	a los 28 días de la lectura inicial		-	0,15%	IRAM 1761
Requerimiento de agua (%) - CPP y CPC			-	64,0%	IRAM 1761

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos



**Argentina: Normas
IRAM 50.000 y 50.001**



Tipos de cemento	Tipo de Cemento	Nomenclatura	Composición g/100 g (%)				Comp. minorit.
			Clinker + SO ₃ Ca	Puzolana (P)	Escoria (E)	"Filler" calc. (F)	
	Cemento Portland normal	CPN	100 - 95	-	-	-	0 - 5
	Cemento Portland con filler calcáreo	CPF	94 - 75	-	-	6 - 25	0 - 5
	Cemento Portland con escoria	CPE	89 - 65	-	11 - 35	-	0 - 5
	Cemento Portland compuesto	CPC	98 - 65	dos o más, P + E + F ≤ 35		-	0 - 5
	Cemento Portland puzolánico	CPP	85 - 50	15 - 50	-	-	0 - 5
	Cemento de alto horno	CAH	64 - 25	-	36-75	-	0 - 5


Requisitos mecánicos	Resistencia a la compresión (MPa)			
	Categoría	2 días	7 días	28 días
	30	-	mín 16	mín. 30 máx. 50
	40	mín. 10	-	mín. 40 máx. 60
	50	mín. 20	-	mín. 50 -

En general, para hormigones de clase superior a H-25 se emplearán cementos CP40 ó CP50


Artículo 3.1.1.2

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos



**Argentina: Normas
IRAM 50.000 y 50.001**



1) Tipo:
 CPN Cemento Portland Normal CPF Cemento P con filler calcáreo
 CPE Cemento P con Escorias CPC Cemento Portland Compuesto
 CPP Cemento Portland Puzolánico CAH Cemento de Alto Horno

2) Categoría (Clase de Resistencia):
 CP30, CP40 ó CP50 MPa (28 días)

3) Propiedades Especiales:
 ARI Alta Resistencia Inicial
 MRS Moderadamente Resist. a Sulfatos
 ARS Altamente Resistente a Sulfatos
 BCH Bajo Calor de Hidratación
 RRAA Resistente Reacción Alkali-Agregado
 B Blanco

Tipo de cemento	Clases de Resistencia	Propiedades Especiales
CPN	30	MRS
CPF	30	ARS
CPE	40	ARI
CPC	40	BCH
CPP	50	RRAA
CAH	50	B

Ejemplos ↓

CPN 50 (ARI) ; CPP 40
 CPC 30 (ARS, BCH, RRAA)

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Aplicaciones de cementos según IRAM 50.000

Las aplicaciones de cementos de uso general según IRAM 50.000 sin declarar ninguna propiedades especial son:

TODAS

(edificios, pavimentos, canales, presas, fundaciones, etc.)

EXCEPTO que ciertas estructuras REQUIERAN alguna propiedad especial, fundada mediante ensayos

De nada sirve “especificar por especificar” una propiedad especial
 Si no se ha demostrado que es necesaria

Esto trae aumento de costos de las obras, dificultad de logística de provisión de ciertos cementos que se fabrican en pocos lugares en el país (congestión de rutas por ej.) y direccionamiento a cierto proveedor de cemento

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Cemento de Alta Resistencia Inicial - ARI

Sup. esp. $\geq 400 \text{ m}^2/\text{kg}$ - 1 día $\geq 10 \text{ MPa}$; 3 d $\geq 27 \text{ MPa}$; 7 d $\geq 40 \text{ MPa}$

- En general su utilización se limita a aquellos usos donde se **necesita habilitar rápidamente la estructura**, se utiliza tecnología de encofrado deslizante o se requiere una rápida reutilización de los encofrados
- Se obtienen elevadas resistencias a edades de 7 días e inferiores, debiendo este cemento cumplir con los requisitos para un **CP 50** y suele obtenerse a partir de un CPN (sin adiciones)
- Debido a que este cemento desarrolla **alto calor de hidratación** no se recomienda en elementos estructurales cuya menor dimensión lineal sea $>$ a 40 cm
- En el **mercado este tipo de cemento** se conoce con la denominación **Super, Extra o ARI**, aunque actualmente en el país es difícil conseguirlo
- En el mundo son **ampliamente utilizados**, mientras que en el país, y más aún en Mendoza, su uso está muy restringido



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Propiedades especiales según IRAM 50.001

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO


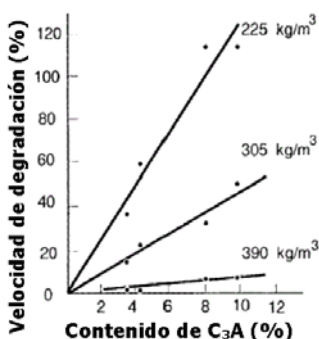
TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Cemento Moderadamente Resistente a los Sulfatos - MRS

C_3A En el clinker $\leq 8\%$

- Es apto para utilizarlo cuando existe un **ataque moderado de sulfatos** o será utilizado en hormigones de estructuras en **contacto directo con agua de mar o ambiente marino**



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Propiedades especiales según IRAM 50.001

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Cemento Altamente Resistente a los Sulfatos - ARS
En el clinker - $C_3A \leq 4\%$ - $C_3A + C_4AF \leq 22\%$

- Su utilización se limita para **estructuras sometidas al ataque fuerte de sulfatos** presentes en **ciertas aguas y/o suelos de contacto**
- **Muchos suelos en Mendoza** se califican como un **alto contenido de sulfatos (> 2% en masa)**
- En el caso del **CPN** la norma **limita los contenidos** de C_3A y C_4AF del cemento, mientras que en el caso de los **cementos adicionados** (resto de los especificados en la norma IRAM 50.000), dichas limitaciones se realizan sobre el **clinker portland** utilizado en la fabricación de los cementos adicionados
- Suelen ser CPP, CPE o CAH

Propiedades especiales según IRAM 50.001

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Cemento de Bajo Calor de Hidratación - BCH
CPN-CPP-CAH-CPF-CPC-CPE - Calor de Hidratación 5 d ≤ 270 J/g
CPN-CPP-CAH-CPE - Calor de Hidratación 7 d ≤ 270 J/g ; 28 días ≤ 310 J/g

- Generalmente este tipo de cementos se comercializa en combinación con **cementos portland con elevado contenido de adiciones activas** como son la escoria granulada de alto horno y las puzolanas
- Se utiliza cuando interesa que el hormigón desarrolle **poco calor a partir de la hidratación del cemento**, como es el caso de las **presas de hormigón o bases y fundaciones** de grandes dimensiones
- Al incrementar el contenido de adiciones, disminuye la cantidad de clinker del cemento y con ello el contenido de C_3S total, con lo que se reduce el calor generado

Propiedades especiales según IRAM 50.001

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos




Aplicaciones de cementos BCH




Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVER

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

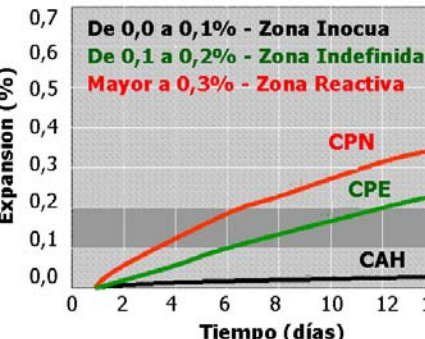
Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Propiedades especiales según IRAM 50.001

Cemento Resistente a la Reacción Álcali-Agregado - RRAA

Expansión barra mortero: 14 d \leq 0,020 % ; 56 d \leq 0,060 %

- Existen en Mendoza **varias fuentes de agregados** que presentan **potencialidad de reaccionar** desfavorablemente con los **álcalis** del cemento en estructuras sometidas a **condiciones de exposición al agua** en forma más o menos permanente
- Si bien **es recomendable utilizar agregados que no sean potencialmente reactivos** para la elaboración del Hº, existen casos que ésto resulta **económicamente inviable** y se recurre a cementos con **bajos contenidos de álcalis** o que posean **alguna adición activa** que demuestre su capacidad de inhibición o, al menos, "amortiguar" la RAA y que no resulte agresiva



De 0,0 a 0,1% - Zona Inocua
De 0,1 a 0,2% - Zona Indefinida
Mayor a 0,3% - Zona Reactiva

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Cemento Blanco - B

$Fe_2O_3 \leq 0,50 \%$; $Mn_2O_3 \leq 0,10 \%$; Blancura (IRAM 1618) $\geq 70\%$

- Es un cemento que cumple los requerimientos de los cementos CPN, CPF o CPC y tiene como requisitos adicionales la limitación de **óxidos férrico y de manganeso que actúan sobre el color del material**
- Se incorpora un **requisito de blancura** que resulta de fundamental importancia para el usuario de este tipo de cemento
- Es un material que en **nuestro país no está muy difundido** (no se produce) debido a su alto costo y su utilización se restringe a hormigones ornamentales y cierto tipo de mosaicos, bloques y adoquines
- No hay que confundir con otros cementos blancos o de albañilería utilizados en la fabricación de ciertas pastinas o algunas baldosas que utilizan cementos con altos contenidos de adiciones activas y no activas que no cumplen los requisitos de resistencia establecidos por IRAM para el CP blanco



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Propiedades especiales según IRAM 50.001

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos



Aplicaciones de hormigón blanco

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Cementos Coloreados

- Para **colorear el hormigón** se puede proceder:

- 1) Mediante el empleo de un **cimento coloreado**
- 2) Mediante la **adición de pigmentos** durante la elaboración del H°

- En general, es más costoso pero se obtienen mejores resultados con **1)** ya que los colores son más duraderos y resisten mejor al intemperismo

- Se fabrican agregando del **5 al 10% de pigmentos** en la fabricación el cemento antes de la molienda:

- a) *Óxido de hierro*: rojo, marrón, amarillo, negro
- b) *Dióxido de magnesio*: negro, marrón
- c) *Azul de cobalto*: azul
- d) *Pigmentos al carbono*: negro



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Otros cementos no incluidos en IRAM 50.000

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Cemento Aluminoso

- Los cementos aluminosos no tienen como base al cemento Portland y sus componentes principales son **Aluminatos de calcio** (mono y tri)

- Tienen un endurecimiento **muy rápido** con gran desprendimiento de calor

- Su particularidad es que conservan de su resistencia a muy **altas temperaturas** y nte **ataques ácidos o básicos muy fuertes**

- Aplicaciones en **hornos industriales**, como aglomerante de morteros de liga para revestimientos refractarios; sin fines estructurales



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Otros cementos no incluidos en IRAM 50.000

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO


TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Cemento para pozos petroleros

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER
Otros cementos no incluidos en IRAM 50.000

- En la perforación de pozos, para la extracción de Petróleo Crudo se emplean para la **cementación** (revestimiento de las paredes) de dichos pozos, con el principal objetivo de **fijar la tubería** de explotación
- Estos cementos están normalmente basados en clinker de CP y deben fraguar lentamente y ser resistentes a altas temperaturas y presiones
- El Instituto Americano del Petróleo establece especificaciones para **nueve clases** de cemento para pozos (Clases A a la H); resultando cada clase aplicable para su uso en un cierto rango de profundidades, temperaturas, presiones y ambientes sulfatados
- Se emplean normalmente como **lechadas de cemento**, controlando su densidad entre 1800 y 2000 kg/m³
- Los más empleados son:
 - Clase G:** Hasta 2400 metros de profundidad
 - Clase H:** Más de 2400 metros de profundidad



Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

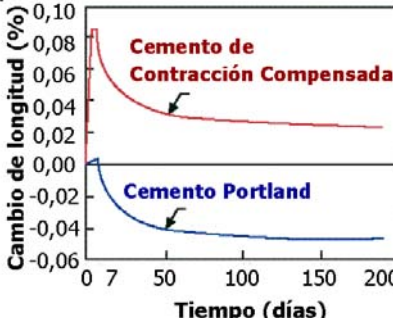
TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Cemento Expansivo o de Contracción Compensada

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER
Otros cementos no incluidos en IRAM 50.000

- El cemento expansivo es un **cemento hidráulico que se expande ligeramente** durante el inicio del periodo de endurecimiento, después del fragüe, anulando o atenuando la contracción por fraguado posterior
- Presentan **altos contenidos de aluminatos**, ya que los mismos son los responsables de las reacciones expansivas
- Se emplean fundamentalmente para:
 - 1) Compensar la disminución de volumen** causada por la **contracción por secado**
Ejemplo: Pisos sin juntas
 - 2) Inducir tensiones de tracción** en las armaduras
 - 3) Estabilizar a largo plazo las dimensiones del H^o postensado**



Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Cemento de Albañilería

Otros cementos no incluidos en IRAM 50.000

- Es un cemento apto para ser utilizado en **trabajos generales de albañilería, sin finalidades estructurales**
- En Argentina estos cementos deben responder a la **norma IRAM 1685**
- **Aplicaciones:** Contrapisos, mezclas de asiento para paredes de ladrillos y bloques, revoques gruesos, morteros livianos no-estructurales
- En general, **reemplaza a la mezcla de cemento y cal**, pero nunca al CP
- Vienen listos para usar, solo agregando arena y agua en las proporciones recomendadas por el fabricante, y presentan **buena plasticidad y adherencia**
- Se presentan en **bolsas de 40 kg** generalmente




TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Factores en la elección del tipo de cemento ACI 225

- 1) Fisuración por variaciones térmicas**
 - En **estructuras masivas** (como presas, fundaciones) el calor de hidratación liberado tiene una importancia fundamental
 - **Cemento BCH** (bajo C_3A , C_3S y/o finura), **adiciones puzolánicas y/o EAH**
- 2) Trabajabilidad y puesta en obra**
 - **Cantidad de cemento:** Contenidos elevados de pasta, mejoran la trabajabilidad
 - **Finura del cemento:** Más alta finura de molido, mejor trabajabilidad
 - **Tipos de cemento:** Se logra mejor trabajabilidad con CPF y CPC y con cementos que incorporan aire (EE.UU.)
 - **Tiempo de puesta en obra:** Industria del prefabricado, cementos ARI
 - **Condiciones climáticas adversas:** En la actualidad se emplean fundamentalmente aditivos retardadores de fragüe en clima caluroso y aditivos acelerantes de endurecimiento en tiempo frío



TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Factores en la elección del tipo de cemento ACI 225

3) Resistencia

- **Resistencia edades tempranas:** > C₃S ; > finura
- **Resistencia edades tardías:** > C₂S ; adiciones activas como puzolanas y EAH
- Elección **según categoría:** CP-30, CP-40 ó CP-50

4) Estabilidad Volumétrica


- Similar a la fisuración por gran calor de hidratación
- Además, importancia de componentes secundarios: MgO, CaO y SO₃
- **Mejor control:** Diseño eficaz de juntas de contracción y dilatación
- Se pueden usar **adiciones** o **cementos expansivos**

5) Propiedades elásticas

- **Módulo de Elasticidad:** Control de deformaciones bajo cargas
- Relación directa con la Resistencia y el tipo de agregado empleado

6) Fluencia lenta o efecto creep

- Si este fenómeno es de importancia, emplear **cementos compensadores de la retracción** o **adiciones minerales**
- A mayor volumen de pasta de cemento, mayor fluencia lenta



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Factores en la elección del tipo de cemento ACI 225

7) Permeabilidad

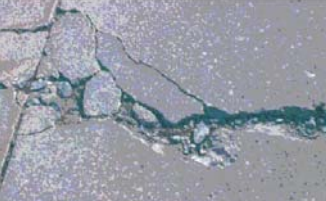

- Permeabilidad del H^o = **f (Permeabilidad de la pasta)**
- Función inversa de de la porosidad y la **relación a / c**
- Las adiciones activas **reducen la porosidad** y **refinan los capilares**

8) Corrosión de la armadura de refuerzo

- Importancia del % de **Cloruros** total en el hormigón
- **Mejor control:** Diseño del elemento y control de la **puesta en obra** (ambientes, recubrimientos)
- Preferible emplear **cementos MRS con adiciones**
- Las adiciones pueden tener roles positivos o negativos

9) Resistencia a la congelación y deshielo

- Similar a permeabilidad (a/c, puzolanas)
- Cementos incorporadores de aire (EE.UU.)
- **Mejor control:** Aditivos incorporadores de aire y bajas relaciones a/c



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Factores en la elección del tipo de cemento ACI 225

10) Resistencia a los ataques químicos externos

- Es uno de los **parámetros fundamentales** a tener en cuenta
- Empleo de cementos de **bajo % C₃A** según la **agresividad (sulfatos)**
- Se emplean **cementos MRS** (<8% C₃A) ó **ARS** (<4% C₃A)
- El empleo de **adiciones puzolánicas** juega un papel muy importante
- Para otros ataques (no sulfáticos) debe estudiarse el agente agresivo y elegir el cemento y/o adiciones más benéficas
- Existen cementos en Europa para **Ambientes Marinos** (% C₃A medio)



11) Resistencia a las altas temperaturas

- A **T > 300 °C**, el cemento normal pierde parte de sus propiedades
- Frecuentemente se emplean **cementos aluminosos**
- Las **adiciones minerales puzolánicas** tienen un rol benéfico

TEMA 4 – CEMENTOS

Composición y Tipos de Cementos

Factores en la elección del tipo de cemento ACI 225

12) Riesgo de Reacción Alkali-Agregado

- Si los **áridos** son potencialmente **reactivos**, se emplea cemento de **bajo contenido de álcalis** o un **cemento RRAA**
- Los cementos RRAA frecuentemente contienen **adiciones minerales**



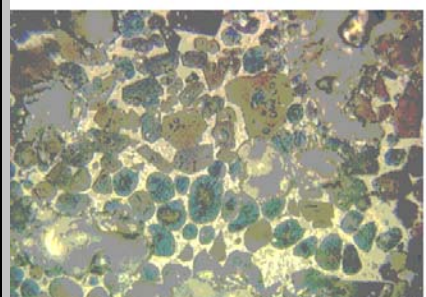
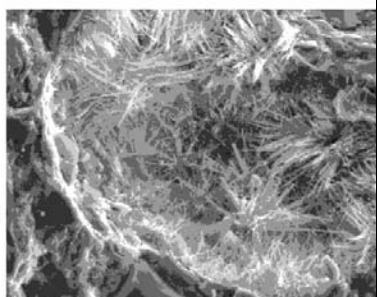
- Otras opciones: emplear **áridos no reactivos** (si son económicos) ó realizar ensayos para verificar la **no-expansión en morteros**, con cementos de uso general

13) Color

- Pueden emplearse **cementos blancos** o **coloreados** (óxidos Fe, Cr)
- Pautas **decorativas y arquitectónicas** fundamentalmente
- El H^o también puede colorearse con la **adición de pigmentos** (esta es la técnica más empleada actualmente)



TEMA 4 – CEMENTOS	
Contenido	TdH UNCuyo - TEMA 4 – CEMENTOS
	DEFINICIÓN, CLASIFICACIÓN Y COMPONENTES
	● Introducción general y reseña histórica
	● Componentes y composición de cementos
	● Clasificaciones generales de cementos
	● Normas IRAM 50.000 y 50.001
	● Tipos de cemento y criterios de elección
	REACCIONES DE HIDRATACIÓN Y FRAGÜE
	● Principios generales de la hidratación
	● Hidratación de las diferentes fases
	FABRICACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN
● Etapas en la fabricación del cemento	
● Evolución de la industria y comercialización	
● Acopio, manipuleo y SGA en plantas	
	ENSAYOS DE CEMENTOS (Trabajo Práctico)

TEMA 4 – CEMENTOS	
Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento	
<i>Introducción</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - La hidratación de los componentes del cemento Portland se produce por la acción del agua de amasado y de la temperatura - Los principales componentes son C₃S, C₂S, C₃A y C₄A; los secundarios yeso, álcalis y magnesia libre y las adiciones minerales - El estudio de la hidratación del cemento es la clave para comprender las propiedades de resistencia y durabilidad del hormigón 	
	<p style="text-align: center;">Hidratación</p> <p style="text-align: center;">↓</p>
	

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Metodología de estudio

- Cabe recordar que el **cemento** está constituido principalmente por:
 - 1) Partículas finamente molidas de clinker**
 - 2) Partículas finamente molidas de adiciones** (mayor o menor finura que la del clinker dependiendo del tipo de cemento y adición)
 - 3) Partículas finamente molidas de sulfato de calcio** (yeso)
- A su vez, los **diferentes granos o partículas de clinker**, que tienen dimensiones de $1\ \mu\text{m}$ a $50\ \mu\text{m}$ aunque su finura se expresa a través de su superficie específica, estando compuestas por:
 - 1.1) Fase Alita:** Cristales C_3S + impurezas
 - 1.2) Fase Belita:** Cristales C_2S + impurezas
 - 1.3) Fase Celita:** Masa intersticial C_3A + C_4AF + impurezas
- Es por ello, que teniendo en cuenta las partículas de clinker, se estudiarán las reacciones fundamentales de cada una de las fases componentes y luego la hidratación del cemento Portland

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Componentes antes de la hidratación	+ AGUA =	Componentes después de la hidratación
COMPONENTES ANHIDROS Partículas de cemento	f (temp.) f (tiempo)	COMPONENTES HIDRATADOS Pasta Endurecida
Silicato tricálcico - C_3S Silicato dicálcico - C_2S Aluminato tricálcico - C_3A Ferroaluminato tetracálcico C_4AF	+ AGUA = REACCIONES EXOTÉRMICAS	Silicatos de Calcio Hidratados C-S-H - Composición variable Portlandita Ca(OH)₂ - Hidróxido de Calcio Aluminatos de Calcio Hidratados AFm, AFt Mono y tri ferroaluminatos de Ca Partículas cemento anhidras
Sulfato de calcio (yeso) SO₄Ca - SO₄Ca.2H₂O Adiciones minerales Filler, puzolanas y/o escoria		Productos hidratados específicos de ciertas adiciones

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Efecto puzolánico

- Materiales que se combinan con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a temperatura ambiente para formar productos resistentes y estables (C-S-H)
- Este mecanismo de reacción se desarrolla con los meses



Cemento Portland únicamente

Cemento Portland + Agua

$\xrightarrow{\text{Compuestos durables y cementantes}}$ Silicatos de calcio hidratados (C-S-H)
 $\xrightarrow{\text{Compuestos no durables y solubles}}$ Portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

Cemento Portland + Pozolana

Cemento Portland + Pozolana + Agua

$\xrightarrow{\text{Compuestos durables y cementantes}}$ Silicatos de calcio hidratados (SCH)
 $\xrightarrow{\text{Puzolana + Ca}(\text{OH})_2}$

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Cantidad de agua necesaria para las reacciones

- Las principales fases del clinker Portland para su **hidratación completa necesitan para completar sus reacciones:**
 - Por cada 1 gramo C_3S - 0,230 gramos de agua - $a/c = 0,230$
 - Por cada 1 gramo C_2S - 0,196 gramos de agua - $a/c = 0,196$
 - Por cada 1 gramo C_3A - 0,522 gramos de agua - $a/c = 0,522$
 - Por cada 1 gramo C_4AF - 0,109 gramos de agua - $a/c = 0,109$
- Sólo como ejemplos, para clinkers de diferentes composiciones:
 - 1) $\text{C}_3\text{S}=56\%$; $\text{C}_2\text{S}=23\%$; $\text{C}_3\text{A}=10\%$; $\text{C}_4\text{AF}=11\%$ - $a/c = 0,24$**
 - 2) $\text{C}_3\text{S}=63\%$; $\text{C}_2\text{S}=19\%$; $\text{C}_3\text{A}=4\%$; $\text{C}_4\text{AF}=14\%$ - $a/c = 0,22$**
- Se acepta como promedio, que para la **hidratación completa de 100 gramos de cemento son necesarios 23 gramos de agua**, es decir, una **relación agua / cemento (a/c) igual a 0,23**
- Por lo general en **hormigones convencionales** se trabaja con **a/c entre 0,40 y 0,65**, para darle la **fluidéz necesaria** a la mezcla

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

1) Reacciones de hidratación del C₃S

1) Etapa 1: Período inicial - 15 minutos

- El C₃S se disuelve superficialmente desde el contacto con el agua
- Se desprenden una importante cantidad de iones Ca⁺², OH⁻ y H₂SiO₄⁻² elevando el pH de manera considerable a valores de 12,8
- Se forman pequeñas cantidades de productos de hidratación como C-S-H y Portlandita (Ca(OH)₂) en este período

2) Etapa 2: Período durmiente - 2 a 4 horas

- De dos a algunas horas las reacciones se prosiguen muy lentamente y no hay un gran consumo de agua, ni formación de C-S-H
- Este es el período donde el hormigón permanece manejable, posibilitando así su transporte, colocación y compactación
- Cuando la solución se sobresatura en iones Ca⁺², reaccionan cristalizando Ca(OH)₂ en cantidades importantes, reactivando la reacción

3) Etapa 3: Período de fragüe - 1 a 3 horas

- Comienzan a formarse productos hidratados a gran velocidad, lo que materializa el inicio del fragüe (cambio de viscosidad)

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Hidratación del C₃S (Alita)

Referencias

- Grano Clinker
- Alita (C₃S)
- Belita (C₂S)
- Fase C₃A-C₄AF
- Iones Ca⁺²
- Iones OH⁻
- Iones H₂SiO₄⁻²
- Borde original

Productos de Hidratación

- Portlandita Ca(OH)₂
- Silicatos de Calcio Hidratados (S-C-H)
- Hidratación C₃S
- S-C-H + Ca(OH)₂

Calor de hidratación

Etapa 1

Calor de hidratación (cal/g)

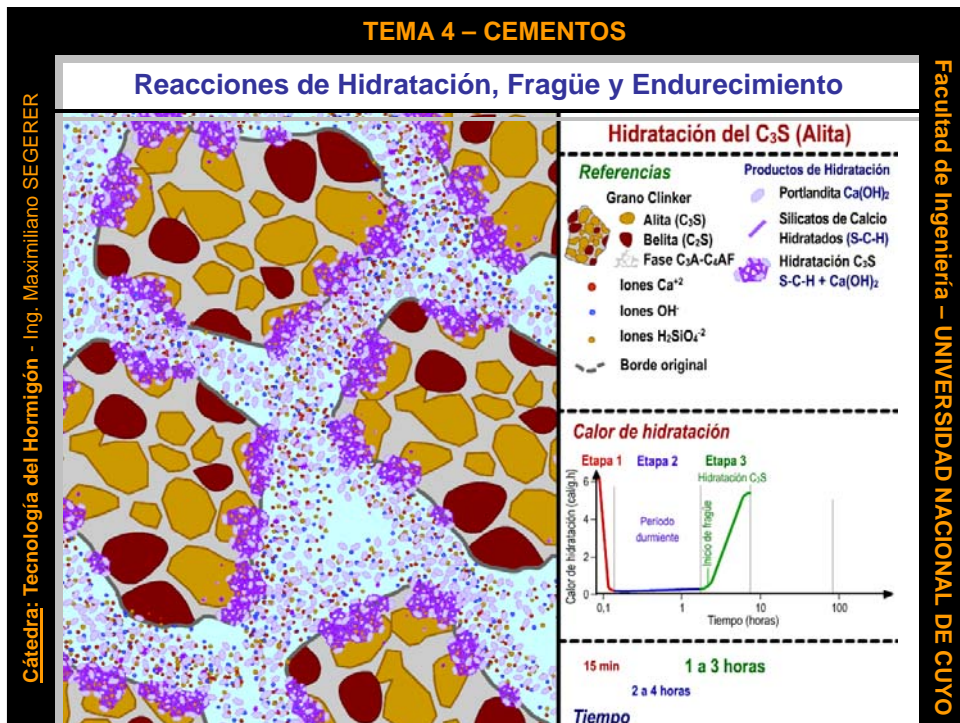
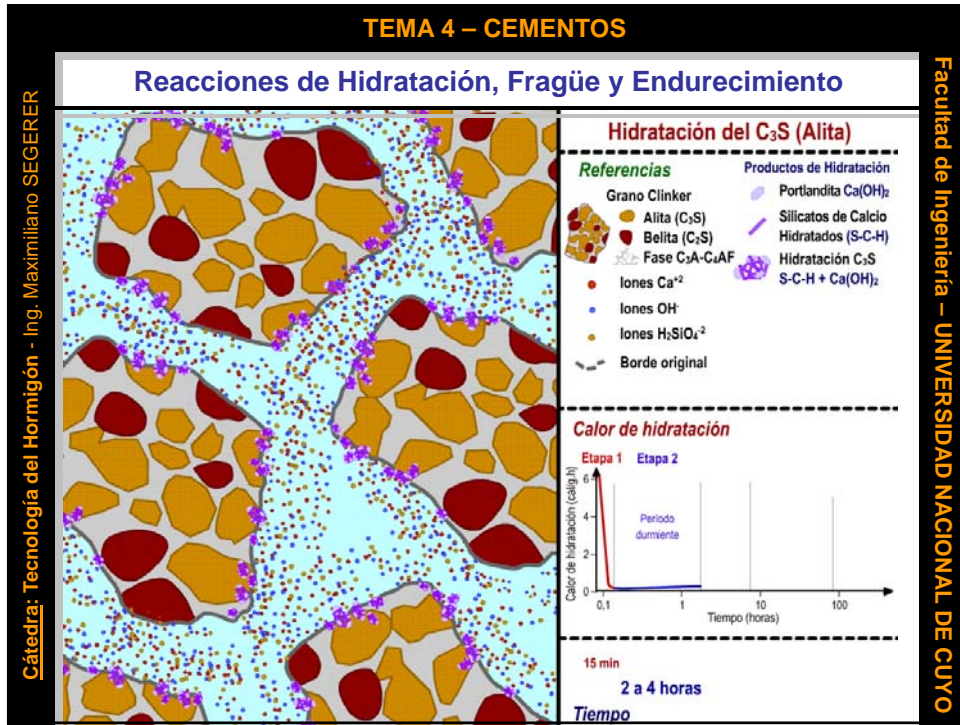
Tiempo (horas)

15 min

Tiempo

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

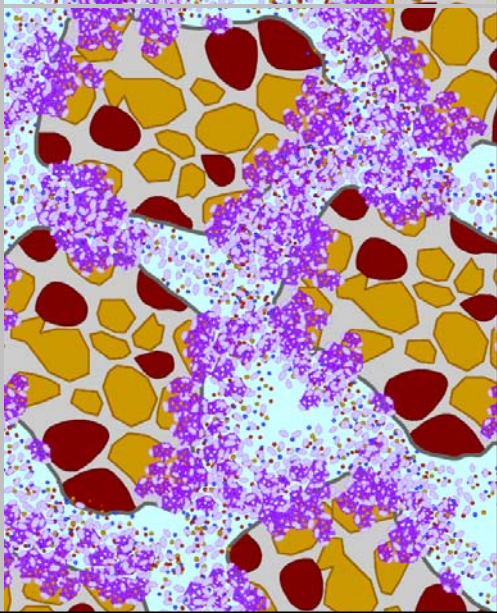
Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER




Hidratación del C₃S (Alita)

Referencias

Grano Clinker	Portlandita Ca(OH) ₂
Alita (C ₃ S)	Silicatos de Calcio Hidratados (S-C-H)
Belita (C ₂ S)	Hidratación C ₃ S S-C-H + Ca(OH) ₂
Fase C ₃ A-C ₄ AF	
Iones Ca ²⁺	
Iones OH ⁻	
Iones H ₂ SiO ₄ ²⁻	
Borde original	

Calor de hidratación



Calor de hidratación (cal/g·h) vs Tiempo (horas)

Etapa 1: Período dormitante (0-1h)
 Etapa 2: Inicio de fragüe (1-2h)
 Etapa 3: Fin de fragüe (2-4h)

15 min 1 a 3 horas
 2 a 4 horas

Tiempo

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

1) Reacciones de hidratación del C₃S

- Cuando las velocidades de reacción comienzan a decrecer, existe ya una vinculación entre los diferentes granos de clinker por productos de hidratación (C-S-H y Ca(OH)₂), se considera que finaliza el fragüe

4) Etapas 4 y 5: Período de endurecimiento - Duración indefinida


- En forma progresiva, la capa de hidratos que rodea los granos se vuelve más compacta, disminuyendo así la difusión de iones

- La velocidad de reacción disminuye y las reacciones de hidratación continúan durante años, cada vez más lentamente, refinando la estructura de poros, consiguiendo estructuras más densas y resistentes

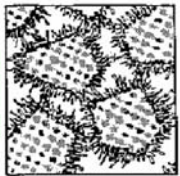
$$2C_3S + 11.H_2O = C_3S_2H_8 + 3Ca(OH)_2 \quad \Delta H = 118 \text{ KJ/mol}$$

61% - C-S-H 39% - Portlandita

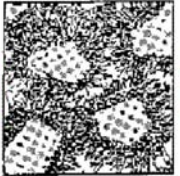
Granos anhidros



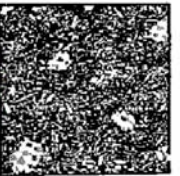
15 horas



7 días



1 año

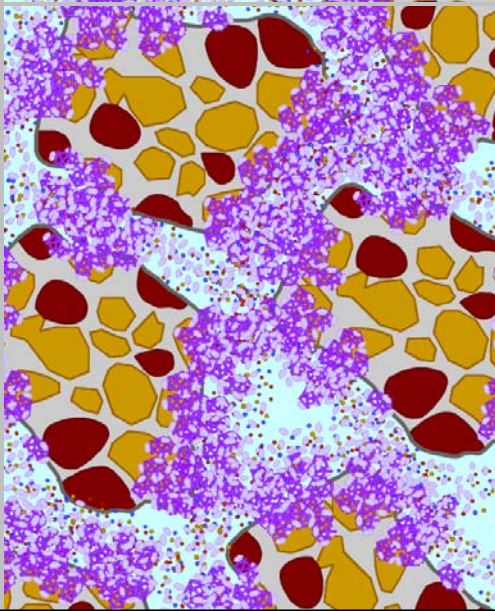


Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER




Hidratación del C₃S (Alita)

Referencias

<ul style="list-style-type: none"> ● Grano Clinker ● Alita (C₃S) ● Belita (C₂S) ● Fase C₃A-C₄AF ● Iones Ca⁺² ● Iones OH⁻ ● Iones H₂SiO₄⁻² — Borde original 	<p>Productos de Hidratación</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Portlandita Ca(OH)₂ ● Silicatos de Calcio Hidratados (S-C-H) ● Hidratación C₃S ● S-C-H + Ca(OH)₂
---	---

Calor de hidratación



15 min 1 a 3 horas 1 a 3 días
2 a 4 horas

Tiempo

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

2) Reacciones de hidratación del β C₂S

- Las reacciones del C₂S son **muy similares** a las del C₃S ya estudiado
- La cinética de las **reacciones es más lenta**
- Se genera **menor calor** de hidratación y menores resistencias iniciales
- **Adquiere resistencia de manera más progresiva**
- Se forman menor cantidad de cristales de portlandita (2 veces menos), obteniendo así estructuras más densas y resistentes con el C₂S

$$2C_2S + 9.H_2O = C_3S_2H_8 + Ca(OH)_2 \quad \Delta H = 45 \text{ KJ/mol}$$


82% - C-S-H
18% - Portlandita

C-S-H



1 μm

Cristales Ca(OH)₂



1 μm

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

3.a) Reacciones del C₃A en ausencia de yeso

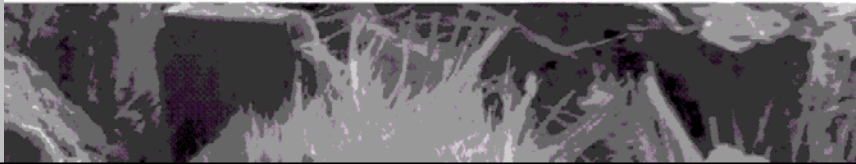
- El C₃A **reacciona muy rápidamente** con el agua, formando cristales con un gran desprendimiento de calor de hidratación
- Estos cristales forman **puentes entre los granos** y la pasta adquiere una gran **rigidez** en algunos minutos, proceso que **no es reversible**, lo que imposibilitaría el transporte y colocación del hormigón
- Este proceso es impedido mediante la **adición de sulfato de calcio (yeso)** que modifica y regula el fragüe del C₃A

$$\text{C}_3\text{A} + \text{H}_2\text{O} = \text{C}_3\text{AH}_6$$

3.b) En presencia de yeso

$$2\text{C}_3\text{A} + 6\text{H}_2\text{O} + \text{S} = \text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32} + 3\text{Ca}(\text{OH})_2 \quad \Delta H = 450 \text{ KJ/mol}$$

Aluminatos	Yeso	Etringita	Portlandita	
------------	------	-----------	-------------	--



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

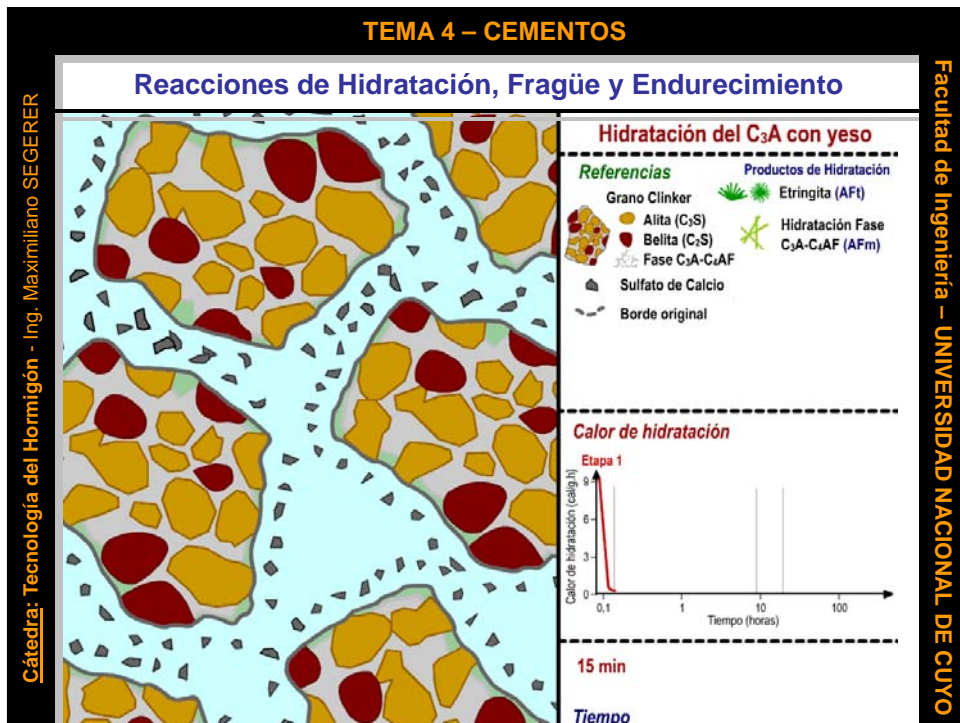
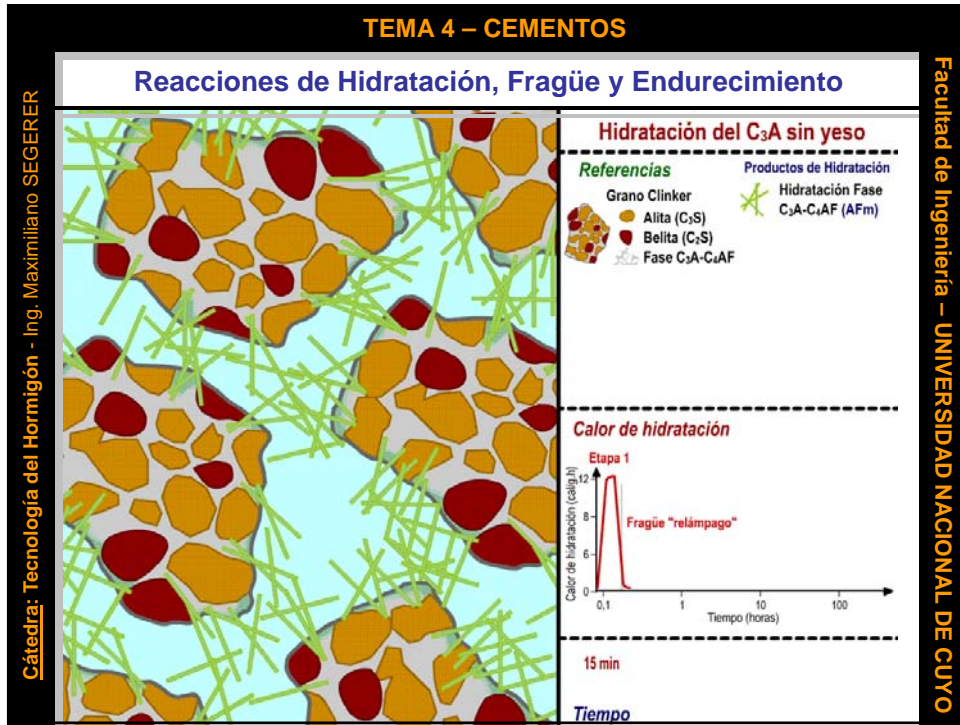
Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

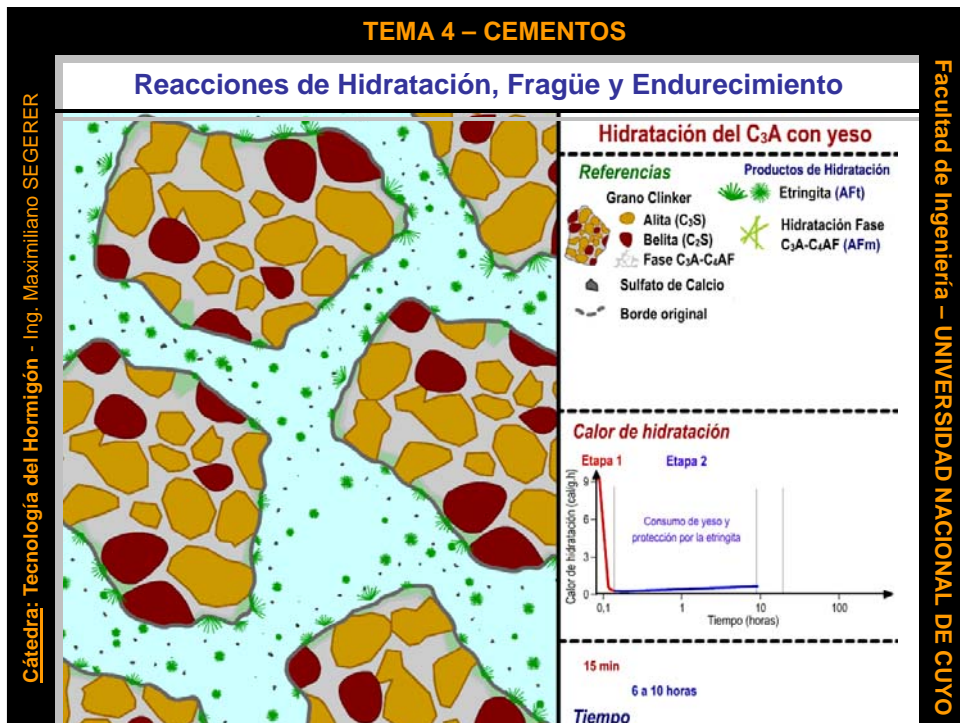
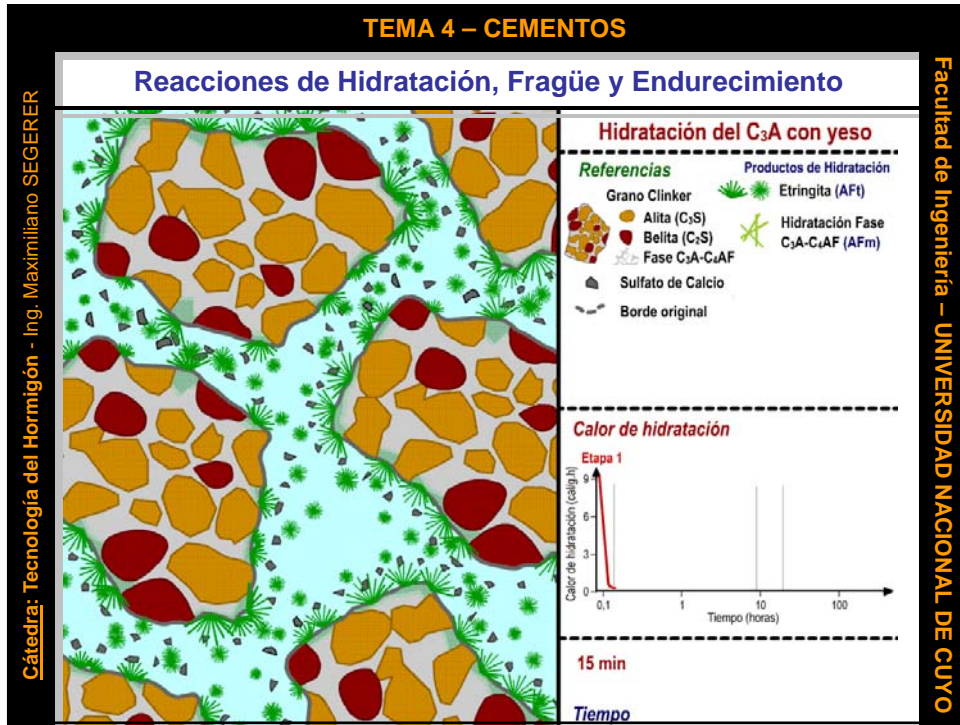
3.b) Reacciones del C₃A en presencia de yeso

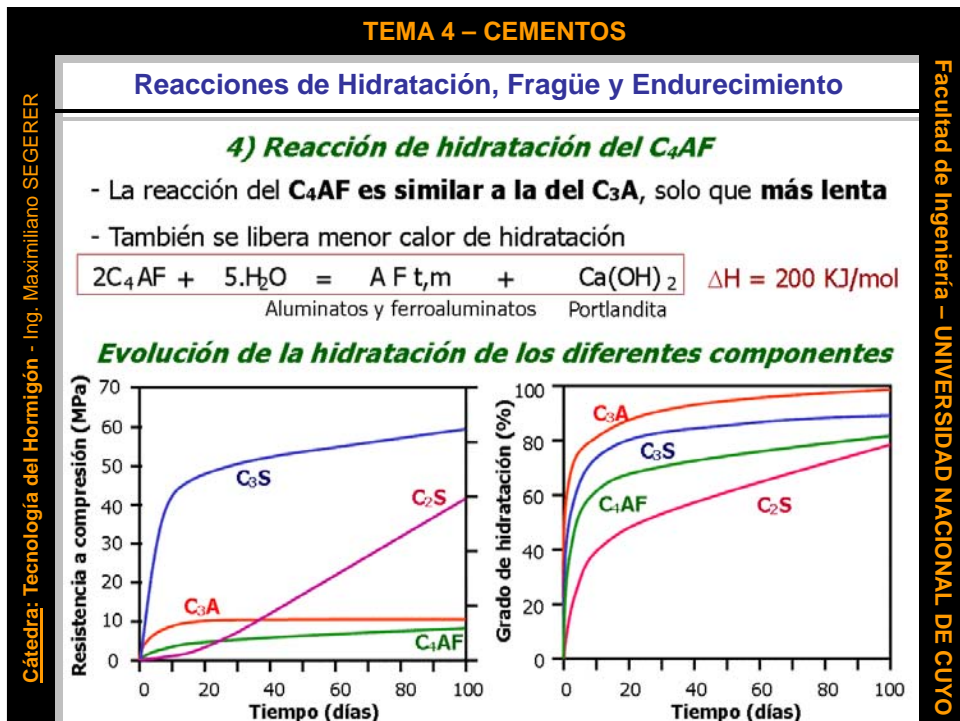
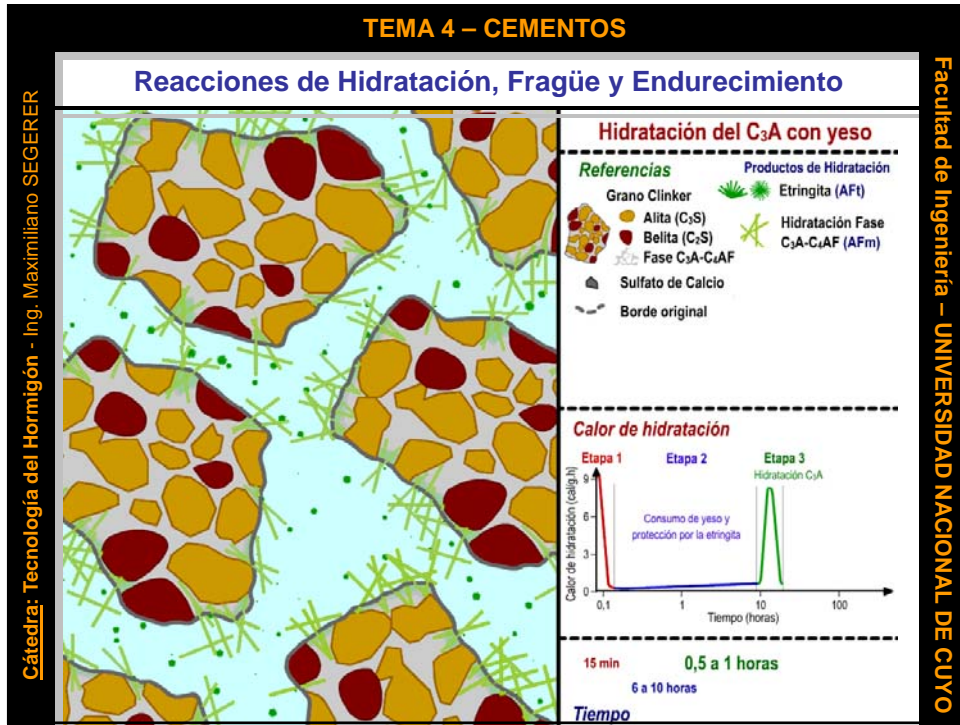
- 1) Etapa 1: Período inicial (mezclado) - 15 minutos**
 - El C₃A y el yeso se disuelven rápidamente, formando cristales de **trisulfoaluminato de calcio (etringita)**
 - La etringita se presenta bien cristalizada, en forma de agujas agrupadas como erizos, con fórmula definida 3CaO.Al₂O₃.3SO₄Ca.31H₂O
- 2) Etapa 2: Disminución de la velocidad de reacción - 6 a 10 horas**
 - La etringita sigue formándose como una capa alrededor del C₃A
 - Cuando el yeso se consume, se reactiva la reacción del C₃A
- 3) Etapa 3: Agotamiento del yeso - 30 minutos a 1 hora**
 - Es importante que cuando se agote el yeso, ya se haya concluido el fragüe del C₃S; regulando la cantidad de yeso adicionado para ello
 - Se forman aluminatos de calcio como productos de hidratación
 - Parte de la etringita se disuelve y se forma un mono-sulfoaluminato de calcio, que contribuye levemente a la resistencia del hormigón
- 4) Etapa 4: Reacciones a largo plazo**
 - Se continúa la formación de MSA, quedando poca etringita remanente

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO







TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

5) Reacciones de las adiciones minerales

1) Puzolanas (P)

- Las denominadas **puzolanas**, son adiciones de origen **natural** (ciertas rocas volcánicas finamente molidas) o **artificial** (microsilíce y cenizas volantes) compuestas principalmente por **silíce amorfa** y en menor proporción alúmina y calcio
- Reaccionan con el tiempo con **una proporción del Ca(OH)_2** formando **C-S-H y refinando la estructura de poros**, aumentando así durabilidad y resistencia del hormigón

Reacciones puzolánicas

Contenido de Puzolana (%)	< 45 A	45-500 A	500-1000 A	>1000 A
0	~0,55	~0,35	~0,15	~0,05
10	~0,50	~0,30	~0,15	~0,05
20	~0,45	~0,25	~0,15	~0,05
30	~0,40	~0,20	~0,15	~0,05

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

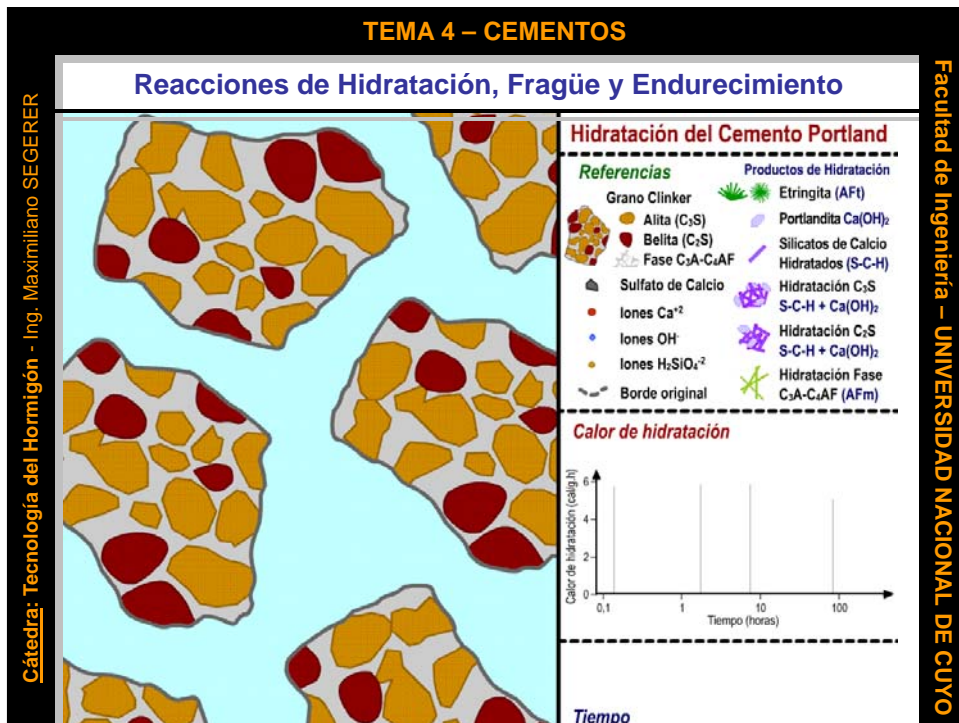
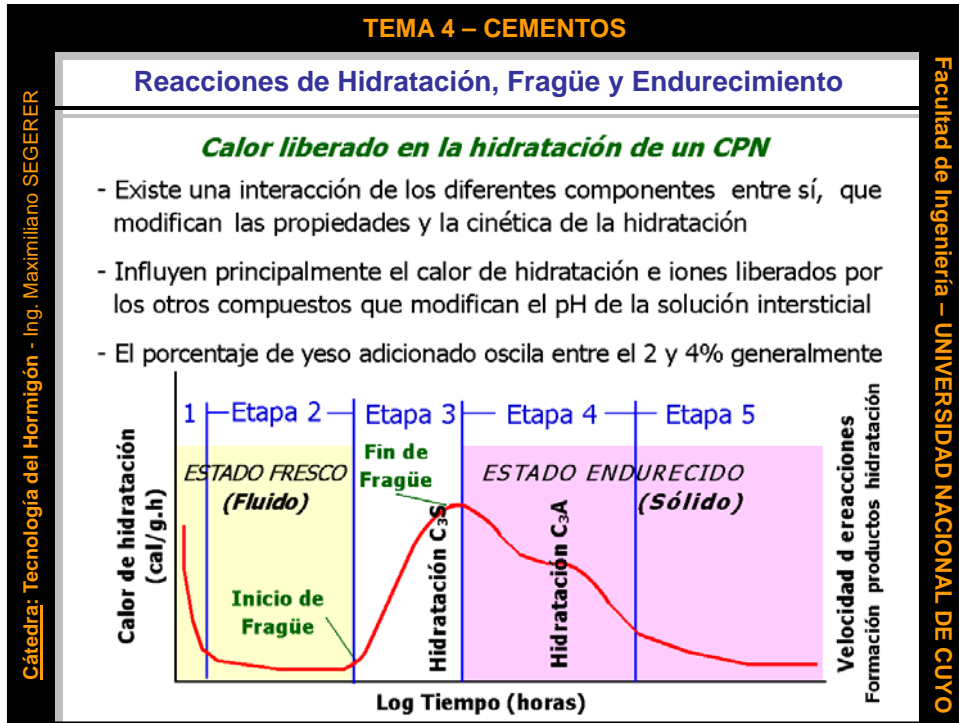
5) Reacciones de las adiciones minerales

2) Escoria granulada de Alto Horno (EAH)

- La EAH es la adición que presenta la composición más similar a la del clinker Portland, pero las escorias solas no se hidratan eficientemente sin la presencia de productos hidratados del clinker
- Es por ello que se denomina una adición de **hidraulicidad latente** ya que necesita ciertas condiciones (por ejemplo pH elevado) para desarrollar capacidad ligante y formar productos hidratados
- Se forman compuestos similares a los silicatos (C-S-H) y aluminatos (AFm, AFt) ya estudiados, las reacciones son mucho más lentas
- Las EAH también presentan cierto efecto puzolánico y **refinan progresivamente de manera muy eficiente los poros**

3) Filler calcáreo (F)

- El filler es una **adición inactiva**, no desarrollando ningún producto de hidratación, actuando las finas partículas de CaCO_3 como centros de nucleación, no alterando su composición ni produciendo hidratos

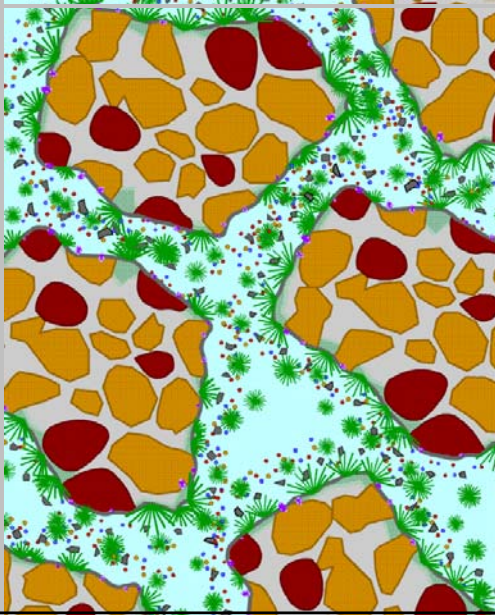


TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

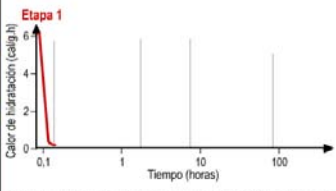


Hidratación del Cemento Portland

Referencias	Productos de Hidratación
Grano Clinker	Etringita (AFI)
Alita (C ₂ S)	Portlandita Ca(OH) ₂
Belita (C ₃ S)	Silicatos de Calcio Hidratados (S-C-H)
Fase C ₃ A-C ₄ AF	Hidratación C ₂ S
Sulfato de Calcio	S-C-H + Ca(OH) ₂
Iones Ca ⁺²	Hidratación C ₃ S
Iones OH	S-C-H + Ca(OH) ₂
Iones H ₂ SiO ₄ ⁻²	Hidratación Fase C ₃ A-C ₄ AF (AFm)
Borde original	

Calor de hidratación

Etapa 1



Calor de hidratación (cal/g.h)

Tiempo (horas)

15 min

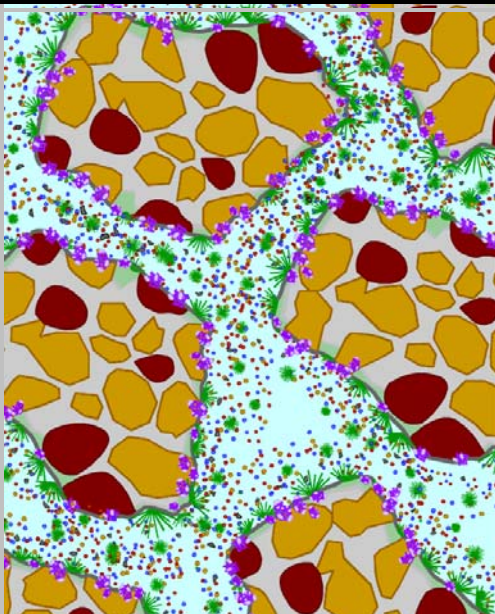
Tiempo

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

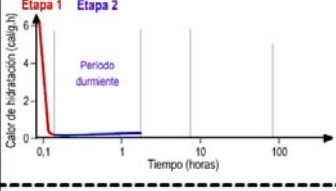


Hidratación del Cemento Portland

Referencias	Productos de Hidratación
Grano Clinker	Etringita (AFI)
Alita (C ₂ S)	Portlandita Ca(OH) ₂
Belita (C ₃ S)	Silicatos de Calcio Hidratados (S-C-H)
Fase C ₃ A-C ₄ AF	Hidratación C ₂ S
Sulfato de Calcio	S-C-H + Ca(OH) ₂
Iones Ca ⁺²	Hidratación C ₃ S
Iones OH	S-C-H + Ca(OH) ₂
Iones H ₂ SiO ₄ ⁻²	Hidratación Fase C ₃ A-C ₄ AF (AFm)
Borde original	

Calor de hidratación

Etapa 1 Etapa 2



Calor de hidratación (cal/g.h)

Tiempo (horas)

15 min

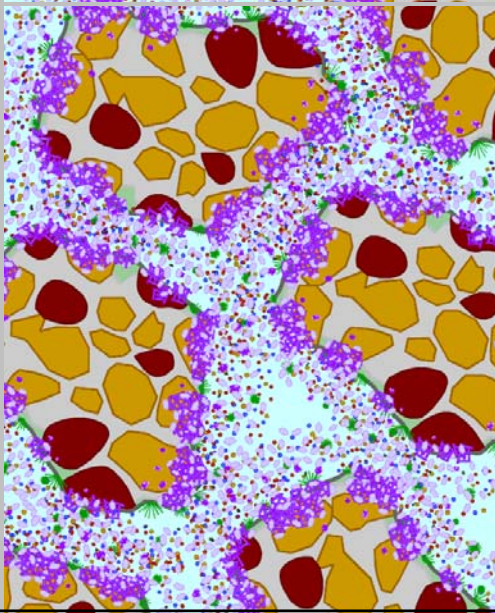
2 a 4 horas

Tiempo

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER



Hidratación del Cemento Portland

Referencias	Productos de Hidratación
Grano Clinker	Etringita (AFI)
Alita (C ₂ S)	Portlandita Ca(OH) ₂
Belita (C ₃ S)	Silicatos de Calcio Hidratados (S-C-H)
Fase C ₃ A-C ₄ AF	Hidratación C ₃ S
Sulfato de Calcio	S-C-H + Ca(OH) ₂
Iones Ca ⁺²	Hidratación C ₂ S
Iones OH ⁻	S-C-H + Ca(OH) ₂
Iones H ₂ SiO ₄ ⁻²	Hidratación Fase C ₃ A-C ₄ AF (AFm)
Borde original	

Calor de hidratación

Calor de hidratación (cal/g.h) vs Tiempo (horas)

Etapa 1: 15 min
 Etapa 2: 2 a 4 horas (Periodo dormitante)
 Etapa 3: 1 a 3 horas (Inicio de fragüe)

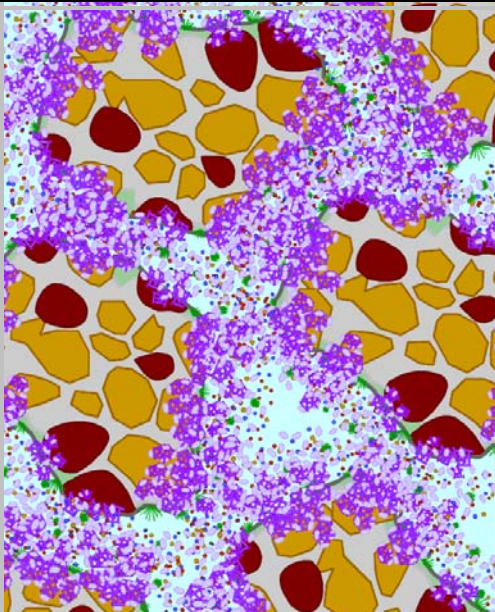
Tiempo

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER



Hidratación del Cemento Portland

Referencias	Productos de Hidratación
Grano Clinker	Etringita (AFI)
Alita (C ₂ S)	Portlandita Ca(OH) ₂
Belita (C ₃ S)	Silicatos de Calcio Hidratados (S-C-H)
Fase C ₃ A-C ₄ AF	Hidratación C ₃ S
Sulfato de Calcio	S-C-H + Ca(OH) ₂
Iones Ca ⁺²	Hidratación C ₂ S
Iones OH ⁻	S-C-H + Ca(OH) ₂
Iones H ₂ SiO ₄ ⁻²	Hidratación Fase C ₃ A-C ₄ AF (AFm)
Borde original	

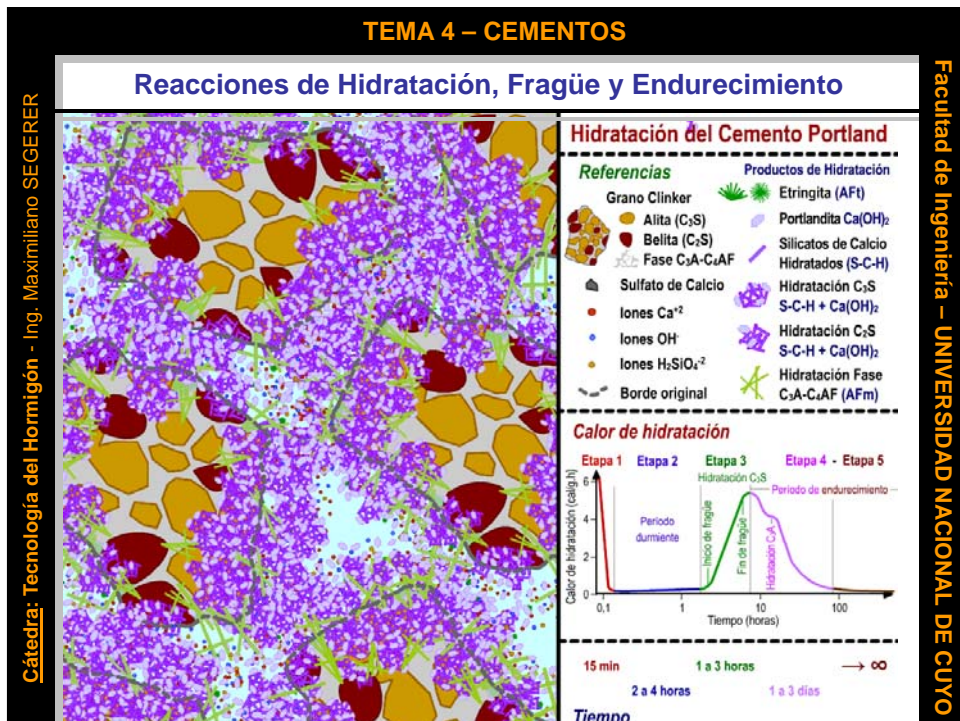
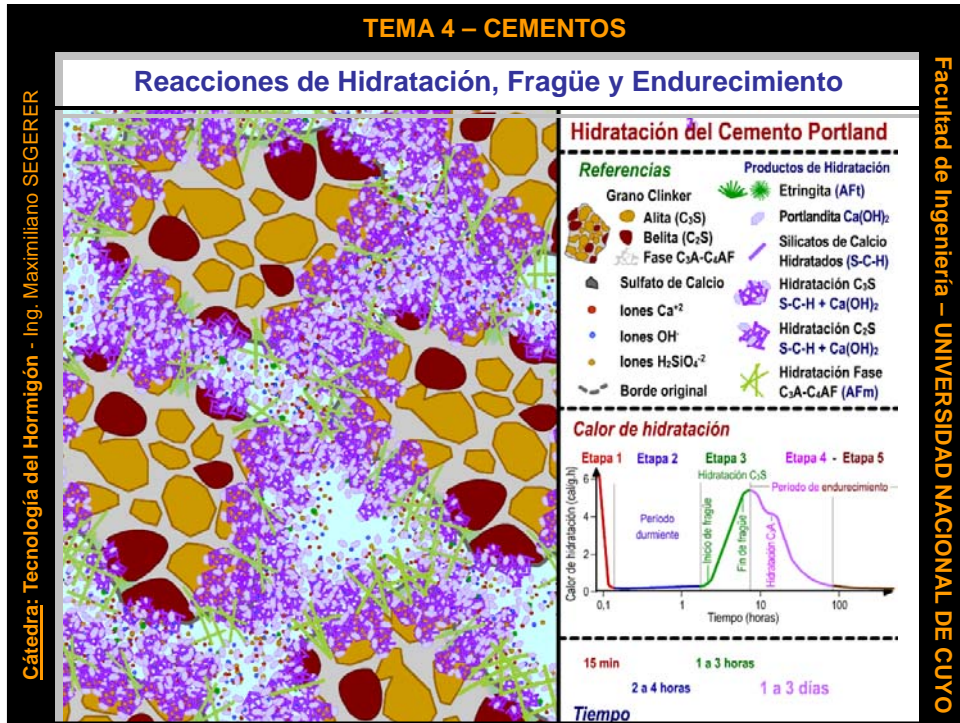
Calor de hidratación

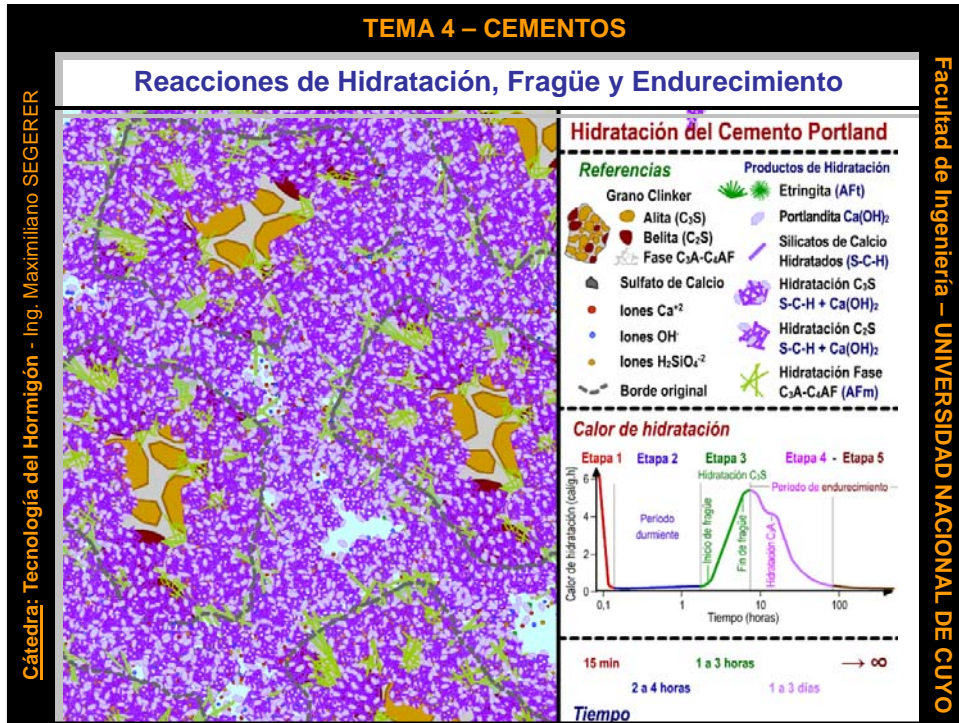
Calor de hidratación (cal/g.h) vs Tiempo (horas)

Etapa 1: 15 min
 Etapa 2: 2 a 4 horas (Periodo dormitante)
 Etapa 3: 1 a 3 horas (Inicio de fragüe)

Tiempo

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



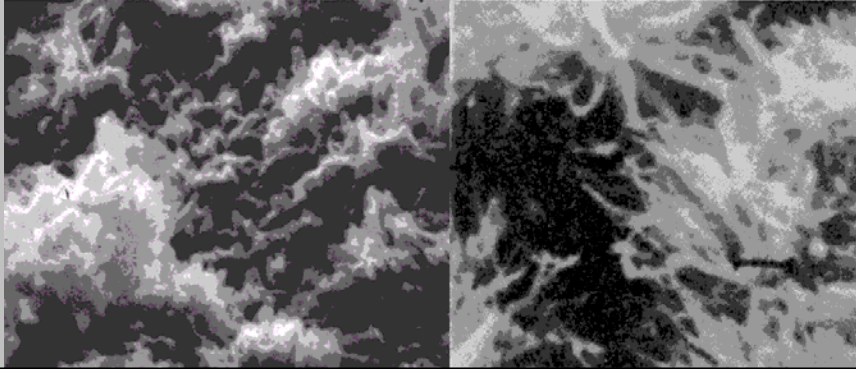


TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Silicatos de Calcio Hidratados (C-S-H)

- Ocupan entre el **50 y el 65%** de la pasta cementícea endurecida
- Son los **responsables** de la capacidad ligante y **resistencia de la pasta**
- Tienen una **muy elevada superficie específica** (100 a 700 m²/g)
- Los C-S-H no tienen una composición química definida



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

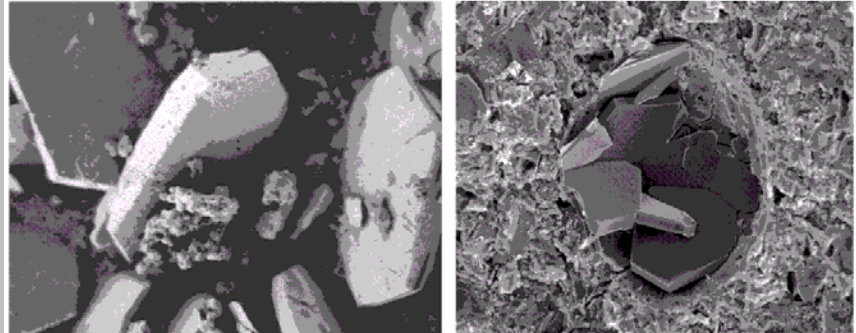
Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Hidróxido de Calcio o Portlandita (Ca(OH)₂)

- Ocupan del **20 al 25%** de la pasta cementícea
- Presentan **baja resistencia mecánica** y **escasa durabilidad**, debido a la elevada solubilidad en agua y a la forma lajosa de los cristales
- Son **cristales planos** con **baja superficie específica** (0,5 m²/g)
- Junto con los álcalis regulan el **pH elevado** de la solución intersticial



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

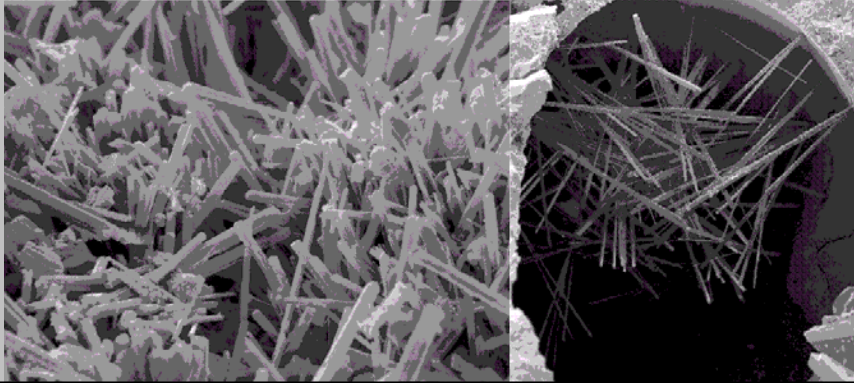
Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Ferro y Sulfo-Aluminatos de Calcio hidratados (AF_m, AF_t)

- Ocupan del **10 al 20%** de la pasta cementícea
- A edades muy tempranas se presentan como **etringita**
- En estado endurecido se presenta mayoritariamente como **mono y tri ferroaluminados hidratados**



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

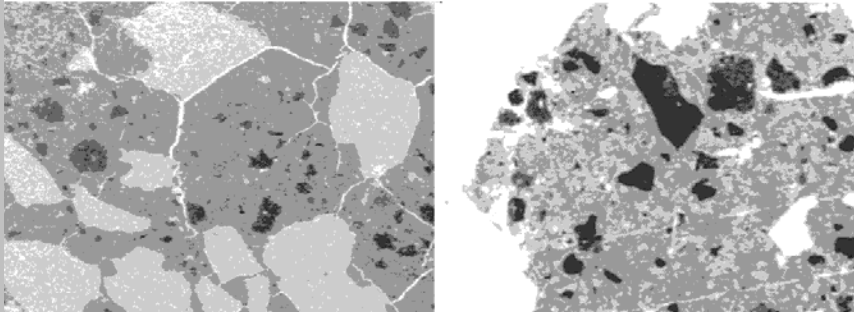
Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

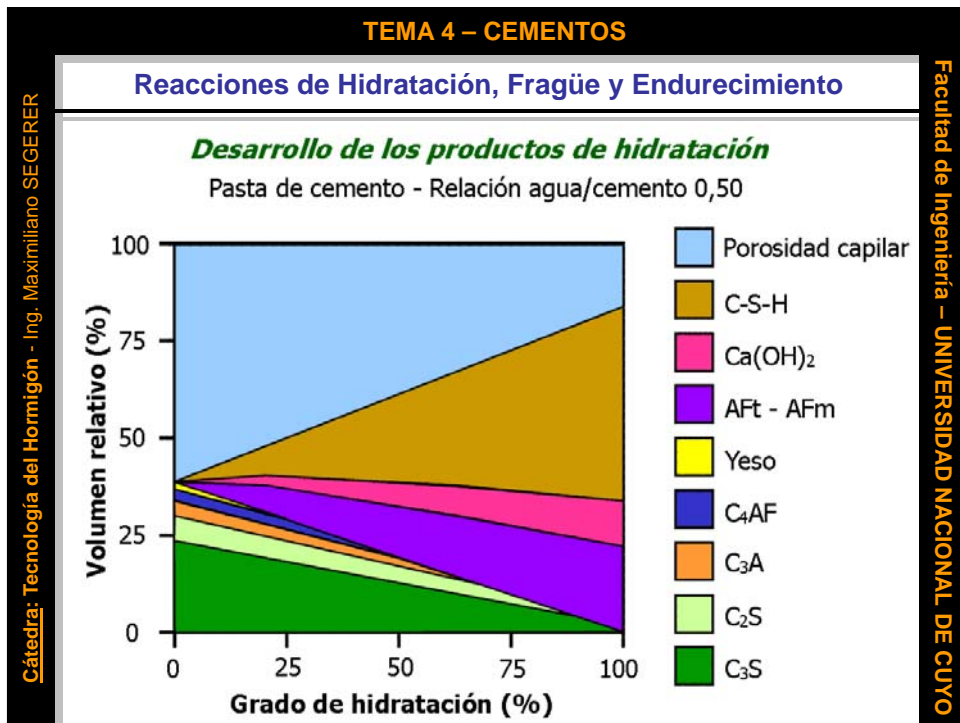
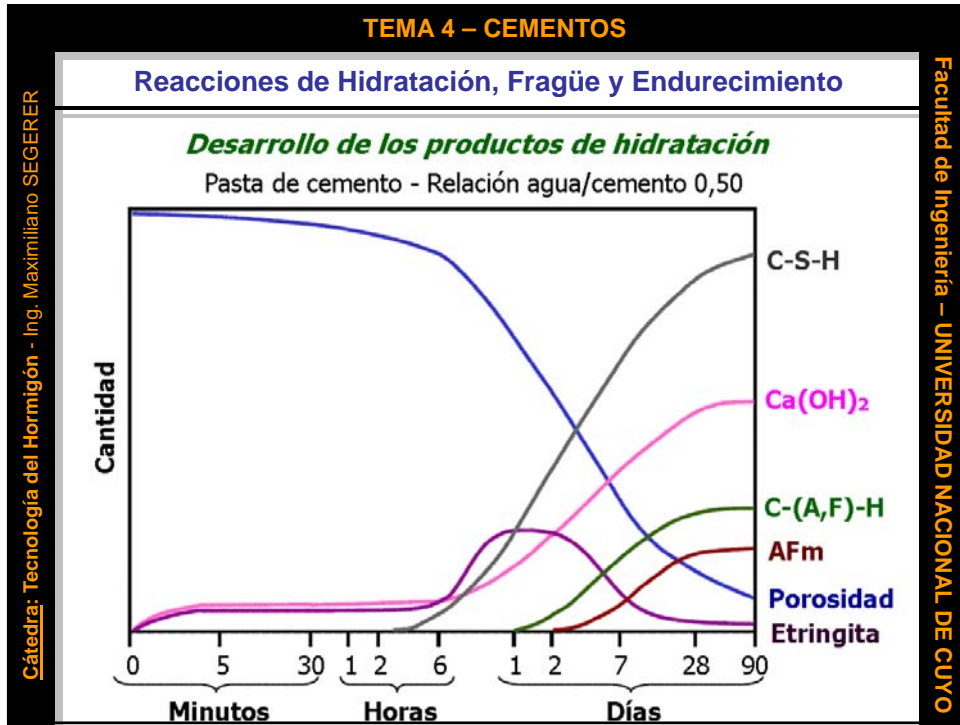
Granos de clinker anhidros

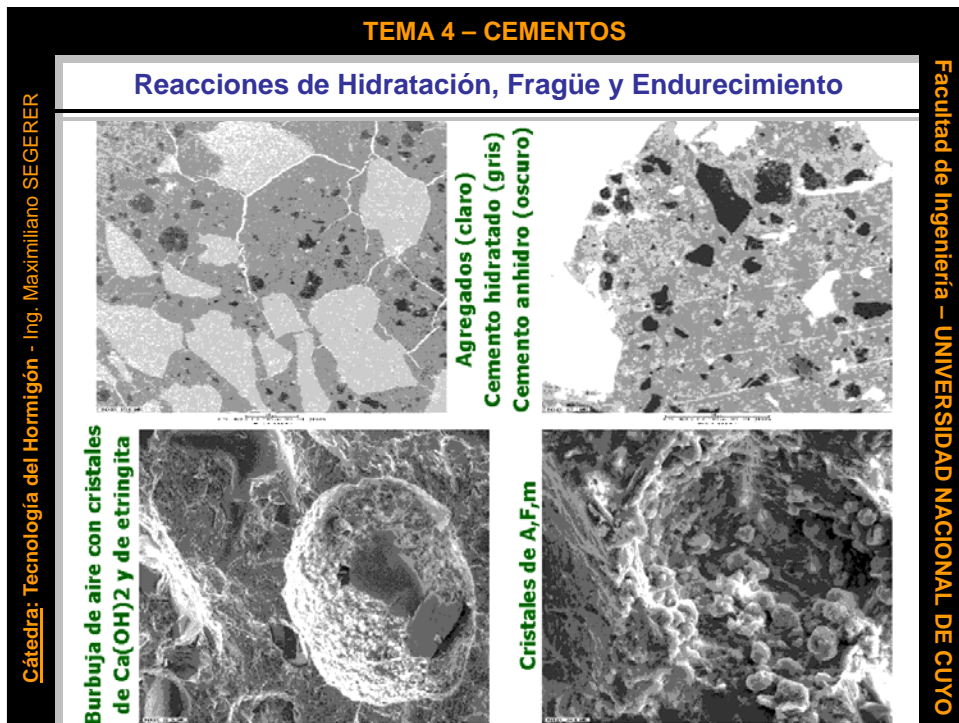
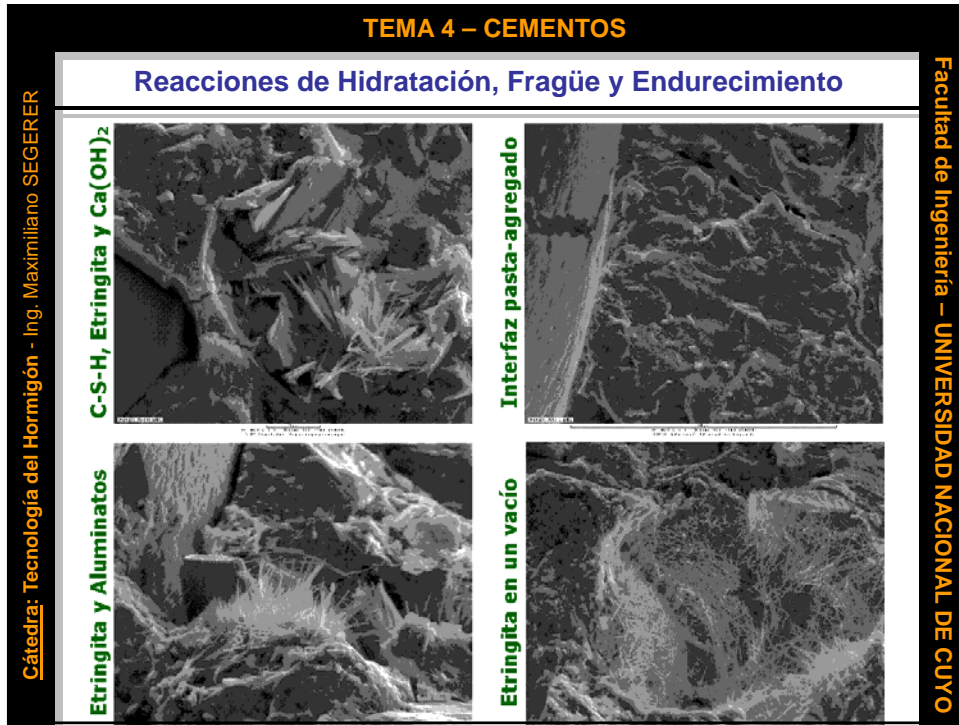
- La **hidratación del cemento continúa** mientras queden **partículas anhidras y agua disponible**
- La hidratación de las fases continua con el tiempo **aumentan la resistencia y la durabilidad** de la pasta de cemento
- La resistencia por formar nuevos compuestos C-S-H y la durabilidad por reacciones puzolánicas y por el refinamiento de poros



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO






TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Fraguado del cemento Portland

- La pasta de cemento Portland fresca, mantiene su plasticidad durante cierto tiempo a partir del comienzo del amasado con el agua
- **Comienzo de fraguado:** aumento brusco de la viscosidad de la pasta fresca acompañado de una elevación de temperatura
- **Fin de fraguado:** la pasta ya no puede ser penetrada, aquí **comienza el endurecimiento**, que es cuando el **hormigón se comporta como un sólido**, caracterizado por la ganancia progresiva de resistencias
- El **transporte, colocación y compactación** debe realizarse **antes del comienzo del fraguado** del hormigón o mortero
- Determinación pasta de cemento: **Aguja de Vicat**
 Tiempo de comienzo: 35 mm de penetración
 Tiempo de final: no se observa impresión
- Determinación hormigones: **Penetrómetro**



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

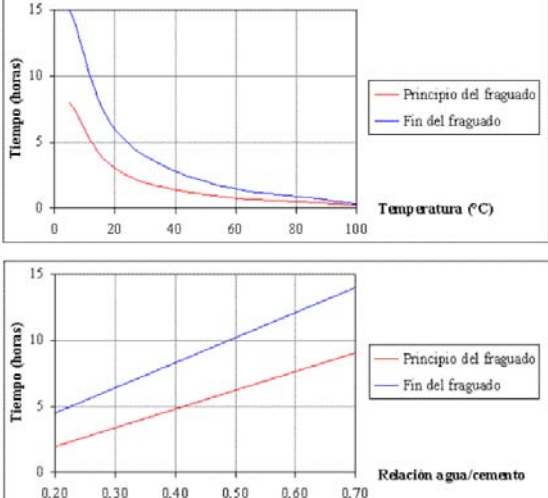
TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Fraguado del cemento Portland

- Entre los **factores que influyen en el fraguado** se destacan:

- Composición clinker
- Tipo de adiciones
- Contenido de adiciones
- Superficie específica
- Edad del cemento
- Sustancias presentes en agua o agregados
- Temperatura
- Relación agua/cemento
- Aditivos empleados



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Fraguado del cemento Portland

Aluminatos **Sulfatos (yeso)**

Fragüe normal

Aluminatos **Sulfatos (yeso)**

Falso fraguado

Aluminatos **Sulfatos (yeso)**

Fragüe relámpago

Falso fraguado:

Fenómeno que se manifiesta como un aumento de viscosidad sin aumento notable de temperatura

Se produce por la deshidratación del yeso durante la molienda por las temperaturas en el molino (150-200°C); aunque en la actualidad es poco probable su ocurrencia

No debe confundirse con fragüe relámpago (escasez de yeso)

Se elimina su efecto mediante un remezclado enérgico del hormigón, mientras que el fragüe relámpago no es reversible

$$\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{Calor} = \text{SO}_4\text{Ca} \cdot 1/2\text{H}_2\text{O} + 3/2\text{H}_2\text{O}$$

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Fraguado del cemento Portland

- Las diferentes combinaciones para de C₃A y yeso son:

C ₃ A	SO ₃	< 10 min	10 a 45 min	1 a 2 horas	2 a 4 horas
Bajo	Bajo				
Alto	Alto				
Alto	Bajo				
Alto	Muy Bajo				
Bajo	Alto				

PROBLEMAS EN LA FABRICACION DEL CEMENTO

- Fragüe rápido** (Alto C₃A, Alto SO₃)
- Fragüe relámpago** (Alto C₃A, Muy Bajo SO₃)
- Falso fraguado** (Alto C₃A, Alto SO₃)
- Cristales de aluminatos - No reversible** (Alto C₃A, Muy Bajo SO₃)
- Aguas de yeso - Reversible con remezclado** (Bajo C₃A, Alto SO₃)

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO


TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Variaciones dimensionales de la pasta

- **Deformaciones independientes de las fuerzas exteriores :**
 Contracción por secado y variaciones debidos a Δ de temperaturas
- **Deformaciones debidas a las fuerzas exteriores :**
 Deformación elástica y deformación progresiva bajo carga (creep)
- La **contracción de la pasta pura** de cemento **condiciona** la contracción del mortero y hormigón

- 1) Leve contracción hidráulica, suma de volúmenes anhidros mayor a los productos hidratados, denominada contracción de Le Chatelier (aprox. 0,4%)
- 2) Entre comienzo y fin de fraguado: leve ΔV positivo
- 3) **Contracción por secado** una vez que la pasta endurece. Es la única perjudicial e importante en la práctica, ya que si el hormigón tiene su movilidad restringida sumado a su escasa resistencia a tracción, se fisura; debiendo controlarlo con juntas



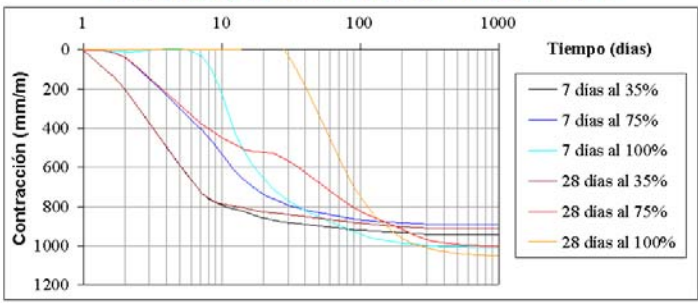
Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



TEMA 4 – CEMENTOS

Reacciones de Hidratación, Fragüe y Endurecimiento

Contracción de morteros de cemento



- **Rol de agregados:** localizar y disminuir la contracción por fraguado
- Contracción del mortero:
 2 a 3 veces menor que la de la pasta pura
- Contracción del hormigón:
 3 a 4 veces menor que la de la del mortero

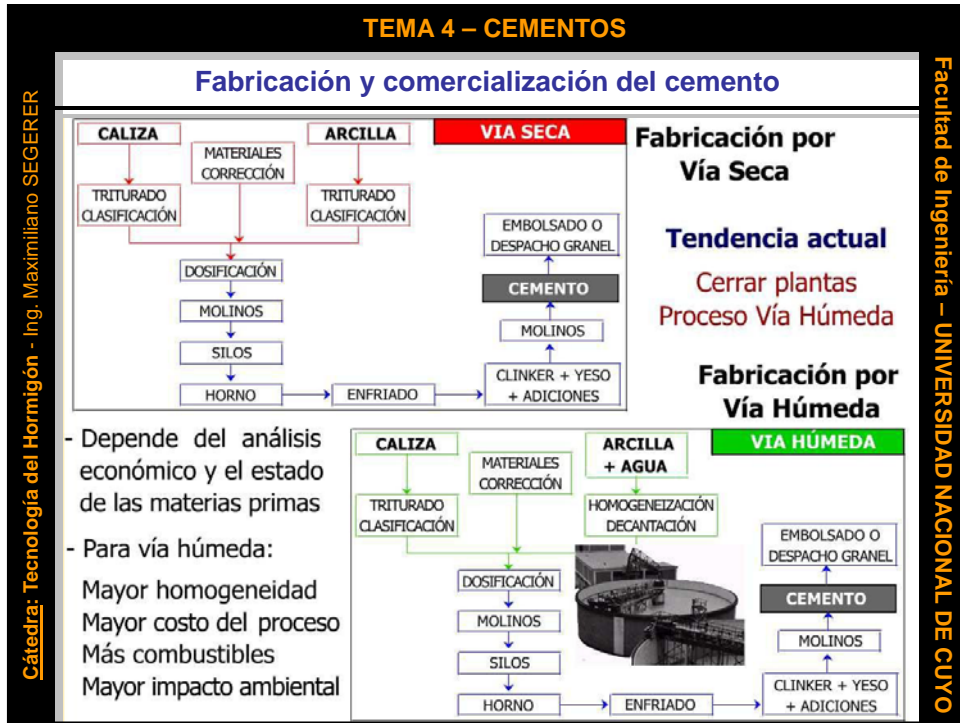



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS	
Contenido	TdH UNCuyo - TEMA 4 – CEMENTOS
	DEFINICIÓN, CLASIFICACIÓN Y COMPONENTES
	● Introducción general y reseña histórica
	● Componentes y composición de cementos
	● Clasificaciones generales de cementos
	● Normas IRAM 50.000 y 50.001
	● Tipos de cemento y criterios de elección
	REACCIONES DE HIDRATACIÓN Y FRAGÜE
	● Principios generales de la hidratación
	● Hidratación de las diferentes fases
	FABRICACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN
● Etapas en la fabricación del cemento	
● Evolución de la industria y comercialización	
● Acopio, manupleo y SGA en plantas	
ENSAYOS DE CEMENTOS (Trabajo Práctico)	

TEMA 4 – CEMENTOS	
Fabricación y comercialización del cemento	
Introducción	
<ul style="list-style-type: none"> - El cemento Portland es un producto obtenido mediante la cocción de una mezcla íntima de materiales calizos y arcillosos sometidos al calor hasta su reblandecimiento y principio de vitrificación a unos 1.450°C, y molido con adiciones hasta obtener la finura de la harina - En la actualidad se emplean adiciones minerales como reemplazo de clinker, por criterios técnicos, económicos y ambientales 	
	
<ul style="list-style-type: none"> - La localización de las plantas de cemento debe elegirse: <ul style="list-style-type: none"> Cerca de las canteras donde se extraen la caliza y arcilla Fácil acceso para la posterior distribución del producto al mercado Disponibilidad de los combustibles utilizados en la fabricación Estudios de impacto social, ambiental y factibilidad económica 	



TEMA 4 – CEMENTOS

Fabricación y comercialización del cemento

Dosificación - Proporción de materias primas

- Son fórmulas empíricas para conocer aproximadamente las cantidades de las diferentes materias primas para lograr el clinker de las propiedades deseadas

LSF = Límite de saturación de cal

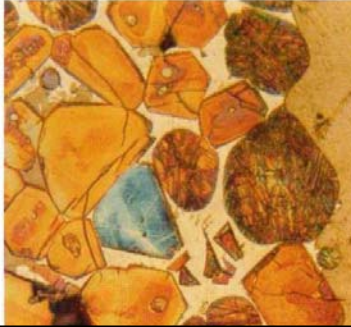
$$LSF = \frac{CaO \times 100\%}{2,8 SiO_2 + 1,18 Al_2O_3 + 0,65 Fe_2O_3} = 0,92 \text{ a } 0,96$$

Cantidad de cal necesaria para que reacciones totalmente los otros compuestos

MS = Módulo silíceo

$$MS = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} = 1,9 \text{ a } 3,2$$

MA = Módulo alumino-férrico

$$MS = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} = 1,5 \text{ a } 2,5$$


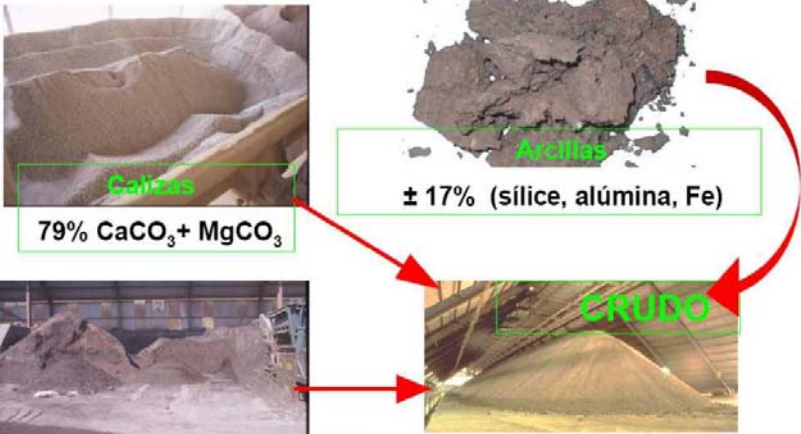
Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Fabricación y comercialización del cemento

Ejemplo de la composición del crudo



Calizas
79% $CaCO_3 + MgCO_3$

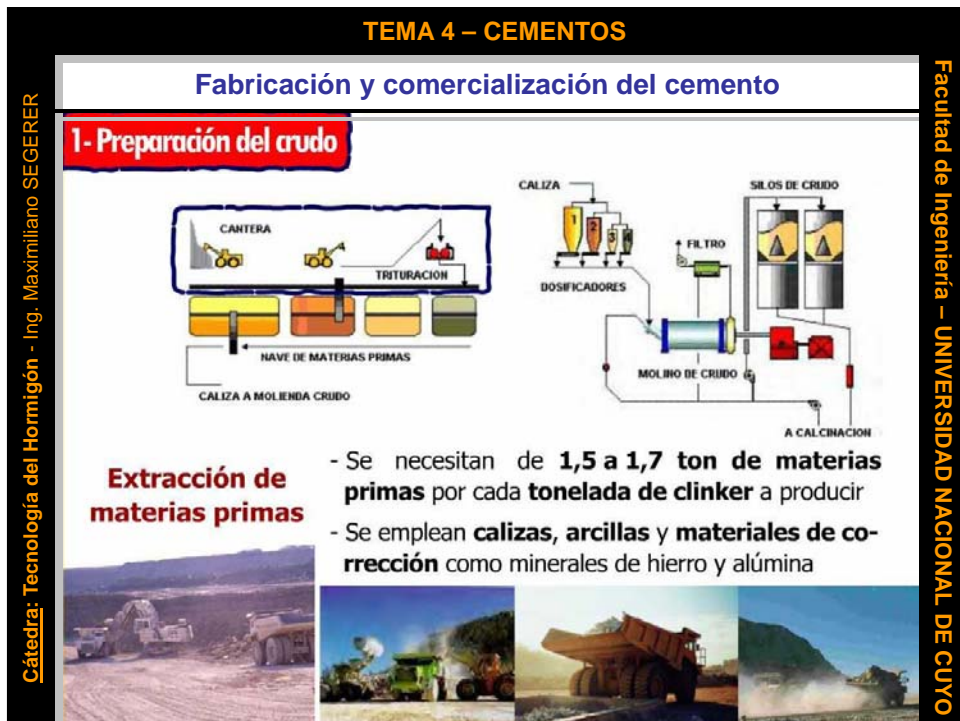
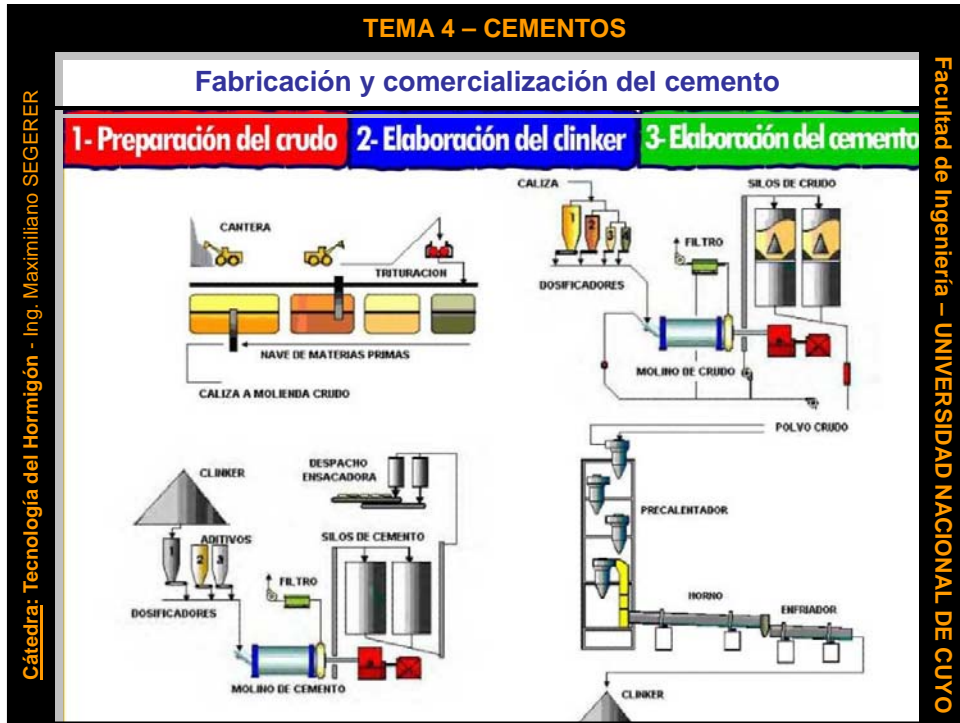
Arcillas
± 17% (silice, alúmina, Fe)

Corrección
± 3% arena + 0,7% óxido de Fe

CRUDO
SiO₂ 13,5% ; Al₂O₃ 3,1% ; Fe₂O₃ 2,0%
CaO 41,2% ; MgO 3,1% ; K₂O 0,9%

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



TEMA 4 – CEMENTOS

Fabricación y comercialización del cemento

1- Preparación del crudo

- Se trituran las materias primas primero a partículas del orden de 5" y luego a partículas de 3/4" (20 mm)

Las materias primas consisten en combinaciones de caliza, margas y esquistos, arcilla, arena o mineral de hierro

Se almacena cada materia prima separadamente

Las materias primas se transportan a los molinos

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Fabricación y comercialización del cemento

1- Preparación del crudo

Análisis químico y acondicionamiento de materias primas

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Fabricación y comercialización del cemento

1- Preparación del crudo

Molienda de crudo
Molinos eje vertical

Se muelen las materias primas hasta la finura de un polvo

Materia prima

Canaleta alimentadora

Molino de cilindros

Puerta para descarga del producto

Pala clasificadora

Puerta de entrada de aire

Gas caliente

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Fabricación y comercialización del cemento

1- Preparación del crudo

Molienda de crudo
Molinos eje horizontal

También se emplean molinos a bolas para moler a finura de polvo las materias primas

Materia prima

Canaleta alimentadora

Molino de cilindros

Puerta para descarga del producto

Pala clasificadora

Puerta de entrada de aire

Gas caliente

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Fabricación y comercialización del cemento

1- Preparación del crudo

- La preparación de materias primas consiste dosificarlas en proporciones adecuadas y en finura adecuada para su transformación en el horno

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Fabricación y comercialización del cemento

1- Preparación del crudo

Silos de crudo
 Almacenamiento y homogeneización
 Pasante tamiz 150 μm
 Análisis químico en todas las etapas

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Fabricación y comercialización del cemento

2- Elaboración del clinker

Silos de homogeneización

Son torres verticales de varios pisos compuestas por ciclones donde circulan corrientes de aire caliente con dos principales objetivos:

- Homogeneización del crudo
- El material entra al horno con una temperatura entre 700 y 900°C, disminuyendo la estadía del material en el horno



Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Fabricación y comercialización del cemento

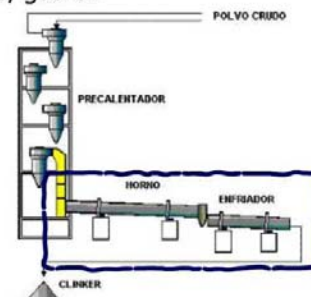
2- Elaboración del clinker

Hornos rotativos continuos

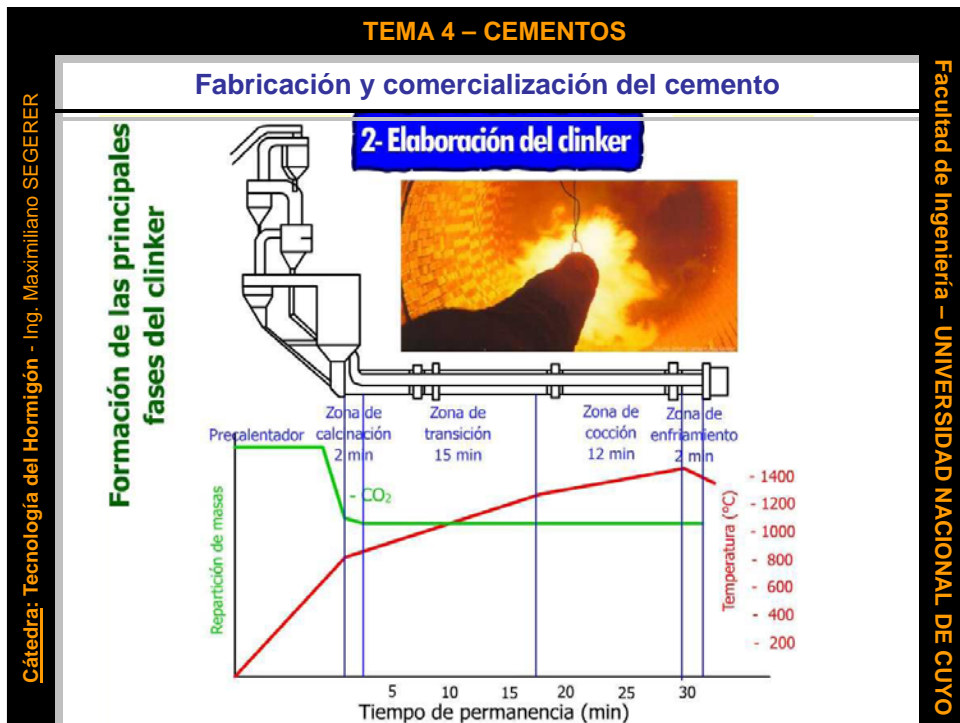
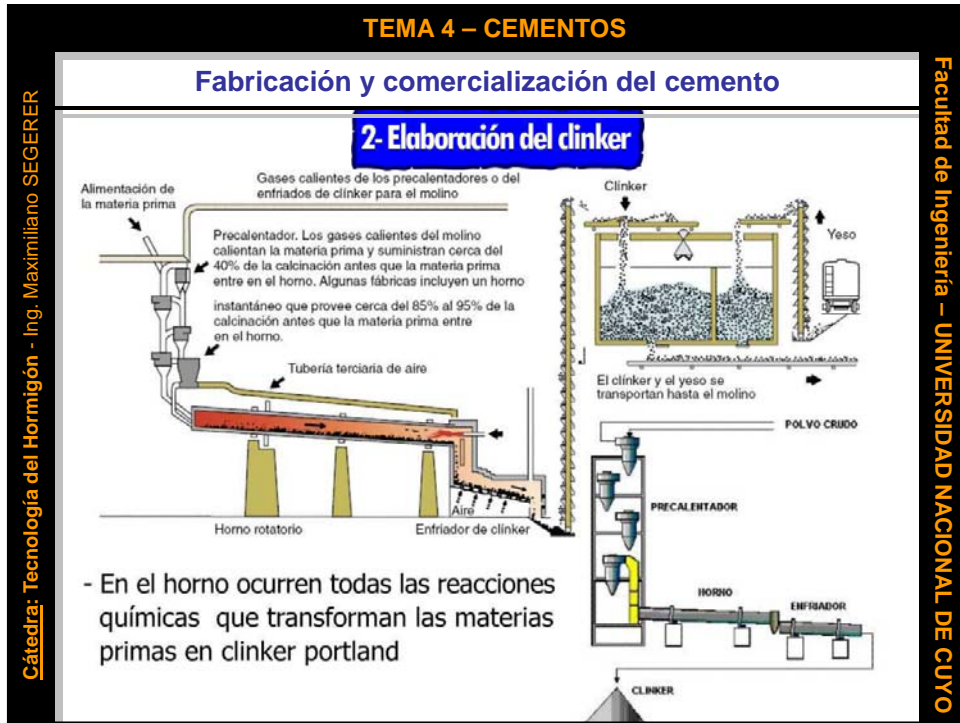
Cilindro de chapas revestido de material refractario
Largo entre 45 y 180 m - Diámetro de 2 a 4 m
Eje longitudinal con una inclinación del 2,5 a 4,5%
Giran entre 0,5 a 4 vueltas por minuto
Producción de hasta 7500 toneladas de clinker/día

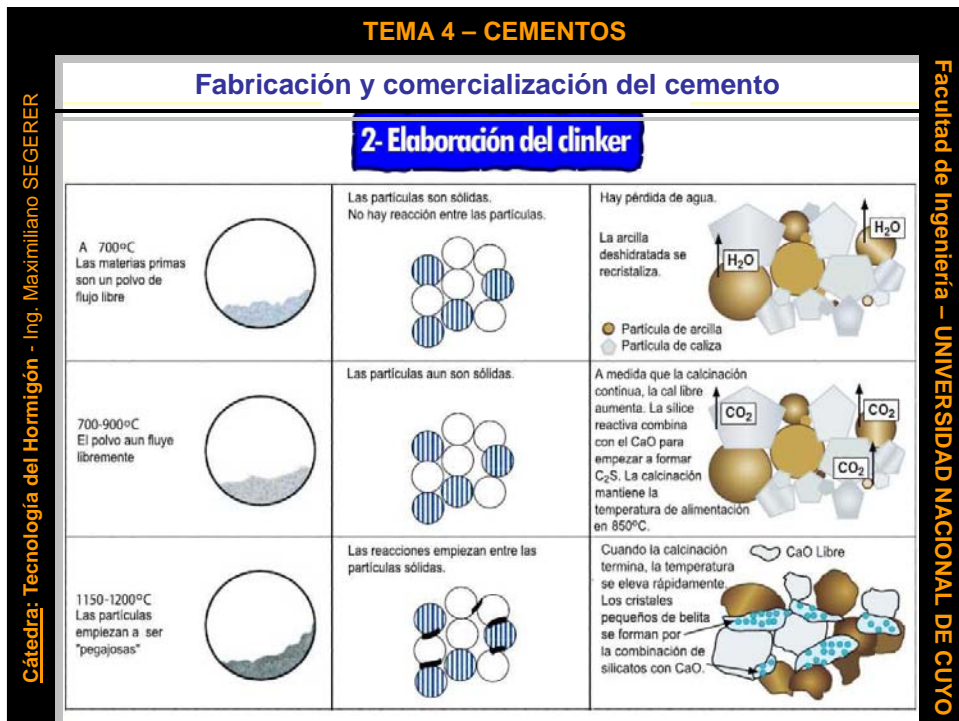
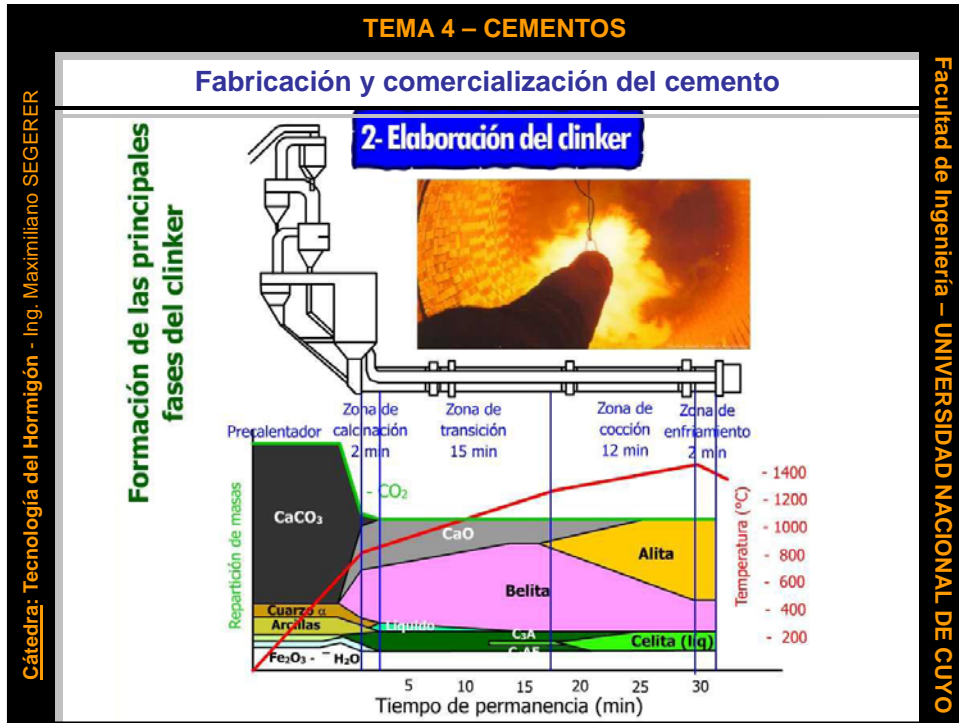
Combustibles primarios: carbón, coque, gas-oil

Combustibles alternativos: no-fósiles derivados de desechos industriales



Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO


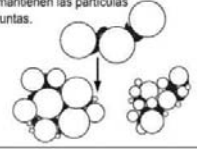


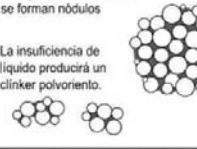
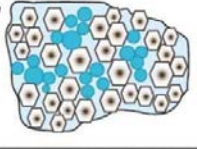

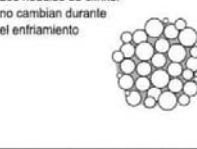
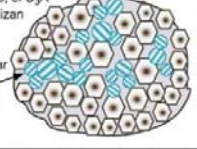




TEMA 4 – CEMENTOS

Fabricación y comercialización del cemento

2- Elaboración del clinker

<p>1200-1350°C Las partículas comienzan a aglomerarse, ellas se mantienen juntas por el líquido. La rotación del horno empiezan la cocción de los aglomerantes</p> 	<p>Las fuerzas capilares del líquido mantienen las partículas juntas.</p> 	<p>La fase líquida se forma cuando la temperatura excede 1250°C. El líquido permite la reacción entre la belita y el CaO libre, formando alita.</p>  <p><i>Cristales de belita arredondados</i> <i>Cristales de belita angulares</i></p>
<p>1350-1450°C La aglomeración de las partículas continúa a medida que el material cae encima uno del otro</p> 	<p>Si hay líquido suficiente, se forman nódulos. La insuficiencia de líquido producirá un clinker pulverulento.</p> 	<p>La cantidad de cristales de belita disminuye y su tamaño aumenta. El tamaño y la cantidad de alita aumentan.</p> 
<p>Enfriamiento</p> 	<p>Los nódulos de clinker no cambian durante el enfriamiento</p> 	<p>Bajo el enfriamiento, el C₃A y el C₄AF se cristalizan en la fase líquida. La estructura familiar aparece en los cristales de belita.</p> 

TEMA 4 – CEMENTOS

Fabricación y comercialización del cemento

2- Elaboración del clinker

Enfriamiento del clinker

- Generalmente se realiza mediante enfriadores a parrillas, bajo las cuales existen potentes ventiladores que enfrían rápidamente de 1450 °C a unos 250 °C el clinker



Sala de clinker

- Luego de enfriadas, las rocas de clinker con dimensiones entre 15 y 25 mm se almacenan en grandes playas de acopio



TEMA 4 – CEMENTOS

Fabricación y comercialización del cemento

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

3- Elaboración del cemento

Molienda del cemento

Para obtener el cemento portland se introducen a molino de eje horizontal (molino a bolas):

- **Clinker**
- **Yeso** (3-5%)
- Eventualmente **adiciones**, que pueden molerse conjuntamente con el clinker y yeso o en molinos especiales, pudiendo regular en este segundo caso una finura diferente a la del clinker + yeso





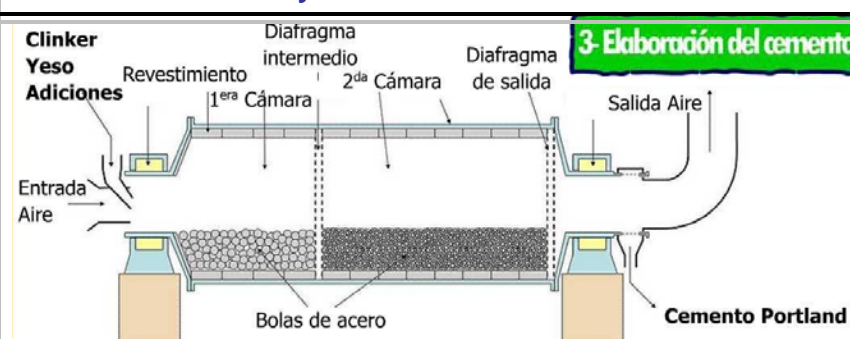
TEMA 4 – CEMENTOS


Fabricación y comercialización del cemento

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

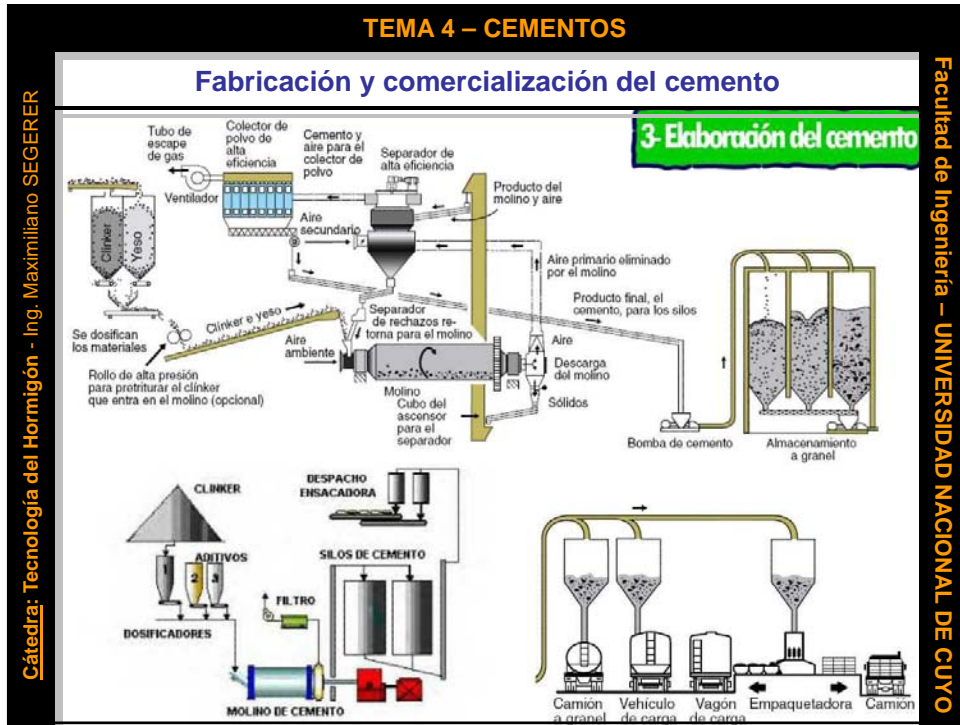
Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

3- Elaboración del cemento





- Los molinos de bolas generalmente están divididos internamente en dos zonas:
- 1^{era} Molienda: bolas de 60 a 80 mm
- 2^{da} Molienda: bolas de 15 a 40 mm
- De los molinos sale el cemento a temperaturas entre 80 a 130 °C



TEMA 4 – CEMENTOS

Fabricación y comercialización del cemento

Evoluciones y Tendencias recientes en la industria

- Reducción del **costo energético** (30 a 40% del costo total)
- **Disminuir el número de hornos** y aumentar su productividad
- Optar por el **método de vía seca**, ya que consume menos energía
- Equipamientos para diferentes tipos de **combustibles (alternativos)**
- **Protección del medio ambiente**
 - Combustibles a base de desechos (**combustibles alternativos**)
 - Empleo masivo de desechos de otras industrias como EAH, CV y MS
- Aporte de la computación a la explotación y control de producción
- Automatización de los procesos




Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER


Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Fabricación y comercialización del cemento

Cifras en la industria del cemento

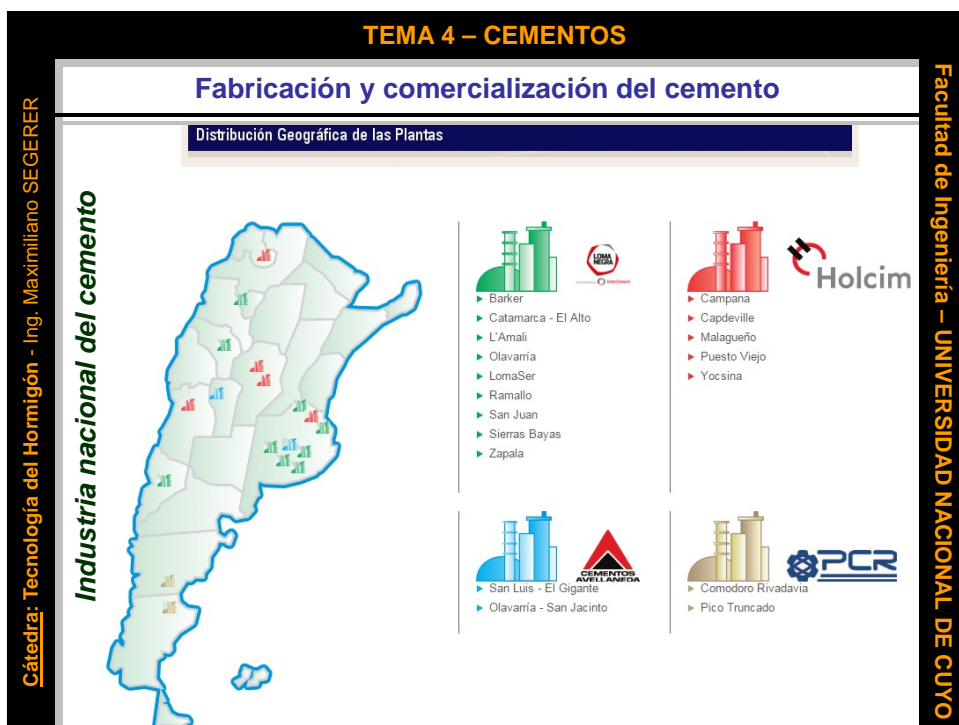
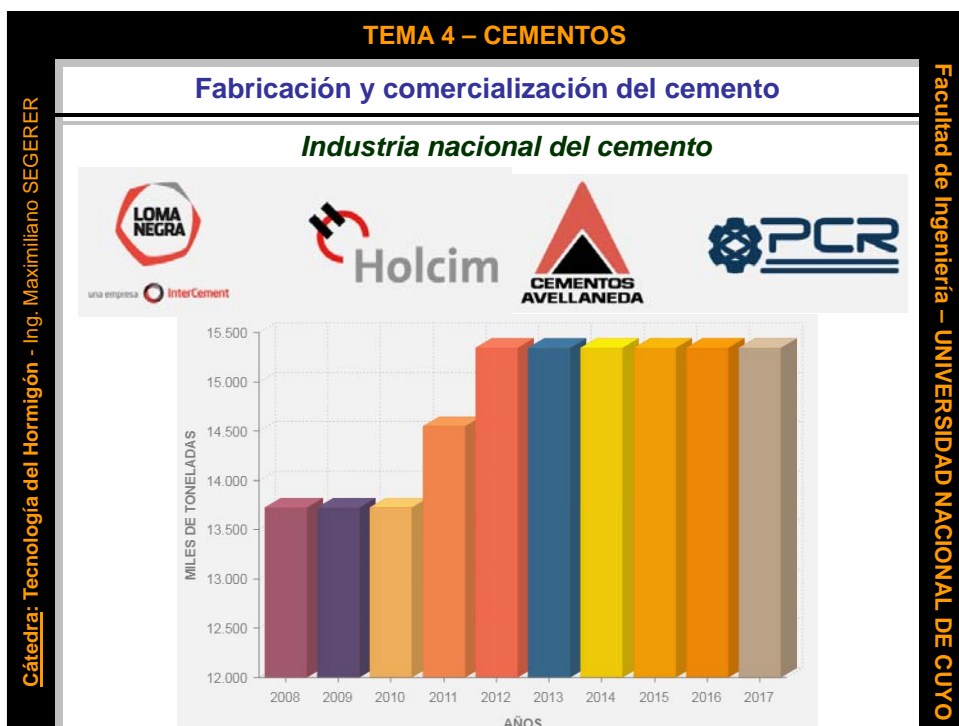
- En los últimos 40 años se ha cuadruplicado la producción de cemento
- Se ha bajado un **30% el consumo energético** por tonelada de cemento en las últimas 3 décadas (energías alternativas, adiciones)
- El valor del cemento, sin flete, en Argentina es del orden de U\$S 100, mientras que en otros países como China es de la tercera parte
- **Casi el 50% del cemento se produce en China**, produciendo 200 veces más que en Argentina (puesto 32). **Estados Unidos e India ocupan el segundo y tercer lugar**. India triplicó su producción en 15 años
- El consumo per cápita de cemento en Argentina es de 250 kg / hab / año, mientras que en países más desarrollados en infraestructura pueden ser 5 a 8 veces superior
- La producción de cemento, **es un indicador muy fuerte** para ver el estado de una economía ya que es la principal fuente confiable (siempre se declara) **para analizar el avance del país**



Año	Variación Interanual (%)	Producción de Clinker (Miles de toneladas)
2010	11.1%	8.253
2011	7.8%	8.900
2012	-3.4%	8.594
2013	0.8%	8.660
2014	-2.0%	8.490
2015	3.5%	8.788
2016	-10.9%	7.814
2017	9.6%	8.583

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



TEMA 4 – CEMENTOS

Fabricación y comercialización del cemento

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER



Industria nacional del cemento

una empresa **InterCement**

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

	Planta	Cemento IRAM 50.000	Adiciones	Prop. Especiales IRAM 50.001	Despacho
LOMA NEGRA	Lomaser	CPN50	Minoritarias	--	Grael
		CPC50	Filler + Escoria	--	Grael
	Olavarria	CPC40	Filler + Escoria	--	Grael / Bolsa
		Barker	CPC40	Filler + Escoria	--
	Ramallo	CPC40	Filler + Escoria	--	Bolsa
	L'Amali	CPN40	Minoritarias	TAR (*)	Grael
		CPN50	Minoritarias	--	Grael
	Sierras Bayas	CPN40	Minoritarias	(ARS)	Grael / Bolsa
		CPN50	Minoritarias	(ARI)	Grael / Bolsa
	Zapala	CAH40	Escorias AH	(BCH,ARS)	Grael
		CPN40	Minoritarias	--	Grael / Bolsa
		CPF40	Filler calcáreo	--	Grael
		CPP40	Puzolana natural	(ARS)	Grael / Bolsa
	Catamarca	CPC40	Filler + Puzolana	--	Bolsa
		CPC30	Filler + Puzolana	--	Bolsa
	San Juan	CPN30	Minoritarias	--	Grael / Bolsa
		CPP30	Puzolana natural	(ARS, RRAA, BCH)	Grael / Bolsa

(*) TAR = Para terminadoras de alto rendimiento s/ IRAM 50.002 (baja adición)

TEMA 4 – CEMENTOS

Fabricación y comercialización del cemento

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER




Industria nacional del cemento

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

	Planta	Cemento IRAM 50.000	Adiciones	Prop. Especiales IRAM 50.001	Despacho
PCR	Pico Truncado	CPP40	Puzolana natural	(ARS)	Grael / Bolsa
		CPC40	Filler + Escoria	--	Grael / Bolsa
		CPN40	Minoritarias	--	Grael / Bolsa
	Comodoro Rivadavia	CPP40	Puzolana natural	--	Grael / Bolsa
		CPC40	Filler + Escoria	--	Grael / Bolsa
		API CI G H5R	Industria Petrolera (**)	Grael / Bolsa	
AVELLANEDA	San Luis	CPC40	Filler + Puzolana	--	Bolsa
		CPF40	Filler calcáreo	--	Grael
	Olavarria	CPC40	Filler + Escoria	--	Bolsa
		CPF40	Filler calcáreo	--	Grael
		CPN40	Minoritarias	(ARS)	Grael
CPN50	Minoritarias	(ARI, MRS)	Grael		
HOLCIM	Mendoza	CPP40	Puzolana natural	(ARS)	Grael / Bolsa
		CPN40	Minoritarias	(ARS)	Grael / Bolsa
		API SPEC 10A	Industria Petrolera (**)	Grael / Bolsa	
	Campana	CPC50	Escoria + Filler	--	Grael
		CAH 40	Escorias AH	(ARS)	Grael / Bolsa
	Córdoba	CPF40	Filler calcáreo	--	Grael / Bolsa
		CPN40	Minoritarias	--	Grael / Bolsa
		CPP40	Puzolana natural	(ARS)	Grael / Bolsa
Jujuy	CPF40	Filler calcáreo	--	Grael	
	CPC30	Filler + Puzolana	--	Bolsa	

(**) Industria Petrolera = No clasifica en categorías de IRAM 50.000 ó 50.001

TEMA 4 – CEMENTOS	
Contenido	TdH UNCuyo - TEMA 4 – CEMENTOS
	DEFINICIÓN, CLASIFICACIÓN Y COMPONENTES
	● Introducción general y reseña histórica
	● Componentes y composición de cementos
	● Clasificaciones generales de cementos
	● Normas IRAM 50.000 y 50.001
	● Tipos de cemento y criterios de elección
	REACCIONES DE HIDRATACIÓN Y FRAGÜE
	● Principios generales de la hidratación
	● Hidratación de las diferentes fases
	FABRICACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN
● Etapas en la fabricación del cemento	
● Evolución de la industria y comercialización	
● Acopio, manipuleo y SGA en plantas	
	ENSAYOS DE CEMENTOS (Trabajo Práctico)

TEMA 4 – CEMENTOS	
Acopio, Manipuleo y SGA en plantas	
Cemento en bolsas	
<ul style="list-style-type: none"> - Los depósitos deben ser techados y con ventilación - Almacenar en lugares secos, separando las bolsas del piso sobre pallets o tablonés (mín. 15 cm) y de las paredes (mín. 20 cm) - Si hubiera riesgos de mojaduras por lluvia o condensación, cobrir los pallets de cemento con láminas de plástico de 150 ó 200 μm - Asegurar una adecuada rotación del cemento estibado almacenando las bolsas de modo de ir utilizando las más antiguas primero - Evitar períodos de almacenamiento superiores a los 60 días ya que, dependiendo de las condiciones de almacenamiento, el desarrollo de resistencia del cemento a edad temprana podría llegar a reducirse sensiblemente - Utilizarlo preferentemente dentro de 15 días de elaboración 	

TEMA 4 – CEMENTOS

Acopio, Manipuleo y SGA en plantas

Cemento a granel

- Para minimizar el deterioro y la formación de grumos duros durante el transporte y almacenamiento a granel del cemento es indispensable **asegurar la estanqueidad de los silos de almacenamiento y las tolvas de transporte**
- Observar principalmente las **compuertas de carga** el techo, las uniones soldadas y las compuertas de mantenimiento
- Mantener las **compuertas cerradas** cuando no están siendo utilizadas

Evitar la contaminación con sustancias capaces de alterar el fraguado (azúcar, almidón, Pb, Zn, Cu)



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Acopio, Manipuleo y SGA en plantas

Disposiciones CIRSOC 201-05 **Artículo 3.1.3**

- Se debe **proteger de la humedad** durante el transporte y almacenamiento
- El cemento a granel se debe almacenar en **silos adecuados**, limpios, secos y bien ventilados, capaces de protegerlo contra la acción de la intemperie
- Al inicio de la obra y a intervalos no mayores de un año **se debe verificar** que los **silos** no permitan el pasaje de agua
- El cemento envasado se debe **conservar en su envase original** hasta el momento de su empleo, y se debe acopiar **bajo techo**, separando las bolsas **del suelo y de las paredes**, como mínimo a una distancia de 15 cm
- Los cementos de **distinto tipo o partida**, se deben almacenar en forma **separada** y por **orden cronológico** de llegada, emplénandose en ese orden
- Al ingresar a la hormigonera el cemento debe cumplir con la **Norma IRAM**, **no presentar grumos** y su **temperatura debe ser menor de 70 °C**
- Si el cemento estuvo almacenado durante períodos mayores de **30 días en bolsas** originales o de **180 días en bolsones de plástico doble** (capacidad > 1000 kg), o **un año en silos** metálicos con cierre hermético, antes de su empleo, debe ser **reensayado** para verificar si se cumplen los requisitos

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO


TEMA 4 – CEMENTOS

Acopio, Manipuleo y SGA en plantas

¿Qué medidas pueden tomarse en un SGA en lo referente al manipuleo y acopio del cemento?

Casos de aplicación

- El factor principal es **evitar la emisión de polvo (partículas más finas del cemento)**, ya que el mismo puede provocar enfermedades (silicosis) por inhalación ocasional; además de las molestias en general
- Deben cuidarse tanto en el **transporte y descarga del cemento a granel en los silos**, como en la **carga de los camiones hormigoneros**
- Con respecto a la descarga por **medios neumáticos** de los camiones tolva a los silos, deben **poseerse sistemas y filtros especiales** para **evitar la emisión del polvo**, debiendo prever un buen mantenimiento



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Acopio, Manipuleo y SGA en plantas

¿Qué medidas pueden tomarse en un SGA en lo referente al manipuleo y acopio del cemento?

Casos de aplicación

- Respecto a la **carga de los camiones hormigoneros**, cuando el cemento sale de la báscula generalmente por un tornillo sin fin, debe **procurarse por todos los medios no formar “una nube de cemento”** alrededor de la boca de carga del camión hormigonero
- Pueden optarse por **sistemas de filtros** o la **carga de camiones dentro de un recinto cerrado**



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 4 – CEMENTOS

Acopio, Manipuleo y SGA en plantas

¿Qué medidas pueden tomarse en un SGA en lo referente al manipuleo y acopio del cemento?

Casos de aplicación

