

HECHOS EN CONCRETO

Químicamente posible: Los principales fenómenos en la reacción del cemento

Laura Carolina Lopera

ALION
CEMENTOS
MOLINS corona



Contenido

Definiciones importantes

Composición del clínker

Fases mineralógicas: calor de hidratación

Fases mineralógicas: resistencia a la compresión

Proceso de hidratación del cemento

Efecto de las adiciones en el proceso de hidratación

Causas de deterioro químico en el concreto

Durabilidad: recomendaciones generales



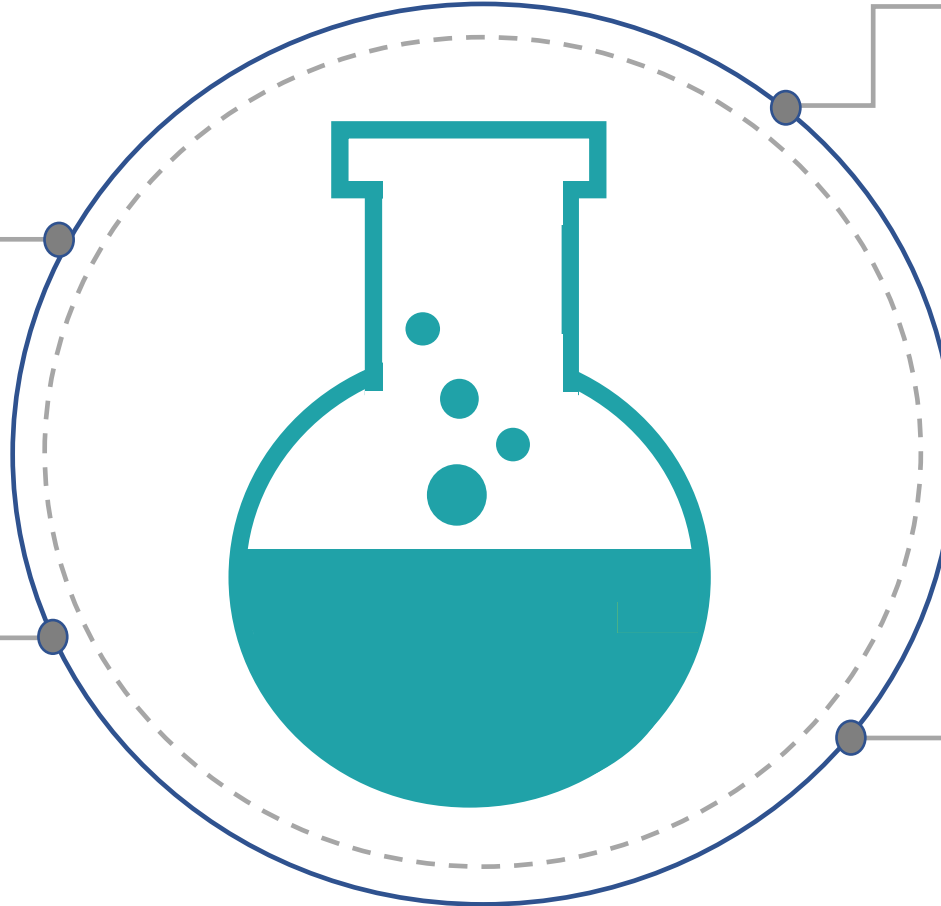
Definiciones importantes

Calor de hidratación

Es la energía calórica liberada por las reacciones presentes en el proceso de hidratación del cemento.

Fraguado del cemento

Es el cambio de las características plásticas de una pasta de cemento que conlleva al aumento de su viscosidad y rigidez, que pasa de una consistencia de fluido viscoso a la rigidez de un sólido.



Hidrólisis

Es la ruptura o descomposición de un compuesto por su reacción con el agua.

Difusión

Es un proceso físico en el que las moléculas, iones o átomos se mueven dentro de un material desde una región de alta concentración a una de baja concentración para intentar obtener una distribución uniforme.

Cemento hidráulico

Definición

Es un cemento que fragua y toma resistencia por una reacción química con agua y que es capaz de hacerlo incluso bajo el agua.
Ejemplo: cemento Pórtland, cementos obtenidos mediante mezclas.



Componentes

01



Clinker

Componente activo del cemento que es el principal responsable de sus propiedades.

02



Yeso

Sulfato de calcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
Su función principal es retardar el fraguado.

03

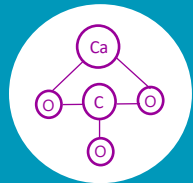


Adiciones

Caliza, escoria, cenizas, metacaolín, que pueden incidir en algunas propiedades.

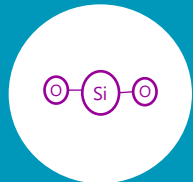
Componentes del clínker

Fuentes de los componentes



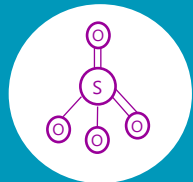
Carbonato de calcio (CaCO₃)

Fuente principal rocas calcáreas y mármoles.



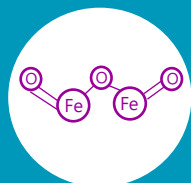
Sílice (SiO₂)

Fuente principal: arenas silíceas y arcillas.



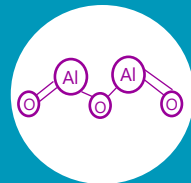
Sulfatos

Fuente principal: yeso.



Óxido de Hierro (Fe₂O₃)

Fuente principal: mineral de hierro y arcillas ferríticas y esquistos.



Alúmina (Al₂O₃)

Fuente principal: arcillas y oros minerales aluminosos.

Componentes principales

Nombre común: calcio (Ca)

Concentración aproximada: 60% - 70%

Notación para el cemento: C

Nombre común: sílice (Si)

Concentración aproximada: 18 - 23%

Notación para el cemento: S

Nombre común: aluminio (Al)

Concentración aproximada: 3 - 6%

Notación para el cemento: A

Nombre común: hierro (Fe)

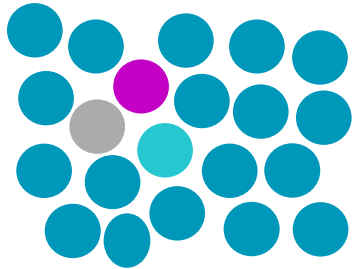
Concentración aproximada: 3 - 6%

Notación para el cemento: F

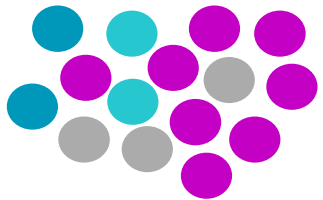
Aliado

Proceso de producción del clínker

Fuente de calcio



Fuente de sílice



Fuente de hierro y aluminio

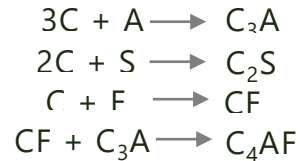
Calentamiento



Reacciones



Reacciones



Reacciones



Influye sobre la formación del óxido de magnesio y sobre la estabilidad en volumen del clínker.

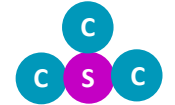
- Liberación agua de composición de calizas y arcillas.
- Proceso de calcinación aumenta presencia de cal libre.

- La sílice reactiva se combina con la cal libre para la formación de C_2S .
- Se forma el C_3A y el C_4AF .

- Reacción de la Belita y cal libra para formar Alita.
- Es la etapa que controla el proceso, es más lenta y de mayor temperatura.

- El enfriamiento rápido controla la formación de cristales y favorece la solidificación en estado vítreo.

Clínker



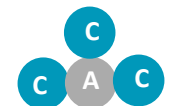
Alita C_3S

Silicato tricálcico



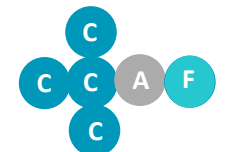
Belita C_2S

Silicato Bicálcico



Celita C_3A

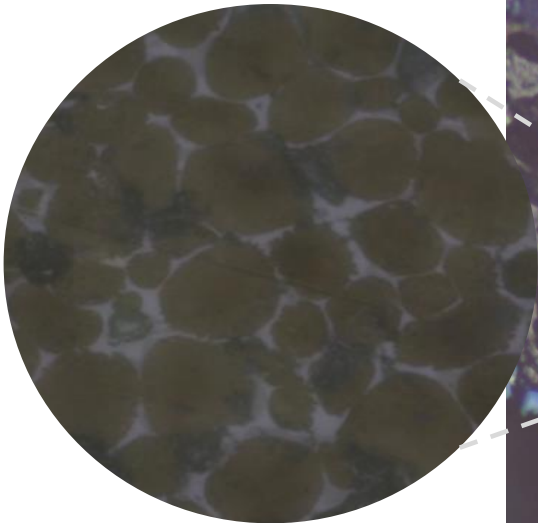
Aluminato tricálcico



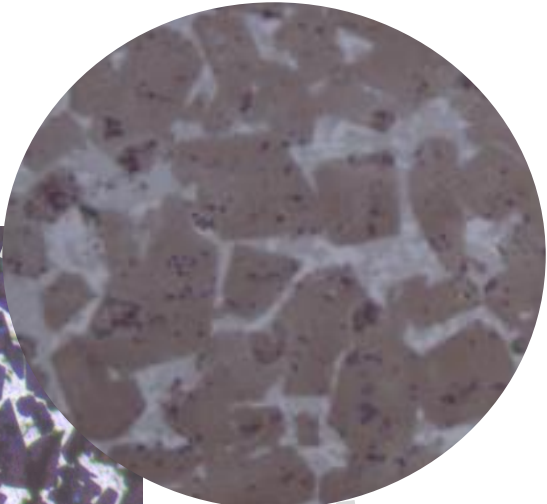
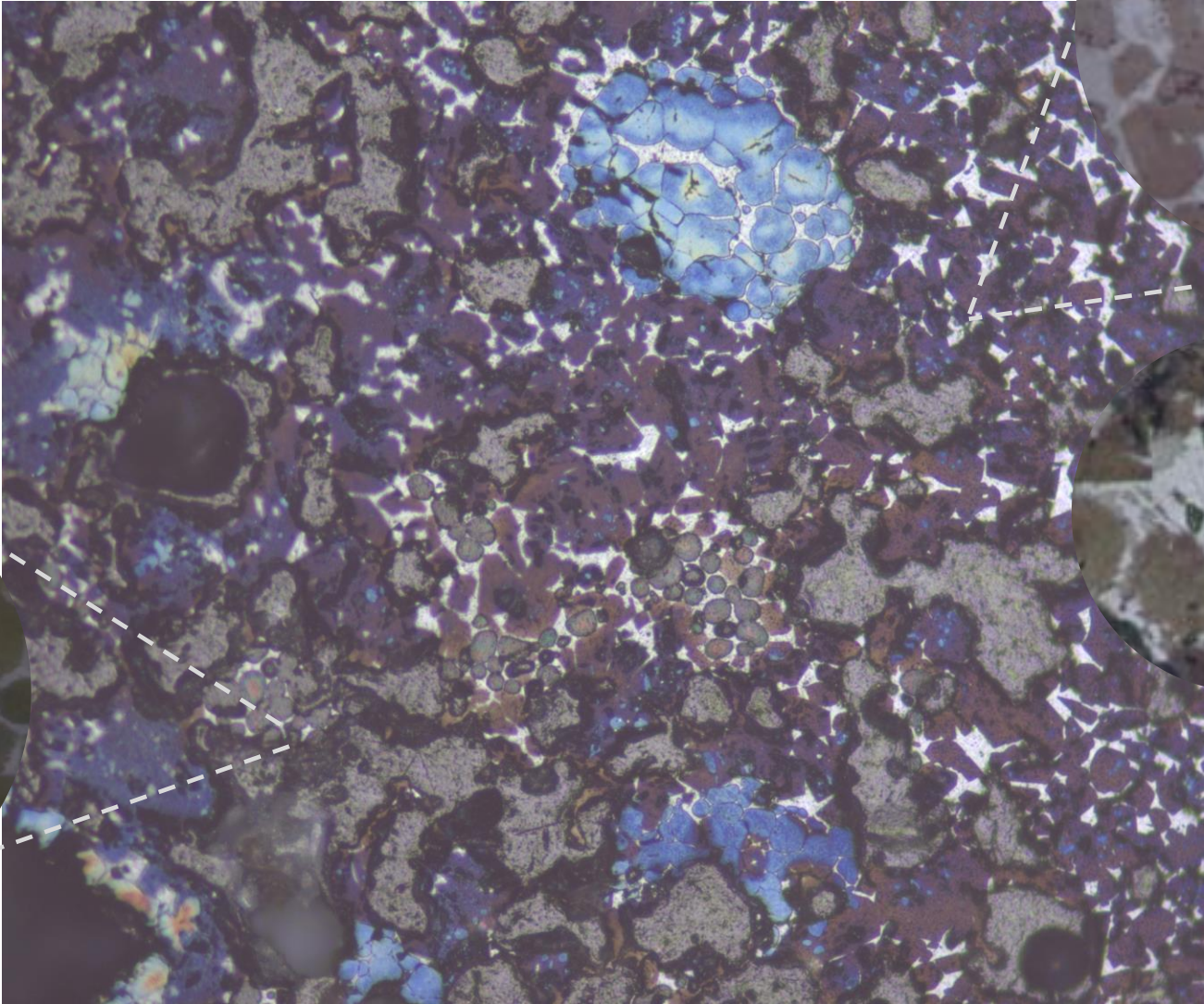
Felita C_4AF

Ferroaluminato tetracálcico

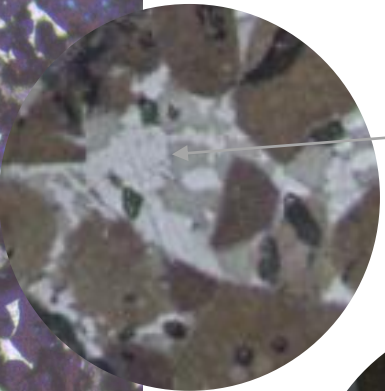
Composición del clínker



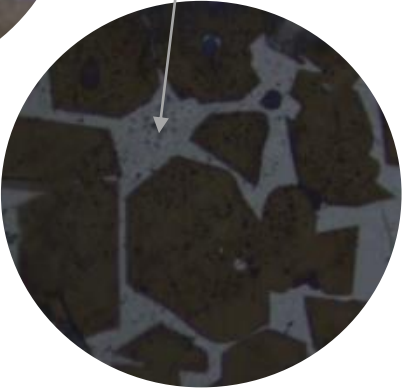
Belita C_2S



Alita C_3S



Celita C_3A
Felita C_4AF

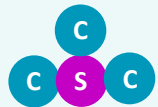


Alitado

Las fases del Clínker

Algunas características de las fases mineralógicas

Velocidad de reacción de las fases con el agua



Alita

C_3S

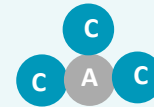
- ✓ 60% a 70% de clínker
- ✓ ↑ Velocidad de hidratación
- ✓ ↑ Calor de hidratación
- ✓ ↑ Resistencias iniciales
- ✓ Desarrollo de resistencias rápidas y prolongadas
- ✓ ↓ Resistencia química



Belita

C_2S

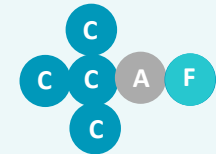
- ✓ 15% a 30% de clínker
- ✓ ↓ Velocidad de hidratación
- ✓ ↓ Calor de hidratación
- ✓ ↓ Resistencias iniciales
- ✓ Desarrollo de resistencias lentas y prolongadas
- ✓ Intermedia resistencia química



Celita

C_3A

- ✓ 5% a 15% de clínker
- ✓ Muy ↑ velocidad de hidratación
- ✓ Muy ↑ calor de hidratación
- ✓ ↑ resistencias iniciales
- ✓ Desarrollo de resistencias muy rápido y de corta duración
- ✓ Muy ↓ resistencia química



Felita

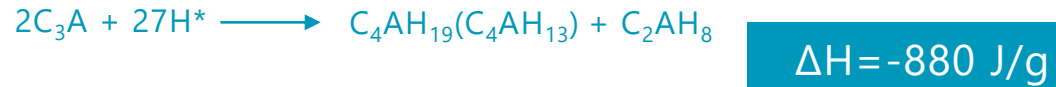
C_4AF

- ✓ 7% a 15% de clínker
- ✓ Media velocidad de hidratación
- ✓ Moderado calor de hidratación
- ✓ Moderadas resistencias iniciales
- ✓ Desarrollo de resistencias lento y prolongado
- ✓ ↑ Resistencia química

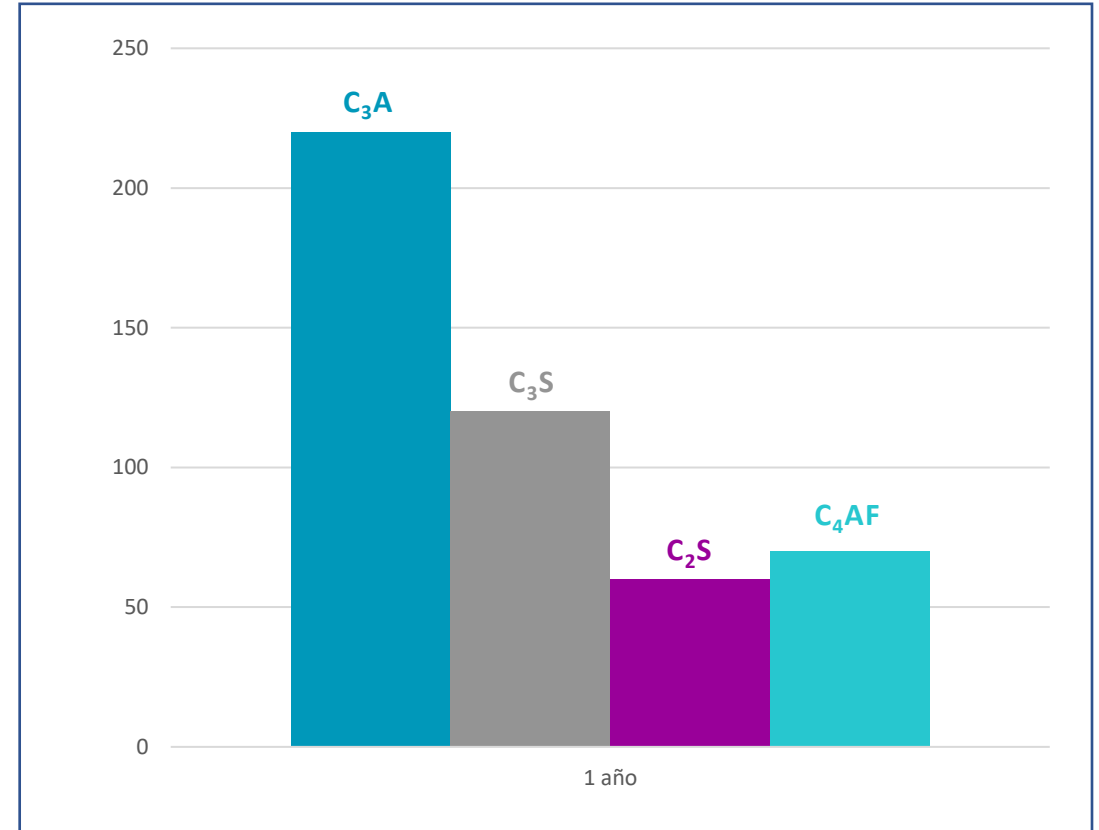
Calor de hidratación

¿Cómo se afecta por la cantidad de las diferentes fases en el clínker?

Energía de hidratación

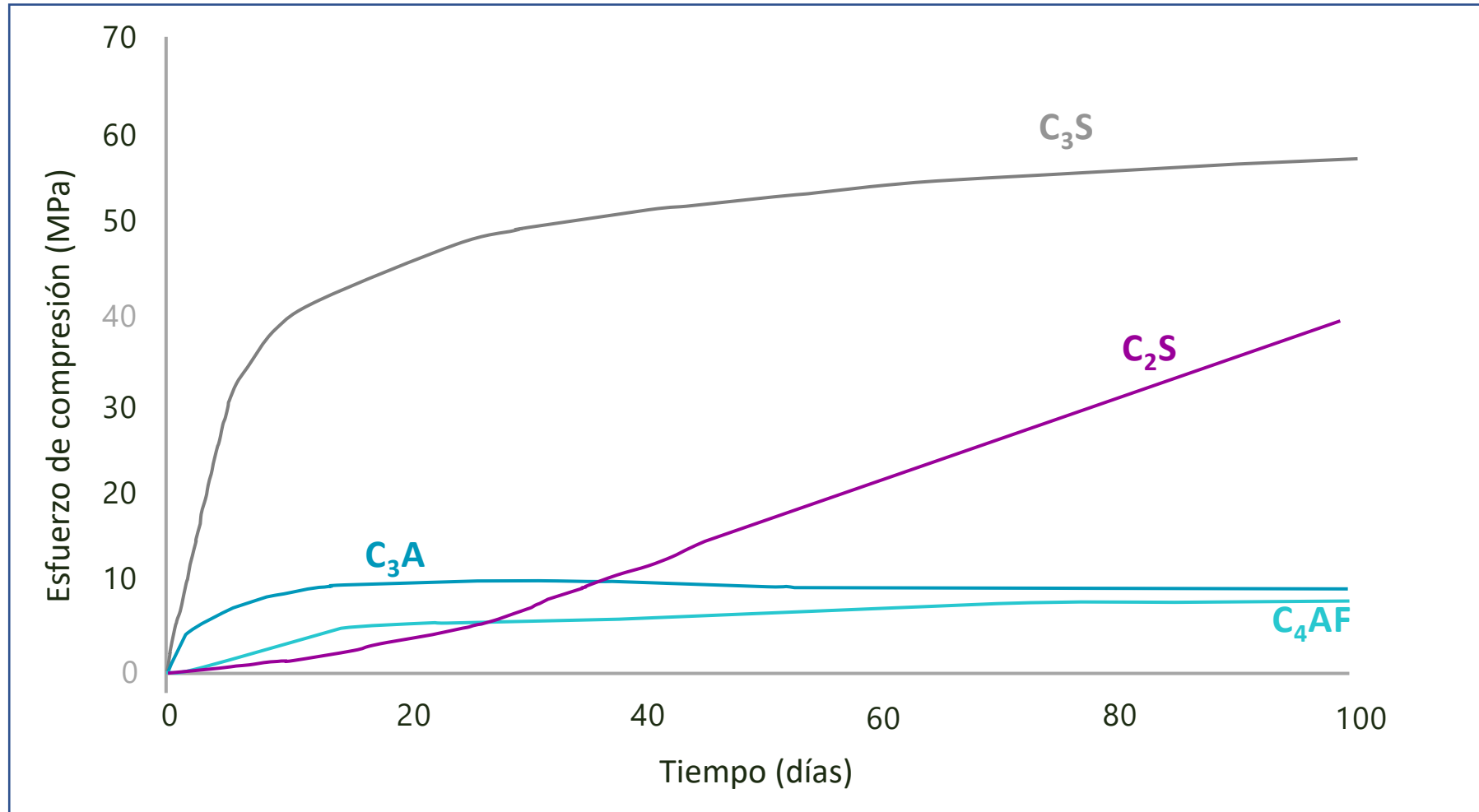


* H₂O se denota como H



Calor de hidratación en cal/g a 1 año para las diferentes fases

Resistencia a la compresión



Aporte de resistencia de los compuestos principales del cemento.

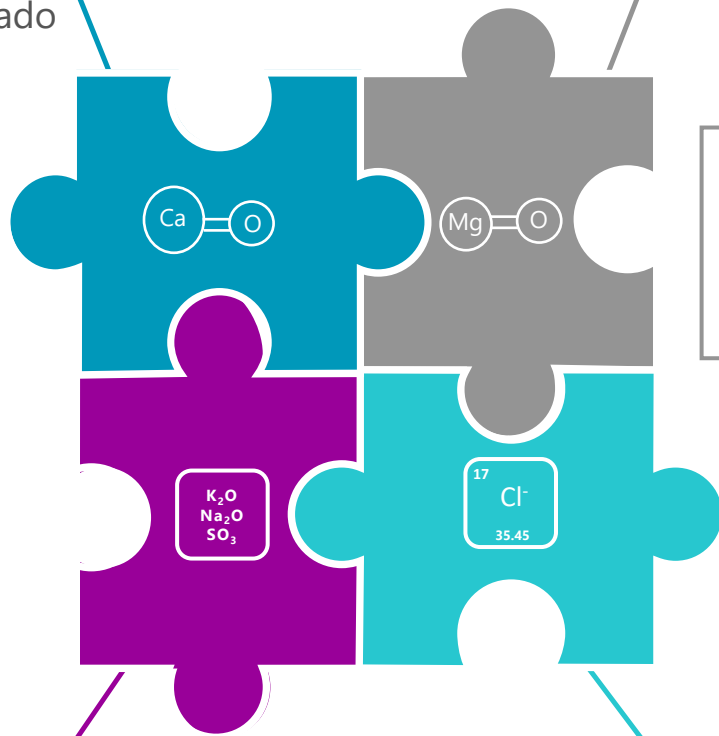
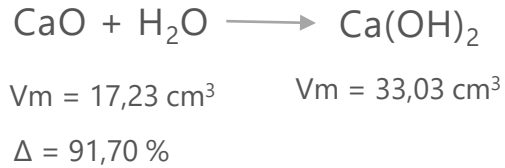
Fuente: El concreto Fundamentos y Nuevas Tecnologías. Ricardo Matallana

Compuestos minoritarios en el clínker

Cal libre

Está relacionado con el grado de cocción del clínker

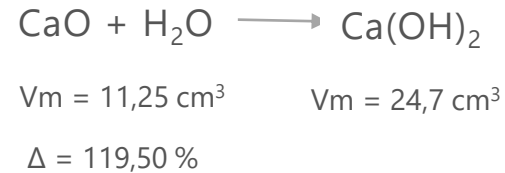
EXPANSIÓN CaO



Óxido de magnesio

Permanece inerte durante las reacciones del clínker

EXPANSIÓN MgO



Álcalis y sulfatos

Los álcalis pueden participar en la reacción álcali-agregado y los sulfatos pueden participar en los diferentes tipos de ataques por sulfatos.

Cloruros

Su presencia puede promover la corrosión de las estructuras de acero..

ACI 318 Tabla 4.4.1. Contenido máximo de iones cloruro para la protección contra la corrosión del acero de refuerzo

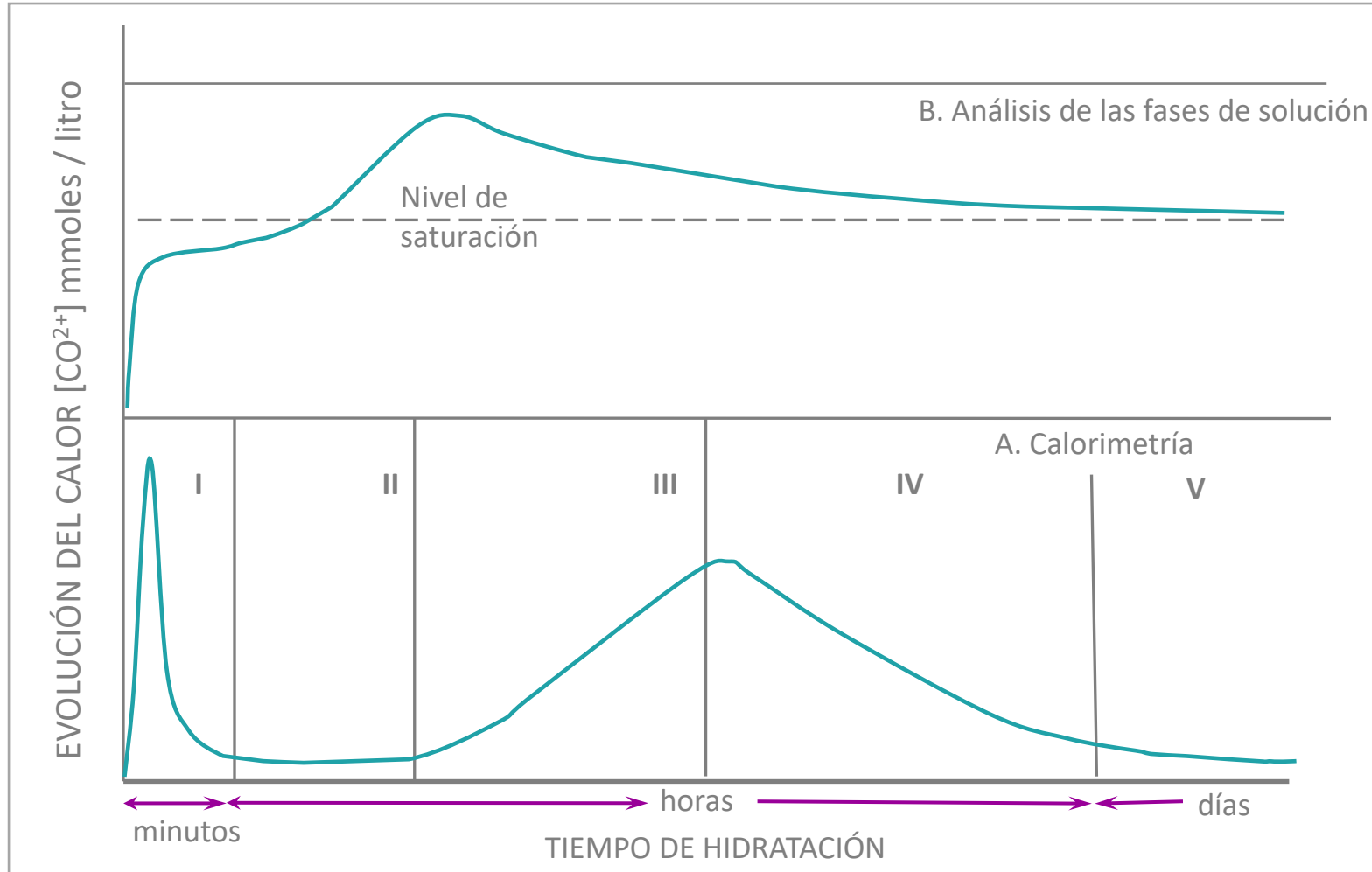
Tipo de cemento	Contenido máximo de iones cloruro (Cl-) solubles en agua en el concreto
Concreto preesforzado	0,06
Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su servicio	0,15
concreto reforzado que vaya a estar protegido contra la humedad durante su servicio	1
Otras construcciones de concreto reforzado	0,3

HECHOS EN
CONCRETO

¿Preguntas?

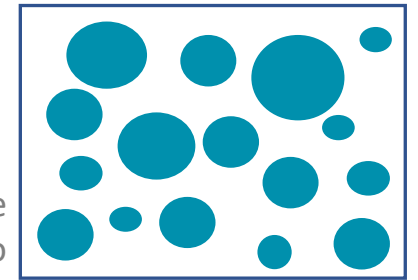
ALION
CEMENTOS
MOLINS corona

Proceso de hidratación

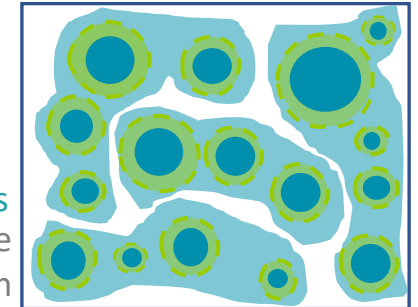


Proceso de hidratación del cemento. Fuente: Curso de Química del Cemento "Tomás Velásquez" (2012-2013)

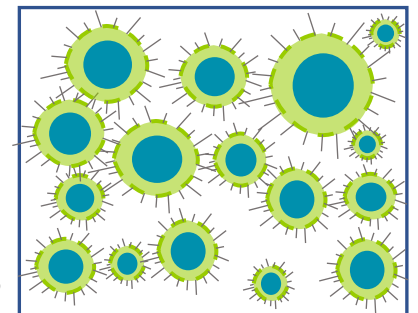
T = 0
Granos de cemento



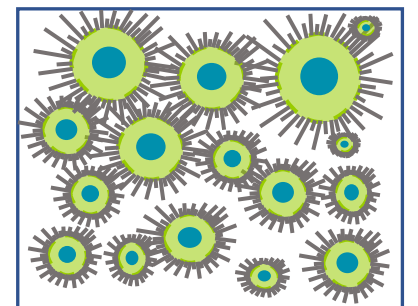
T = minutos
Inicio de hidratación



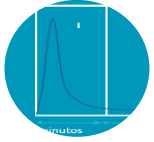
T = horas
Inicio formación de hidratos



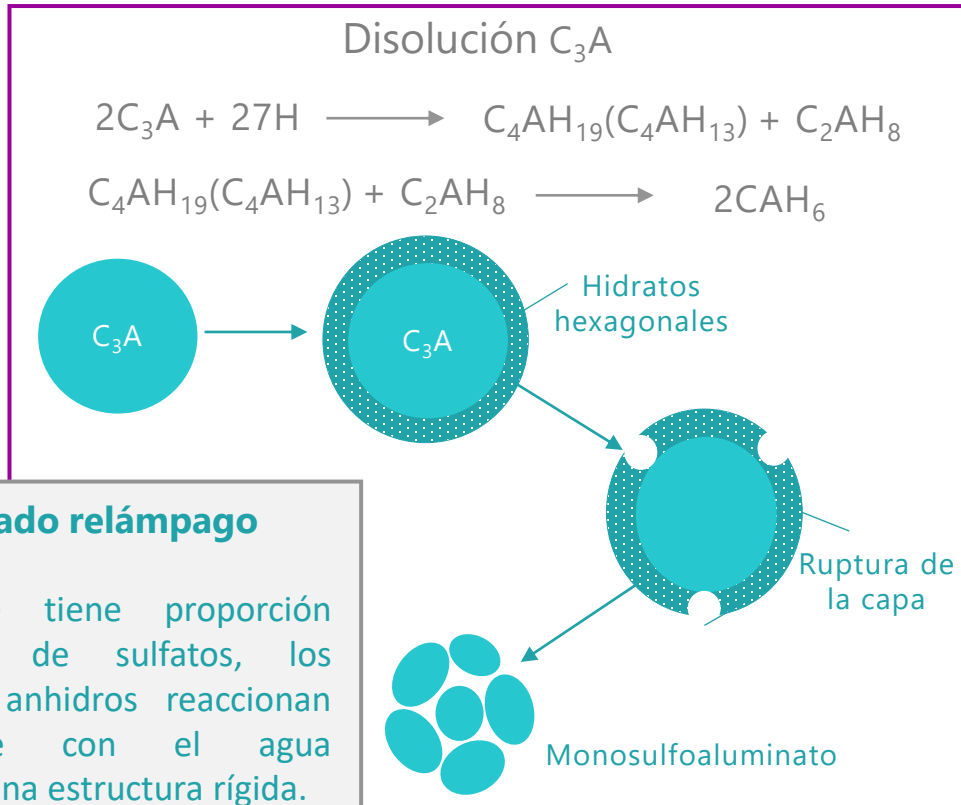
T = días
Proliferación de hidratos



Proceso de hidratación



Pre-inducción



Fraguado relámpago

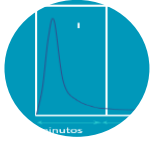
Cuando se tiene proporción insuficiente de sulfatos, los aluminatos anhidros reaccionan rápidamente con el agua generando una estructura rígida. Este cemento no presenta un buen desempeño.

Hidrólisis de C₃S y C₂S



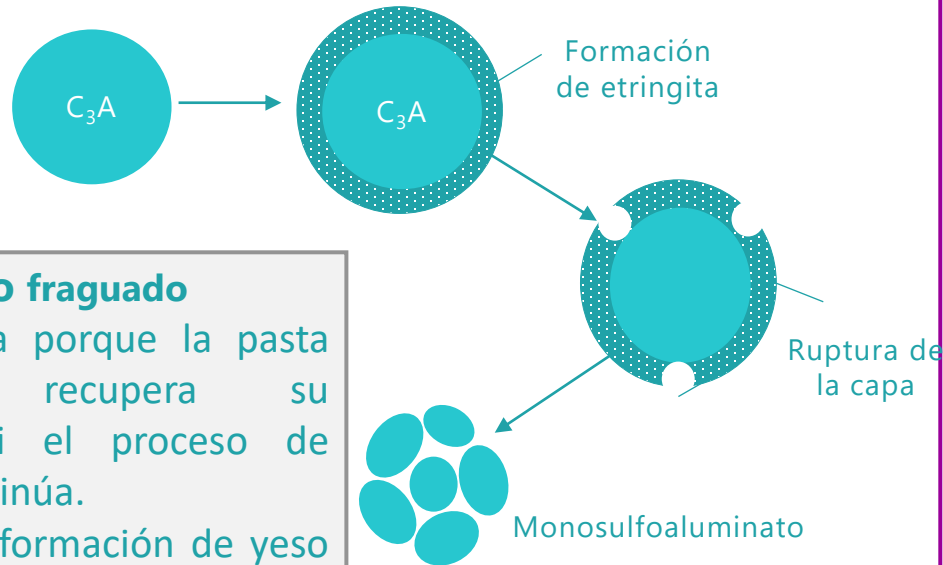
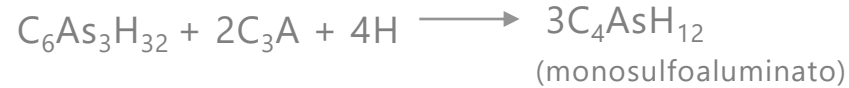
- Los mecanismos de reacción del C₃S son similares a los del C₃A.
- El C₃A en contacto con el agua reacciona intensamente formando hidratos hexagonales.
- Los hidratos hexagonales forman una capa protectora que disminuye la velocidad de reacción.
- Los hidratos cúbicos rompen esta barrera y se inicia la hidratación con rapidez

Proceso de hidratación



Pre-inducción

Formación de etringita



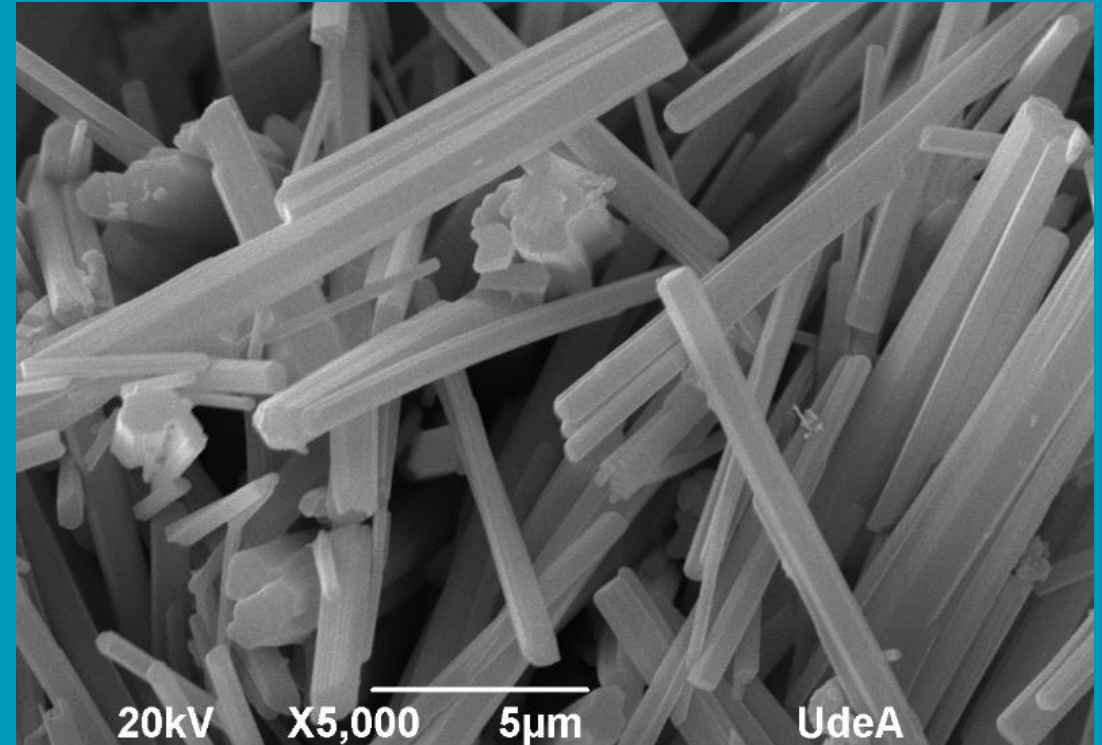
Falso fraguado

Se caracteriza porque la pasta endurecida recupera su plasticidad si el proceso de agitación continúa.

Se debe a la formación de yeso hidratado

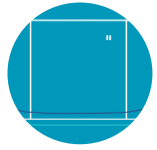


La etringita tiene forma de hábitos fibrosos o agujas que le dan al cemento mayor cohesión. Consta de aproximadamente el 15% de la pasta.



Cristales de Etringita. Cortesía: Juan Fernando Arango

Proceso de hidratación

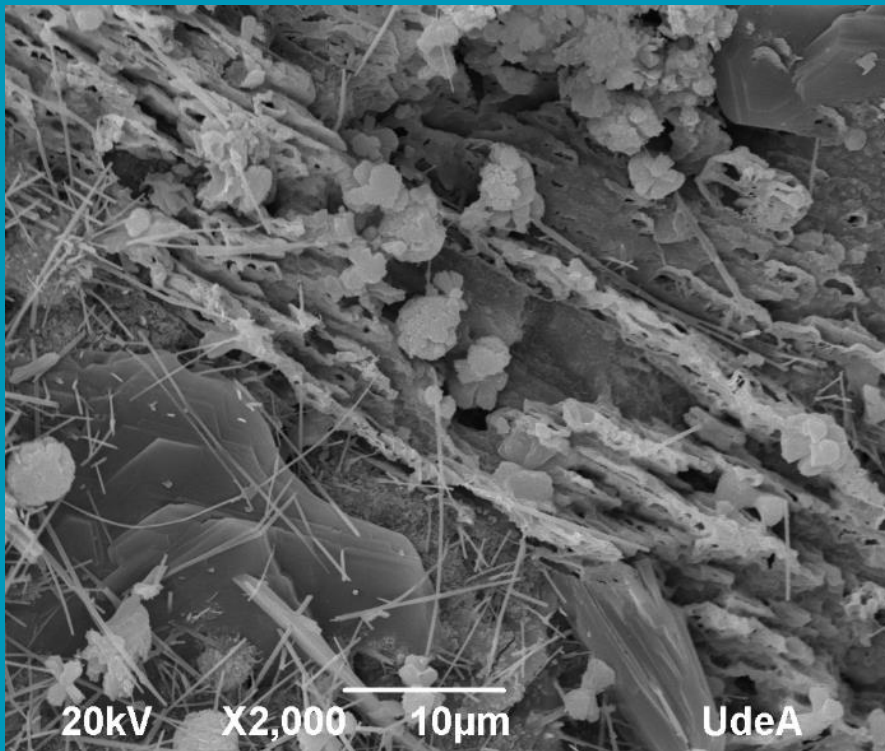


Inducción

Inicio de formación de gel CSH y portlandita

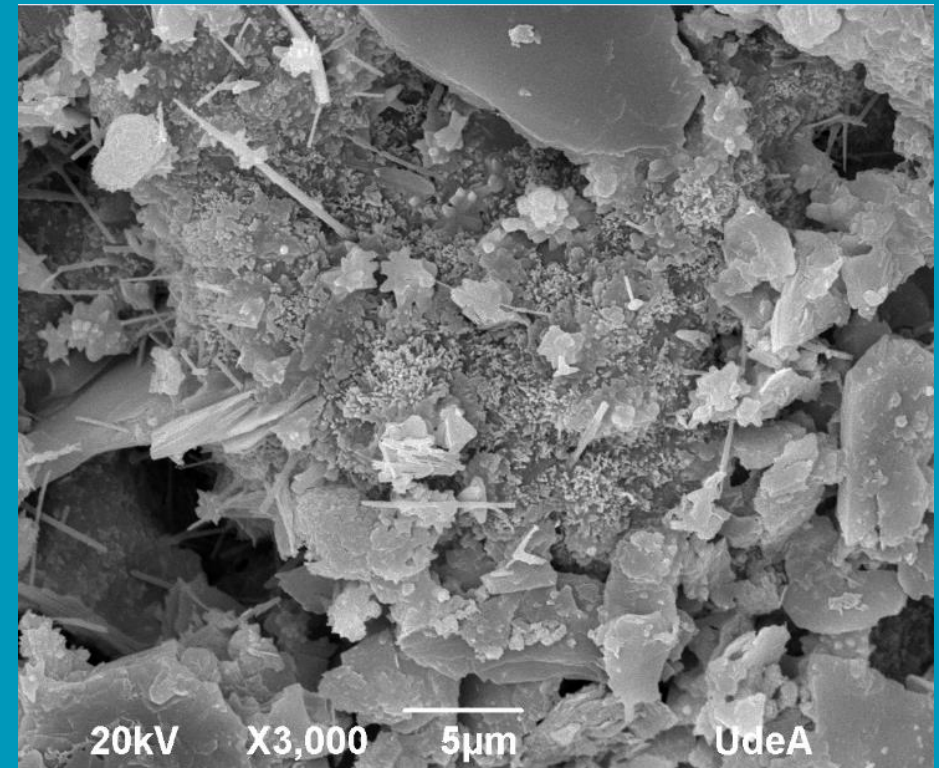


Gel C-S-H o Tobermorita, producto casi amorfo que es el principal responsable de la resistencia y adherencia de la pasta con los agregados. Constituye aproximadamente el 60% de la pasta.



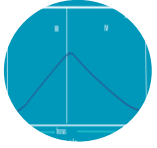
Fotografía SEM de Etringita. Cortesía: Juan Fernando Arango

El hidróxido de calcio o Portlandita mantiene el Ph de la pasta en valores altos, actúa como reserva alcalina que protege el acero. Constituye aproximadamente el 25% de la pasta.



Fotografía SEM de Etringita. Cortesía: Juan Fernando Arango

Proceso de hidratación



Aceleración y desaceleración

El fraguado de cemento causa un aumento del volumen de los productos de hidratación, lo que supone una disminución en la distancia de las partículas hasta que la plasticidad se restringe por las fuerzas de cohesión generadas.

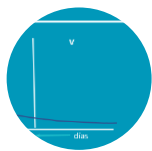
Fraguado normal

Es controlado por la hidratación de la alita. Durante el período de inducción hay una recristalización de etringita que se depositan sobre las partículas en forma de agujas grandes haciendo un puente y formando una estructura rígida. La etringita contribuye a la adquisición de resistencias a primeras edades.

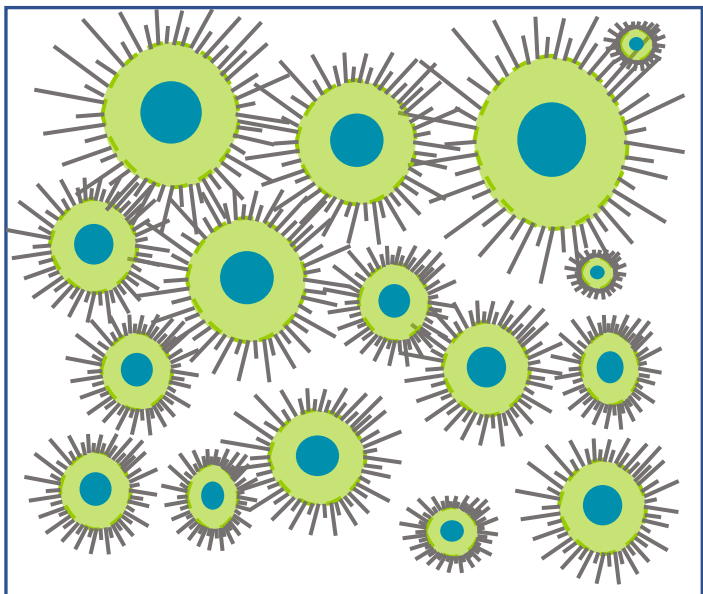


Vicat automatizado para determinar la consistencia y tiempo de fraguado

Proceso de hidratación



Difusión



- Proceso controlado por la difusión.
- Se producen estructuras de gel CSH más densas.
- La estructura ya está endurecida, lo que dificulta la movilidad de los iones, causando que el proceso sea muy lento.
- Se pueden producir polimerizaciones en los productos de hidratación.
- Desarrollo continuo de la resistencia.
- Adherencia de la pasta y los agregados.

Proceso de hidratación

¿Cómo es afectado por las diferentes adiciones?



Caliza

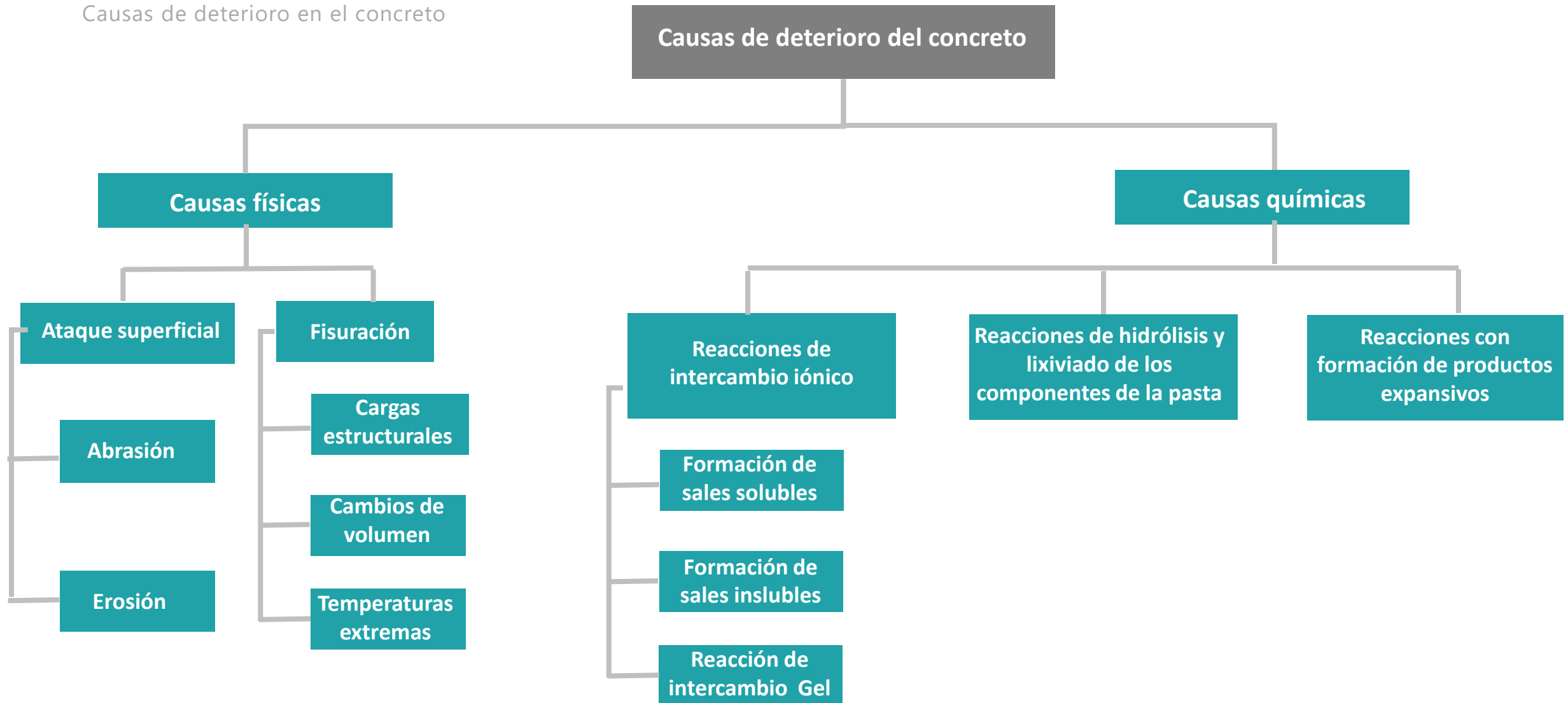
- ✓ Usada como filler y como pseudopuzolana
- ✓ ↓ Velocidad de hidratación.
- ✓ ↓ Calor de hidratación.
- ✓ ↓ Resistencias iniciales.
- ✓ Puede disminuir la cuantía de agua por su plasticidad.
- ✓ No tiene incidencia en resistencias finales.

Puzolanas

- ✓ Escoria, cenizas volantes, metacaolín.
- ✓ Reaccionan con el Ca(OH)_2 para formar C_2S que a su vez formará más gel C-S-H.
- ✓ Reaccionan con el Ca(OH)_2 para formar C_2S que a su vez formará más gel C-S-H.
- ✓ ↓ Velocidad de hidratación.
- ✓ ↓ Calor de hidratación.
- ✓ Entregan resistencias tardías.
- ✓ ↓ Calor de hidratación.

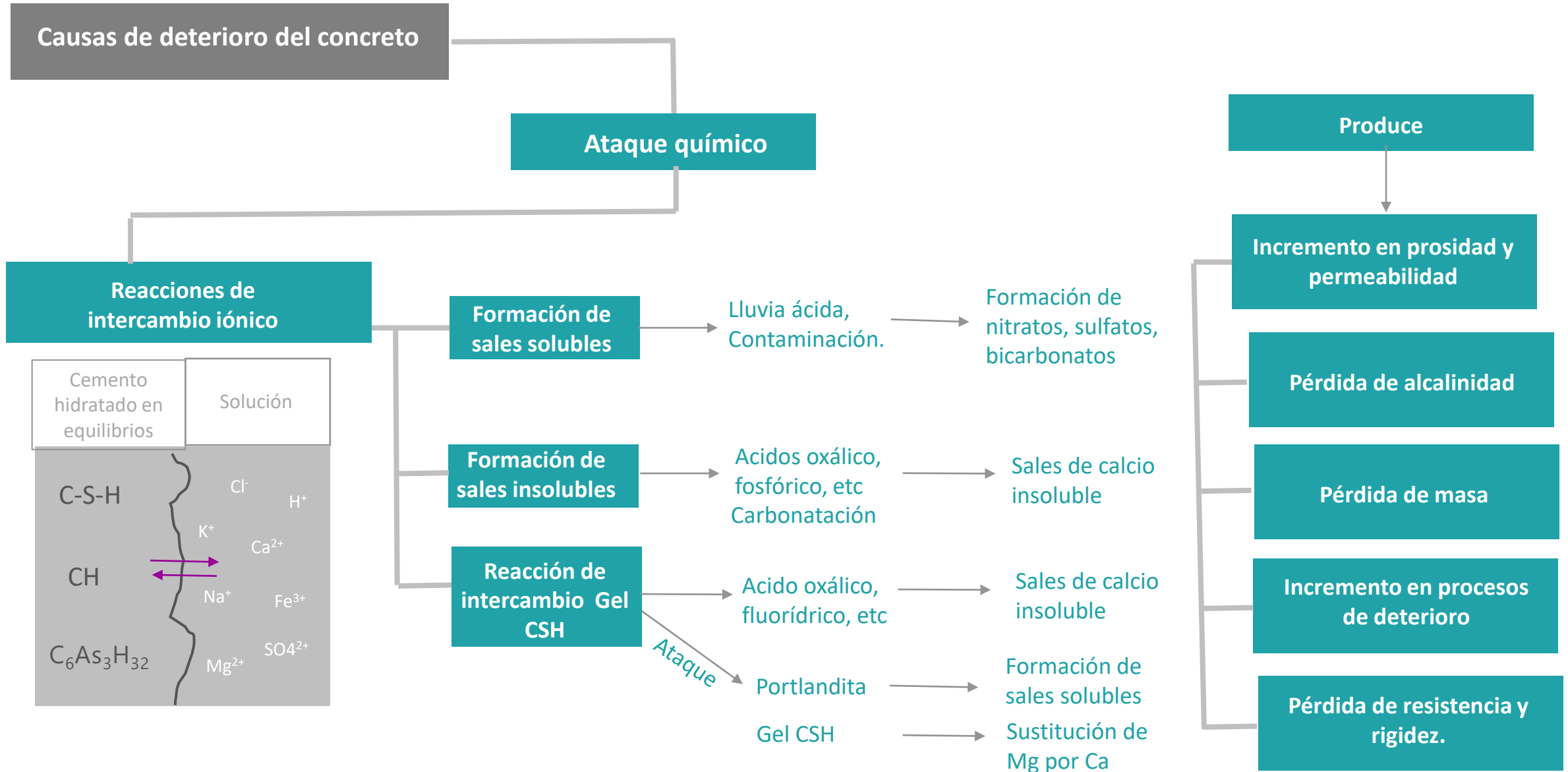
Durabilidad

Causas de deterioro en el concreto



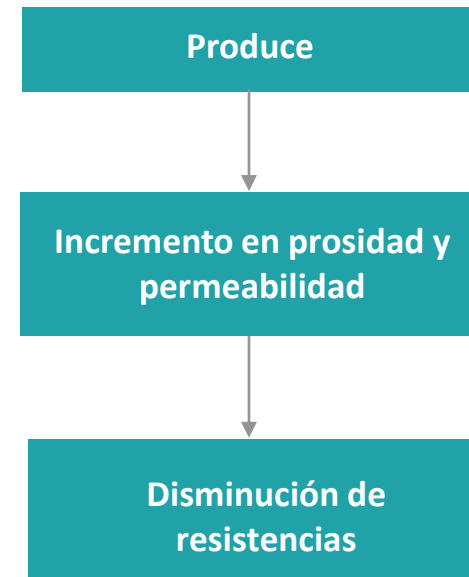
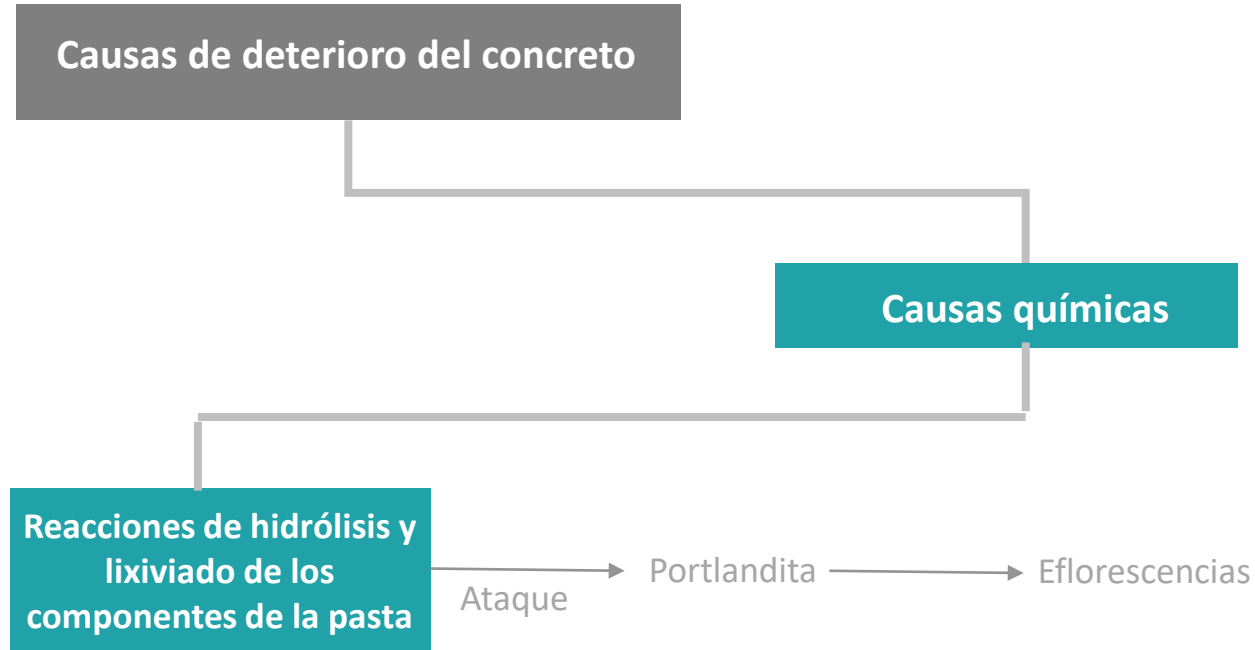
Causas químicas

De deterioro en el concreto



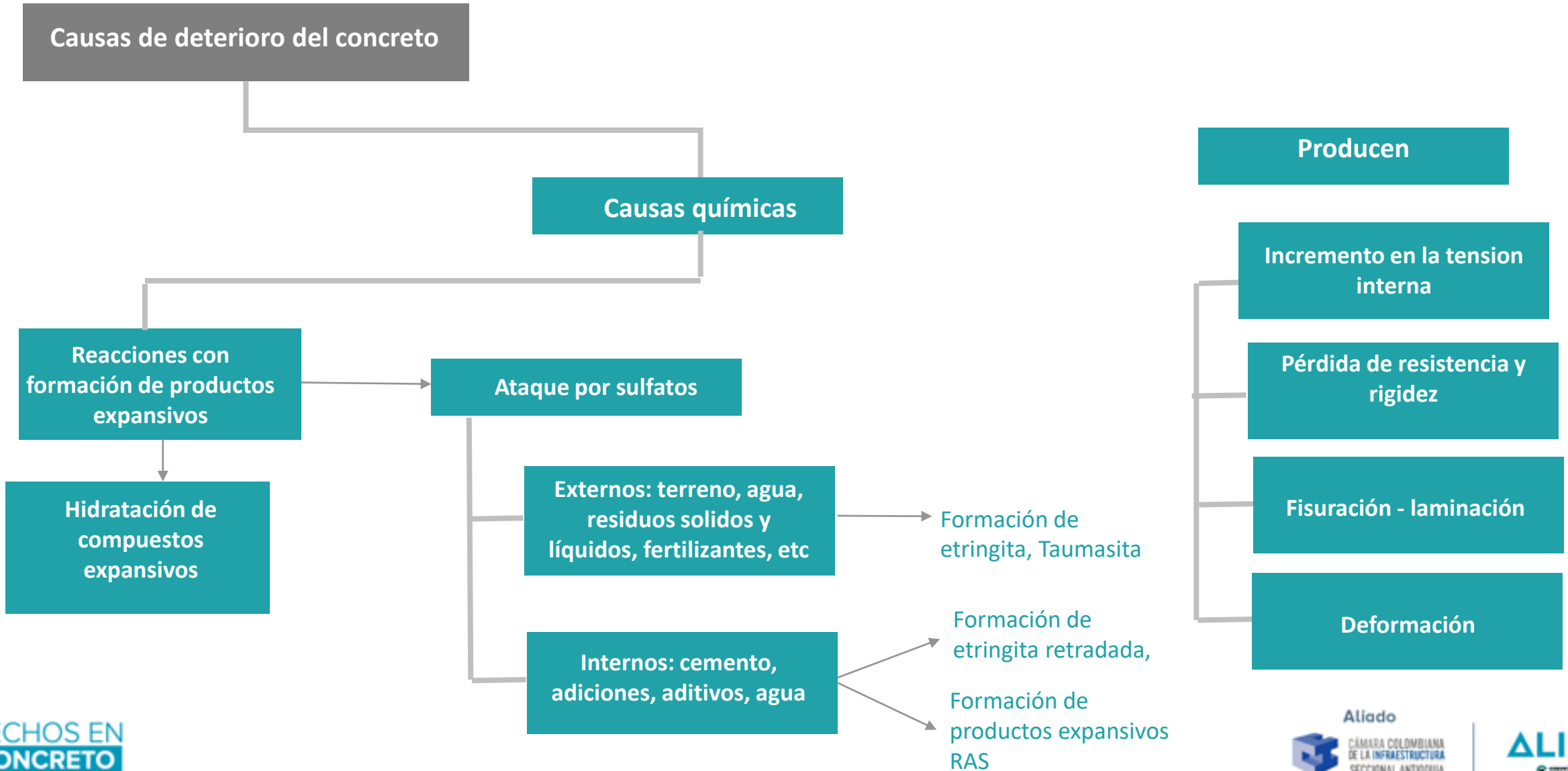
Causas químicas

De deterioro en el concreto



Causas químicas

De deterioro en el concreto



Durabilidad

¿Y cómo prevenir el deterioro?

Los fenómenos de deterioro químicos se relacionan con procesos de transporte a través de poros y grietas.

La composición química del cemento, y las características de los agregados y el agua también tiene un papel muy importante en estas reacciones



Realizar pruebas de desempeño verificado que permitan validar el cumplimiento de los requerimientos especificados

RECOMENDACIONES PARA LAS MATERIAS PRIMAS

- Controlar en la composición química del cemento, los elementos minoritarios como MgO y CaO.
- Utilizar el tipo de cemento que tenga la composición química adecuada de acuerdo al grado de exposición al que estará sometido el concreto.
- Realizar ensayo de RAS a los agregados.

RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

- Contenidos de cemento adecuados.
- Bajas relaciones A/C.
- Usar adiciones puzolánicas como Fortacret que garantiza la mitigación de la reactividad álcali-silice.
- Tamaño de agregado y asentamiento adecuado para el tipo de elemento a fundir.

RECOMENDACIONES PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN

- Curar adecuadamente los elementos de concreto desde que finalice el proceso de fraguado y sostener este curado el mayor tiempo posible.
- Vibrado de los elementos, evitando la segregación.

En resumen

Fases mineralógicas en el Clínter

Alita, Belita, Celita y Ferrita controlan proceso de hidratación del cemento y otras características importantes.

Compuestos minoritarios

CaO, MgO, álcalis y cloro pueden tener incidencia en la durabilidad

Productos de hidratación

Tobermorita: contribuye a la resistencia,
Portlandita: protección contra la corrosión del acero.



Adiciones

↓ Velocidades de hidratación,, ↓ calor de hidratación y otras variables dependen de la composición química y estructura.

Causas de deterioro químicas

Reacción de intercambio iónico, reacciones de hidrólisis y formación de productos expansivos.

Durabilidad

Además de la química se pueden controlar otras variables de diseño, producción y colocación.

Conclusiones

1. Las características del cemento dependen de la proporción de las fases y su composición mineralógica y es importante tener un control de los elementos minoritarios para no influir negativamente en la durabilidad.

2. Cada producto de hidratación del clínker confiere una propiedad importante al cemento: la Tobermorita es la principal responsable de la resistencia, la Portlandita de conservar el pH alcalino y la protección contra la corrosión.

3. Las adiciones modifican algunas propiedades como el calor de hidratación, la velocidad de hidratación y resistencias tempranas. Como cambian los productos de hidratación tienen efecto en la durabilidad.

4. Para garantizar la durabilidad, además de escoger un cemento que tenga la composición química adecuada, es importante controlar el diseño de mezclas, condiciones de preparación y colocación.

HECHOS EN
CONCRETO

¿Preguntas finales?

ALION
CEMENTOS
MOLINS corona

Si necesitas más información para tus proyectos de infraestructura, **¡Contáctanos!**

Hernán Pimentel
Gerente de Ventas Sector Constructor,
Transformador e Infraestructura
hpimentel@alion.com.co
320 4919197

Juan Fernando Arango L.
Jefe de Soporte Técnico
jfarangol@alion.com.co
310 8250924

Laura Lopera
Líder soporte técnico
lcloperaa@alion.com.co
313 579 55 35

Línea Siempre Firme

- **Medellín:** 6044747
- **Bogotá:** 3905454
- **Bucaramanga:** 6985555
- **Cali:** 4868888
- **Pereira:** 3402422
- **WhatsApp:** 310 2751300
- siemprefirme@alion.com.co

¡Gracias!

ALION
SISTEMAS MOLINS corona