

7. CEMENTOS Y HORMIGONES

7.1 CEMENTOS

Materiales cementantes {
 Cementos simples (sulfato de calcio, morteros de yeso, etc.)
 Cementos complejos (cemento portland, etc.)

Cementos portland: mezcla de clínker (molido) + 2 a 3% de yeso

▪ Materias primas:

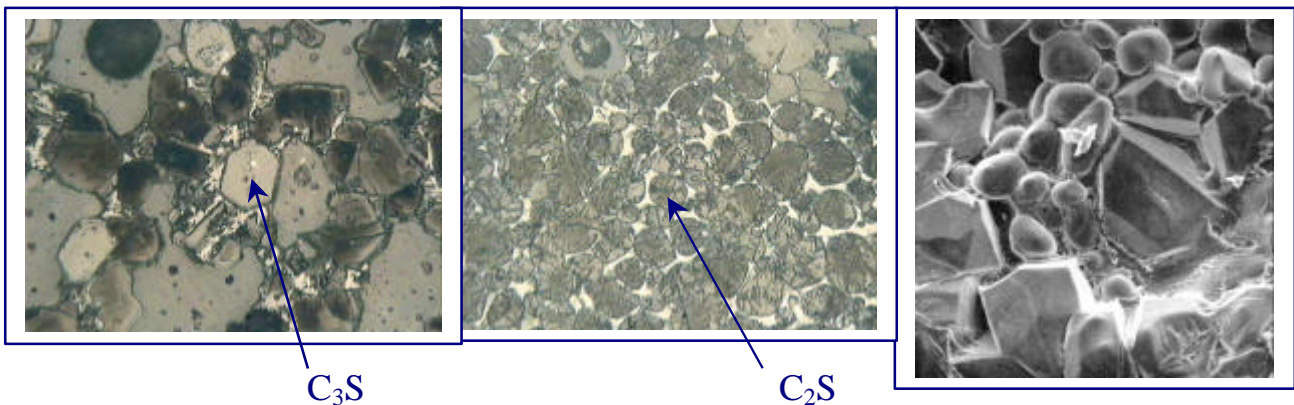
- cal (CaO) → C
- sílice (SiO₂) → S
- alúmina (Al₂O₃) → A
- óxido de hierro (Fe₂O₃) → F

▪ Proceso:

- a) molienda y mezcla, en proporciones adecuadas, de las materias primas.
- b) mezcla se somete a temperaturas entre 1400 y 1650 °C en un horno rotatorio.
- c) producto obtenido: **clínker**
- d) el clínker se enfría, se mezcla con yeso (CaSO₄•2H₂O), y se pulveriza

➤ Composición química: consta de 4 componentes:

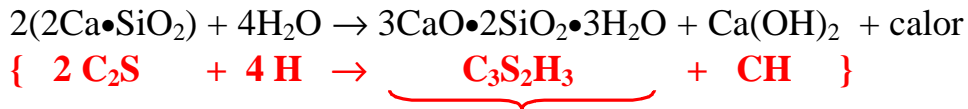
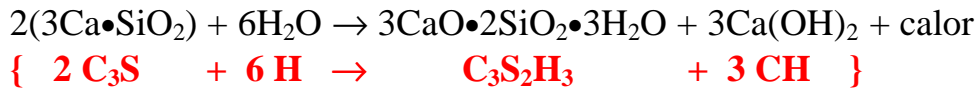
Componente	Fórmula química	Abreviatura
silicato tricálcico	3CaO•SiO ₂	C ₃ S
silicato dicálcico	2CaO•SiO ₂	C ₂ S
aluminato tricálcico	3CaO•Al ₂ O ₃	C ₃ A
ferroaluminato tetracálcico	4CaO•Al ₂ O ₃ •Fe ₂ O ₃	C ₄ AF



Figs. Estructura del clínker

- Endurecimiento del cemento: endurece al reaccionar el C_3S y C_2S con el agua (reacción de hidratación), produciendo el silicato tricálcico hidratado (gel coloidal de partículas de menos de $1\ \mu m$) e hidróxido de calcio (material cristalino)

Reacciones de hidratación:



gel coloidal

H = agua

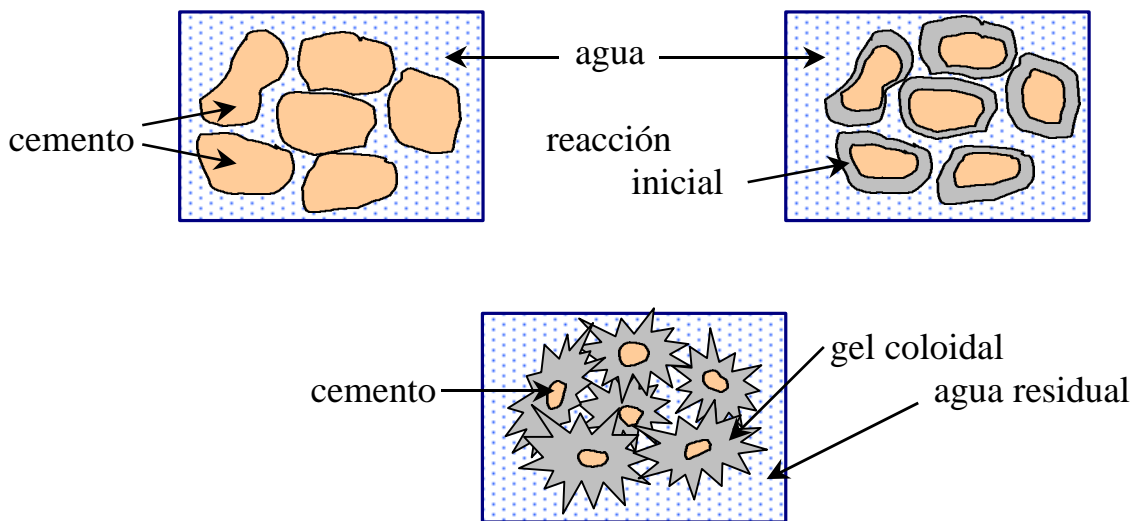
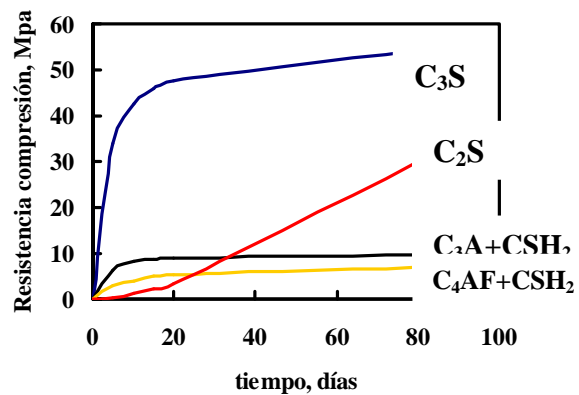


Fig. Resistencia a la compresión de los componentes del cemento en función del tiempo de curado



Grado (resistencia mecánica)

	Tiempo de fraguado (h)	Tiempo de fraguado (h)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Resistencia a flexión (kg/cm ²)	Resistencia a flexión (kg/cm ²)
	I.F.	F.F.	7 días	28 días	7 días	28 días
Corriente	≥ 1	≤ 12	≥ 180	≥ 250	≥ 35	≥ 45
Alta resistencia	≥ 3/4	≤ 10	≥ 250	≥ 350	≥ 45	≥ 55

* I.F.: Inicio de fraguado
 F.F.: Fin de fraguado.

Tipos de cementos portland:

Tipo de cemento	Composición, % en peso *			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Común	55	20	12	9
Moderado (calor y resistencia al sulfato)	45	30	7	12
Endurecimiento rápido	65	10	12	8
Bajo calor de hidratación	25	50	5	13
Resistente al sulfato	40	35	3	14

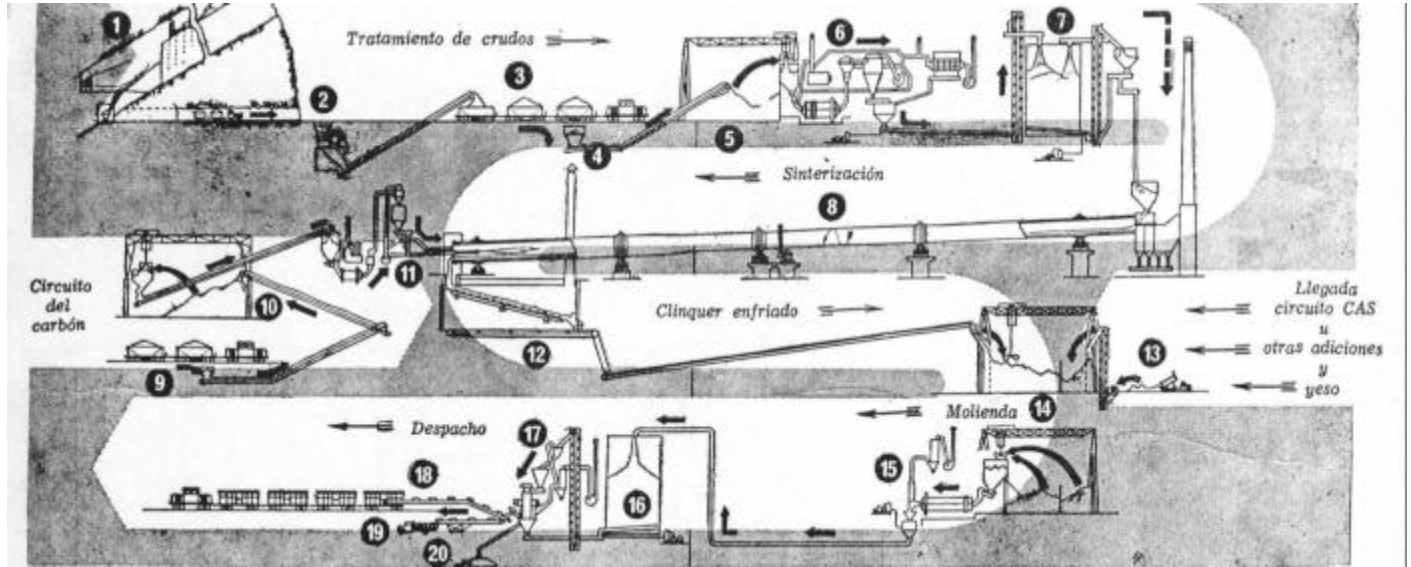
* Las diferencias corresponden a yeso y a componentes como MgO, sulfatos alcalinos, etc.

Otros Tipos de cementos:

- Cementos puzolánicos: Inicialmente se usó puzolana (arcillas y esquistos calcinados) mezclada con cal. Actualmente se añade en fábrica al clínker portland, junto al yeso
- Cementos siderúrgicos: se emplea escoria de alto horno (enfriada bruscamente con exceso de agua) como adición al clínker.

Clasificación	Portland	Portland Siderúrgicos	Siderúrgicos	Portland Puzolánicos	Puzolánicos
Componentes (%)					
Materias extrañas	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Clinquer	≥ 93	≥ 63	18 - 70	≥ 63	43 - 70
Puzolana	-	-	-	≤ 30	30 - 50
Escoria	-	≤ 30	30 - 75	-	-
Sulfato (SO ₃)	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4

Fabricación del Cemento



- I. **Materia prima:** (1) Caliza proveniente de la mina. (2) Planta trituradora, se reduce de tamaño el mineral. (3) tren calero, deposita el mineral en las tolvas. (4) Tolvas de acceso a la fábrica.
- II. **Tratamiento de crudos:** (5) Cancha de ingredientes primarios, se mantiene el mineral separado (alta y baja ley). (6) Dosificación y mezcla, donde después pasa a los molinos secadores. (7) Silos de crudo, antes de ingresar a los silos el polvo seco es homogeneizado.
- III. **Sinterización:** (8) Hornos rotatorios, por la derecha entra el crudo y por la izquierda sale el sinterizado y entra el combustible y el aire (la temperatura aumenta a medida que el material avanza hacia su salida). (11) Combustible, carbón de piedra molido y seco. (9) y (10) Tratamiento del combustible (es este caso carbón).
- IV. **Ingredientes finales:** (12) Enfriadores, donde se descarga el producto del horno: CLINKER. (14) Cancha de ingredientes finales, además del clinker acá se encuentran las adiciones como la puzolana, yeso crudo, etc. (13) Acceso de adiciones.
- V. **Molienda final:** (15) Molienda del clinker granulado grueso más las adiciones y aditivos. (16) Silos de almacenamiento del cemento.
- VI. **Envasado del cemento y despacho** (17) a (20).

7.2 HORMIGON ó Concreto

- **Materias primas:** - cemento (7 – 15 % en volumen)
 - Arena (24 – 30 % en vol.)
 - Agregados (31 – 50 % en vol.)
 - Agua (14 – 21 % en vol.)
- Agregados: materiales inertes como arena, grava y piedras que se mezclan con el cemento. Su función es actuar como material de relleno (60 a 80 % del volumen total).
 - agregado fino: arena → agregado que pasa por completo una malla N° 4 (4,75 mm), y retiene casi por completo una malla N° 200 (75 μm)
 - agregado grueso: grava y piedras → material retenido en la malla N° 4 (4,75 mm)
- Factores a considerar en una mezcla de hormigón:
 - Trabajabilidad del hormigón: debe ser capaz de fluir o ser compactado a la forma del recipiente.
 - Resistencia y durabilidad: debe tener requerimientos específicos de resistencia y durabilidad.
 - Economía y producción: debe considerarse el costo de producción.
- Otros factores:
 - El reforzamiento es mayor, mientras más pequeñas y uniformes sean las partículas, aunque la resistencia óptima se logra (empaquetamiento denso del agregado y buen contacto de las intercaras) con partículas de dos diferentes tamaños; partículas finas de arena deben ocupar los espacios vacíos entre partículas de grava.
 - Deficiencia de H₂O ⇒ unión incompleta entre el cemento y el agregado.
 - Exceso de H₂O ⇒ aumento de la porosidad
- **Mortero:** mezcla de: cemento + agua + agregado fino
- **Hormigón o concreto:** mezcla de: cemento + agua + agregado grueso

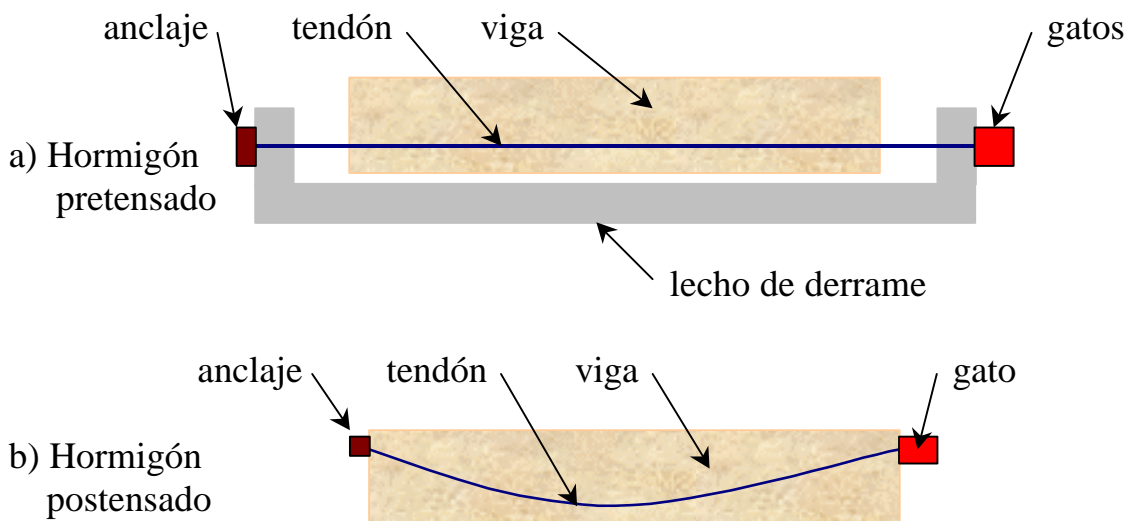
- **Módulo de elasticidad del hormigón, E_H**

$$E_H = \left\{ \frac{V_a}{E_a} + \frac{V_c}{E_c} \right\}^{-1}$$

- E_a, E_c : módulos de elasticidad del agregado y cemento respectivamente.
- V_a, V_c : fracciones volumétricas del agregado y cemento respectivamente.

Tipos de hormigones:

- **Hormigón armado:** hormigón reforzado con barras de acero. Debido a su baja resistencia a la tracción del hormigón, estos esfuerzos son transferidos desde el hormigón a las barras de acero.
- **Hormigón pretensado y postensado:** Aumento de la resistencia a la tracción del hormigón armado mediante las barras de acero tensionadas (tendones), normalmente cables trenzados. La tensión (y el trenzado) se logra mediante un anclaje externo y un gato ajustable,



- Hormigón de baja, moderada y alta resistencia
- Hormigón polimérico (se reemplaza el cemento por un polímero)
- Hormigón de azufre.