

Composición del cemento Portlan.-

Esta formado por la molienda conjunta del producto resultante de la cocción, hasta sinterización, de una mezcla de caliza y arcilla y que recibe el nombre de clínker y de un material regulador de fraguado (Yeso dihidrato).

El **clínker** está formado por una mezcla de silicatos, aluminatos y ferrito aluminato de cal. Concretamente:

- **Alita:** silicato tricálcico 3CaOSiO_2 (C3S)
- **Belita:** silicato bicálcico 2CaO SiO_2 (C2S)
Aluminato tricálcico $3 \text{CaO Al}_2\text{O}_3$ (C3A)
- **Celita:** Ferrito aluminato tetracálcico $4\text{CaO Al}_2 \text{F}_2\text{O}_3$ (C4AF)

Los silicatos suman del 60 al 80 % de los componentes.

Componentes secundarios: Cal libre (CaO), óxido de mangnesio, alcalinos (K₂O), (Na₂O), trióxido de azufre (SO₃).

Propiedades de los constituyentes del Clinker.-

- **Resistencia mecánica:** se debe fundamentalmente a los silicatos
- **Propiedades hidráulicas:** gracias al SC3 y SC2
- **Fundentes:** son productos que mezclados con el crudo, hacen que obtengamos el clínker a menor temperatura (aluminatos y ferrito-aluminatos).
- **Calor de hidratación:** es el calor perdido debido a las reacciones de hidrólisis que se producen al fabricar la pasta de cemento. AC_3 y $\text{SC}_3 > \text{SC}_2$
- **Resistencia a los agentes externos:** con el AC_3 + yeso se forma ettringita (sulfoaluminato) que es muy expansivo por tener un volumen elevado (después del fraguado). El yeso se comporta por una parte con un efecto regulador del fraguado y por otra el riesgo de agrietamiento.
- **pH básico = 13** gracias a la portlandita ($\text{Ca}(\text{OH}_2)$), cal sobrante que se produce al hidratarse SC_3 y protege las armaduras.

hidratación

SC3 -----	Portlandita
AC3 + yeso-----	Ettringita

Fabricación de Cementos.-

Proceso: cantera-prehomogeneización-molienda-homogeneización-crudo-intercambiador-horno-clínker-adiciones-molienda-cemento.

1. de la cantera se obtienen las calizas y arcillas
2. prehomogeneización: consiste en la formación de lechos de mezcla. El vertido es longitudinal y la captación transversal.
Es un proceso de unificación de forma que hacemos una montaña en la que tenemos material de todos los días.

3. molienda con los molinos de bolas
4. homogeneización, se realiza en cajas de aireación (selección de partículas)
5. intercambiador de calor: son dispositivos previos al horno cuya finalidad es reducir la humedad de las materias primas, aumentar su temperatura e iniciar la calcinación.
6. horno rotatorio: hasta 100 °C se evapora el agua libre; a los 500 °C evapora el agua combinada en la arcilla; 600 °C se eliminan el CO₂ del MgCO₃; a los 800°C se pierde el CO₂ del CaCO₃. De 900 a 1200 °C se produce la reacción entre la cal y la arcilla. De 1200 a 1290 °C se inicia la fase líquida. La sinterización hace que el crudo se transforme en nódulos esféricos (Clinker)
7. Enfriamiento suficientemente rápido para que impida que el óxido de magnesio procedente del carbonato, cristalice en forma de periclasa y de que parte de la cal libre se transforme en hidróxido cálcico (portlandita) para evitar problemas de expansión.
8. molienda: el clinker y el yeso (sulfato cálcico dihidratado) que actúa como regulador de fraguado, se muelen conjuntamente. La proporción de yeso depende del contenido de aluminato tricálcico que tenga el clinker (suele estar comprendido entre el 3 y el 5 % en peso).

A la parte de estos componentes en función del tipo de cemento se pueden añadir: puzolanas naturales, cenizas volantes, humo de sílice, escorias siderúrgicas, etc.

Los molinos de cemento son molinos de bolas similares a los del crudo pero con un control estricto de la temperatura < 70 °C ya que si es mayor el yeso dihidratado se transforma en hemihidratado produciendo un falso fraguado.

9. Silos y ensacado.

Hidratación del Cemento Pórtland.-

En la mezcla de cemento y agua, los silicatos y aluminatos se hidratan dando lugar a una pasta rígida (fraguado).

Se pueden considerar la hidratación del cemento como un proceso en el cual se produce una disolución con reacción de los componentes con el agua, seguida de una difusión y precipitación de los componentes hidratados.

El primer componente que reacciona con el agua es el C₃S, aunque su actividad queda frenada por la adición de yeso.

Las primeras reacciones de la hidratación se producen en la superficie de los granos dando lugar a precipitaciones de productos hidratados y nuevas disoluciones de componentes aumentando la viscosidad.

Se puede decir que el principio de la hidratación está generado por reacciones químicas, pero que, posteriormente, al generarse la capa de gel, la **difusión** es el proceso que más participa en la hidratación.

A los primeros nódulos cristalizados de C3S le siguen los restantes componentes que al hidratarse rellenan los huecos dejados por los cristales anteriormente formados, apretándose las partículas entre sí por interposición de cristales y coagulación. Produciéndose una fuerte adherencia entre los cristales y un endurecimiento de la pasta.

Así sus constituyentes reaccionan de la siguiente forma:

- **Silicato tricálcico:** reacciona rápidamente con el agua produciendo Tobermorita $C_3S_2H_3$ y Portlandita ($Ca(OH)_2$).
- **Silicato bicálcico:** reacciona más lentamente.
- **Aluminato tricálcico:** el aluminato hidratado forma una solución coloidal rodeando los silicatos hidratados. El C3A con el agua es de reacción rápida debido al gran poder de disolución del mismo produciendo un endurecimiento rápido.

Para evitar este fraguado relámpago y hacer la mezcla trabajable se añade al clinker yeso dihidratado que disminuye la solubilidad del aluminato al existir ahora cal y yeso en disolución.

El yeso y el aluminato reaccionan para formar sulfo-aluminato de calcio hidratado insoluble o sal de Candlot.

Si hay suficiente cantidad de yeso el C3A desaparece bajo las formas de los sulfo-aluminatos. Para evitar el fraguado relámpago y hacer la mezcla trabajable se añade yeso dihidratado que disminuye la solubilidad del aluminato anhidro.

El C3A no contribuye a las resistencias, es atacado por los sulfatos produciendo sulfo-aluminato, pero es necesario, porque facilita la formación de fase líquida, reduciendo la temperatura del horno y contribuyendo a la mejora de las reacciones sobre la caliza y la arcilla.

- Ferrito-aluminato-tetracalcico: con agua da aluminatos de calcio hidratados e hidróxido de hierro.

- Oxidos de cal y magnesio libres: provocan aumento de volumen al convertirse en hidroxidos de cal y magnesio. Los hidroxidos ocupan más espacio que los oxidos.

Si la pasta está endurecida y el cemento que la forma tiene aluminato tricálcico hidratado existe el peligro de que éste reaccione con los sulfatos externos a ella formando sulfo-aluminato o Ettringita en su interior, con un aumento de volumen del orden del 227 por 100.

Los cementos Pórtland resistentes a los sulfatos y al agua de mar, son los que tienen en su composición un bajo contenido de C3A y de C3A+C4AF.

Sobre los Cementos de **Aluminato de Calcio:**

Poseen altas resistencias iniciales, carácter refractario y es el más expansivo de los cementos Pórtland. Sus materias primas consisten en Bauxitas y Caliza.

En cuanto a la **Resistencia** de los Cementos, será más alta cuanto mayor es el contenido de C3S y C3A y más elevada es la finura de los mismos.

La Retracción.-

O disminución de volumen debida a la desecación, se atribuye a las substancias gelatinosas formadas durante el fraguado que sufren estos cambios con las variaciones de humedad. Podemos distinguir:

-Retracción plástica: es la evaporación del agua superficial que excede a la de migración desde el interior a la superficie.

-Retracción de secado: pérdida de agua en la pasta endurecida. Es el resultado de cambios físicos en los productos del gel de hidratación.

-Retracción por carbonatación: está provocada por la reacción del CO₂ del aire y los constituyentes hidratados. La carbonatación de la pasta aumenta las resistencias mecánicas de la misma así como su impermeabilidad.

La retracción aumenta con la finura del cemento, agua de amasado, temperatura y estado de humedad del aire.

Estas variaciones de volumen ocasionan las grietas y fisuras en las dosificaciones ricas, atenuándose con el empleo de áridos formando morteros y hormigones