

Capítulo XII.

MATERIALES CEMENTANTES.

III.- CEMENTOS HIDRAULICOS.

GENERALIDADES.- Comprenden una serie de productos de composición algo variable y constitución compleja no muy bien conocida, - que tienen la facultad de solidificarse y endurecerse bajo el agua (fraguado), propiedad que se conoce como "hidraulicidad" por lo que algunos tienen gran importancia en construcciones hidráulicas. En general se usan en construcciones comunes, por su gran resistencia a la interperie y mecánica. Pueden obtenerse por la pulverización del "Clinker" obtenido de la calcinación de mezclas adecuadas de cal (calizas), Sílice y Alumina (arcillas), (cemento Portland) o bien mezclando Cal viva con una Puzolana (cemento de escorias). Los mas importantes son los llamados cementos normales o sean los cementos Portland, Portland de escorias y Cemento de escorias, en algunas partes se emplean los Naturales y los Puzolánicos. De importancia secundaria son las Cales Hidráulicas y el Cemento Lafarge.

COMPOSICION.- Aunque la composición es variable, todos constan de 3 óxidos principales a saber: Oxido de Calcio (CaO) o Cal, Oxido de Silicio (SiO₂) o Sílice, Oxido de Aluminio o de Alúmina - - (Al₂O₃). junto con éste se considera el óxido de fierro (Fe₂O₃) como - R₂O₃ y con la Cal el óxido de magnesio (MgO). (Véase cuadro comparativo)

Compo- nentes.	TIPOS DE CEMENTOS.					
	Cal Hi- dráulica.	Natural	De Esco- ria.	Portland	Portland De Alú- scoria	De Alú- mina.
CaO+MgO	75 - 85	46 - 48	45 - 55	64 - 70	61- 66	36- 47
R ₂ O ₃	2 - 8	9 - 16	11 - 18	8 - 13	9- 15	39- 53
SiO ₂	11 - 16	23 - 29	26 - 34	19 - 22	22- 27	7 - 17

CONSTITUCION.- Estos óxidos componentes se agrupan formando compuestos diversos que se supone sean principalmente Silicatos Di- Cálcidos (2 CaO. SiO₂) y tricálcidos (3 CaO.SiO₂, Aluminatos (3CaO. Al₂O₃) y ferritos y tetracálcidos (4 CaO. Al₂O₃. Fe₂O₃), además algunos tienen cal libre, por ejemplo la cal hidráulica, además de otros - constituyentes como sulfato y sulfuros, oxido de manganeso, etc.

MANUFACTURA. - Se fabrican por quemado de mezclas adecuadas, la cocción puede desarrollarse en hornos de cuba o rotatorios y puede ser: hasta calcinación (cemento natural), hasta reblandecimiento o un principio de fusión (Portland) o hasta fusión completa (cemento de alúmina). También pueden emplearse mezclas de componentes previamente fabricados, por ej. el Cemento de Escoria emplea un componente reblandecido (Portland) y otro fundido (escoria). Durante la cocción se pierde el agua de hidratación o de cristalización, junto con el agua de absorción residual, los carbonatos se disocian a una temperatura de 800°C. (MgCO₃) o 900°C. (CaCO₃), desprendiendo - anhídrido carbónico y dando los óxidos correspondientes: a 1,000°C

la arcilla se descompone formando aluminatos y ferritos de aluminos hidratados, cal y magnesia y algo de silicatos dicálcicos y pentacálcicos. Cuando la temperatura se prolonga a $1,200^{\circ}\text{C}$, $1,300^{\circ}\text{C}$, se forma el silicato tricálcico, empezando la fusión a los $1,260^{\circ}\text{C}$. Los componentes son previamente molidos en molinos de bolas, con o sin trituración previa en quebradores de quijada o vibratorios. El producto obtenido de la cocción o "Clinker" se somete a un proceso de aereación y después a un molido final, con o sin la adición de otros componentes (Sulfato de Calcio), finalmente se enfría y se envasa. Cuando se trata de mezclas, la manufactura consiste simplemente en el molido de las materias primas a la fineza requerida y el mezclado en las proporciones adecuadas.

PROPIEDADES.- La característica principal de estos materiales es como ya se dijo la propiedad de fraguado y endurecer bajo el agua, como esta propiedad se debe a una hidratación paulatina de los componentes anhidros, aumentada por la presencia de aluminatos y regulada por la adición de 2 a 3 % de yeso (Portland), que forma finas agujas de sulfoaluminatos, retardando la cristalización de los aluminatos. De acuerdo con la teoría coloidal de Michaelis, el silicato tricálcico es atacado, formándose soluciones sobresaturadas con cristales de hidróxido de calcio y masas amorfas coloidales de hidrosilicato cálcico. Estas masas se hinchan al principio por la absorción de agua, pero luego se contraen al coagularse el "gel" alrededor de los granos de cemento sin atacar. El gel coagulado contiene además hidroaluminato e hidroferrito cálcico y una pequeña proporción de cal, se endurece gradualmente, parte por la absorción de agua por los granos sin atacar y parte por cristalización de sus componentes, acelerada por la evaporación de algo de agua, si se hace en el aire. Este endurecimiento gradual o "Fraguado" se verifica en un tiempo variable de acuerdo con el tipo de cemento (su composición), con su % de yeso, con la cantidad de agua, grado de calcinación, fineza, aereación y con la temperatura. En la práctica se consideran dos pasos: el Fraguado inicial y el Fraguado final, determinados por la resistencia o la penetración de una aguja en los aparatos de Vicat y de Gilmore. Después del fraguado final continúa el endurecimiento, aumentando poco a poco la resistencia y presentando máximos a las 24 horas (aluminatos cálcicos), a los 7 días (Silicatos tricálcicos) y a los 28 días. El silicato dicálcico se hidroliza muy lentamente y solo tiene influencia en la resistencia y dureza del cemento después de los 30 días, hasta un año.

A.- CAL HIDRAULICA.

Se obtiene por la calcinación de calizas arcillosas o que tienen arcilla en gran cantidad, formándose en parte los constituyentes de los cementos, por lo cual tienen la propiedad de endurecerse bajo el agua, de lo cual proviene su nombre. La temperatura de calcinación de dichas mezclas debe ser mayor que la ordinaria, para que las reacciones se verifiquen. Se emplea en Francia y Sur de Europa para morteros que fraguan bajo el agua, su densidad y propiedades son semejantes a las del cemento natural.

B.- CEMENTO LAFARGE.

Es un tipo de cemento Grapier, obtenido por pulverización fina de las partículas gruesas que quedan como residuo en la hidratación de la cal, residuo formado por 58 a 60% de Cal, 26 a 30% de Sílice, 2.6 á 4.5% de Alúmina y otras impurezas. Su densidad es de 2.6 (más bajo que cualquier cemento), fraguado inicial 4 horas y final de 10 horas, es decir que fragua lentamente, fineza 95 á ---

99.4% en malla 100. Su mortero 1:2 presenta un 60% de la resistencia del cemento Portland. Se emplea para trabajos de Estucco y en colocación de mármoles y otras piedras ornamentales que podrían ser manchadas por el cemento Portland ordinario.

C.- CEMENTO NATURAL.

DEFINICION Y OBTENCION.- Se llama también cemento romano. Se obtiene por clacinación y pulverización fina de calizas arcillosas naturales, conteniendo de 13 a 35 % de arcillas y de composición sumamente variable, pudiendo dar un cemento con 1 á 20% de MgO y 2 á 20% de alúmina y 1 á 19% de óxido de fierro. La cocción se efectúa generalmente en hornos verticales de alimentación mezclada, semejantes a los de cal (produce $1/3$ de la carga en forma de clinker diariamente), pero puede hacerse en hornos rotatorios. En los primeros el quemado no es uniforme, pudiendo quedar material sin quemar (10-33%) que no pueden ser usado y algo de material sobrequemado que para ciertas rocas es muy conveniente.

PROPIEDADES.- Verían con su composición química. En general es un polvo muy fino, cuyo color varía de amarillo o café y su densidad de 2.8 a 3. Requiere mas agua para consistencia normal y fragua mas rapidamente que el Portland, desprendiendo menor cantidad de calor. El fraguado inicial tiene un mínimo de a 10m, hasta 1 hora y el final un máximo de 3 hs. La fineza no están alta como la del Portland, pero moderadamente se están haciendo tanto o mas finos que éste. La resistencia a la tensión raras veces excede a lamidad y la resistencia a la compresión $1/3$ de la del Cemento Portland. La primera en morteros de 1;3 es de 10 Kgs./ cm^2 (150 lbs/pulg²), en 28 días y la 2a. un promedio de 70 Kgs./ cm^2 (1,000 lbs/pulg²).

USOS.- Se emplea para morteros para tubos de albañal, edificios y varios tipos de construcción de albañilería, solo se usa un 2% del total del cemento Portland utilizado.

D.- CEMENTOS PUZOLANICOS.

GENERALIDADES.- Se conocen con este nombre mezclas obtenidas por pulverización fina de 2 a 4 partes de Puzolanas naturales o artificiales con una parte de cal, sin subsecuente calcinación. Entendiéndose por Puzolanas materiales que contienen un porcentaje suficientemente grande de sílice capaz de combinarse directamente con la cal hidratada a la temperatura atmosférica, para dar un cemento de propiedades hidráulicas. Las puzolanas se forman por el enfriamiento rápido con agua o vapor de agua, de los materiales fundidos. Las puzolanas naturales son rocas formadas por la consolidación de cenizas volcánicas, entre ellas se encuentran la puzolana y las tobas volcánicas, algunas veces se incluye la tierra diatomácea (pozzuolan en italiano significa ceniza volcánica). Entre las puzolanas artificiales la principal es la escoria de alto horno, pulverizada por la acción violenta de una corriente de agua sobre lava fundida.

CEMENTOS DE ESCORIA.- Los cementos de Puzolana natural han de jado de tener importancia y solo presentan interés histórico por ser los más antiguos, (empleados por los romanos). Los cementos de escoria solo se aplican para construcciones sin importancia, sobre todo cuando el peso y volumen son de mas importancia, que la resistencia, prefiriéndose el empleo de la escoria para obtener cemento Portland-Escoria y cementos Ferro-Portland o Siderúrgico.

Se fabrican con escoria granulada, la cual se somete a un proceso de secado, pues absorbe de 15 á 45% de agua, durante su obtención. El secado puede efectuarse en secadores rotatorios o verticales, provistos de una serie de tabiques inclinados hacia la base,

en ambos el material circula en sentido contrario a los gases calientes. Después del secado se pulveriza en molinos de bolas, se mezcla con 25 a 45% de cal y se vuelve a moler para darle la fineza final, en molinos de bolas semejantes a los de cemento. El material terminado posee una gran fineza, un color algo lila, que al aplicarse en morteros cambia a azul verdoso o blanco en la superficie, debido a la oxidación de los sulfuros. Esta oxidación es sumamente perjudicial, tendiendo a producir desintegración, de aquí que se procure no emplearlo en superficies expuestas al aire continuamente. Se distingue de los cementos naturales y Portland por su menor densidad, 2.7 á 2.85. Cuando está recién hecho fragua casi en el mismo tiempo que el Portland, pero se endurece mas lentamente; pero si es viejo fragua mas lentamente. Requiere de 2 á 4% menos agua para la consistencia normal. La resistencia a la compresión de morteros ricos, es menor que la de los cementos Portland, pero en mezclas pobres es casi igual.

E.- CEMENTO PORTLAND.

DEFINICION Y COMPOSICION.- Se considera como cemento Portland el producto obtenido por la pulverización fina del "Clinker" resultante de la calcinación a fusión incipiente de mezclas adecuadas de materiales arcillosos y calizas, sin adiciones subsecuentes a la calcinación, excepto agua y yeso. No debe contener mas de 5% de Oxido de Magnesio y no mas de 2% de SO_2 (representa sulfatos). Contiene de 62 á 65% de cal, 19 a 25% de Sílice, 4 á 7% de Alúmina y 2 á 4% de fierro, algo de sulfatos, álcalis, agua y anhídrido carbónico, formado silicatos di y tricálcicos (E_2S y C_3S), aluminato tricálcico (C_3A), y aluminato ferrito tetracálcico (C_4AF). principalmente.

MATERIAS PRIMAS.- Las materias primas esenciales son materiales calcáreos y arcillas, con algo de mineral de fierro para la preparación del Clinker y sulfato de calcio, para la corrección final. Todas ellas se encuentran en la naturaleza, las calcáreas comprenden las calizas puras (pág. 75), la creta, greda, tiza y las margas. Estas últimas son depósitos de calizas con algo de arcilla y arena en lagos existentes o desecados. Son relativamente puras (90-97% de $CaCO_3$ y $MgCO_3$) pero debido a su gran humedad se emplean solo en el proceso húmedo, requieren un 15 a 20% mas de arcilla, para convertirse en cemento. Los materiales arcillosos comprenden las Arcillas, Esquistos y Pizarras, semejantes en composición pero que difieren por el grado de consolidación, las más usadas son las dos primeras, sobre todo las solidificadas en formas de esquistos para el proceso seco y las 1as. para el húmedo (Pág. 128). Las pizarras son muy duras y poco usadas. En general las arcillas usadas deben de contener 55-65% de SiO_2 y algo de óxido de fierro. Comúnmente se encuentran en la naturaleza materiales arcillocalcáreos que también pueden usarse, con un 40 á 75% de carbonato de calcio, entre ellos: canchales arcillosos (un 20% de arcillas), margosas o gredosas. La caliza arcillosa se llama también "roca cemento", es una caliza pizarrosa gris oscura o negra, menos suave que las calizas ordinarias, requiere comúnmente la adición de algo de caliza. La utilización de los diferentes tipos se combina de tal manera que puedan obtenerse los porcentajes pedidos, de aquí que pueden usarse calizas con arcillas o esquistos; caliza pura o cal, con calizas arcillosas; marga o creta con arcilla o esquistos, etc. Si las arcillas no contienen suficiente óxido de fierro, se añaden minerales de fierro. El óxido de fierro es necesario para formar el C_4AF y facilita la formación del C_3S , además, disminuye la temperatu-

ra de sintetización necesaria cuando esta en exceso produce Clinkers de difícil pulverización. También puede emplearse escoria de alto horno como materia prima, debe de ser básica, con 40 á 50% de cal, 20 á 30% de sílice y 11 á 18% de alúmina y fierro y contener poco sulfuro de calcio. El Sulfato de calcio se añade al final para retardar el fraguado, en proporción de 2 a 3%. Se puede usar cualquiera de las formas naturales, principalmente la Selenita (Pág. 115). Todas estas materias primas requieren ciertas características pues no todas se emplean o pueden emplearse, por ejemplo no se emplean arcillas muy puras (Caolines etc.) y por otra parte no deben contener un exceso de impurezas, así el MgO no debe ser mayor de 5% por quedar libre en el Clinker, hidratarse lentamente y sufrir gran expansión, los sulfuros son sumamente perjudiciales (no se admite mas de 2%). Los álcalis deben encontrarse en cantidades pequeñas (menos de 5%), parece que se combinan con la cal y alúmina acelerando el fraguado.

MANUFACTURA.

GENERALIDADES.- Dos son los procesos seguidos. El proceso seco, de gran aplicación en nuestro País y el húmedo, que ha sustituido a aquel en algunos países. El primero emplea materias primas mas o menos secas o que pueden secarse fácilmente, tienen la desventaja de ser mas complicado y presentar dificultades para regular la composición del Clinker, además, produce mayor cantidad de polvo, que aunque puede evitarse instalando equipos colectores, resulta mas costoso. El húmedo en cambio, utiliza materias húmedas, que no tienen que secarse, regula fácilmente la proporción y requiere menos equipo. Después de la obtención del clinker, los dos procesos son iguales.

a.- PROCESO SECO.-

Quebrado Preliminar.- Los materiales tal como llegan a la fábrica o ligeramente secados cuando están húmedos, se quiebran en quebradores de quijada, de disco o giratorios (de perá) de grandes capacidades, pasando el material por una criba rotatoria y separando el material grueso mayor de 2 á 2 1/2", el cual se quiebra en un quebrador chico de tipo martillo ó giratorio de cono, para uniformar el producto, el cual se almacena en tolvas de acuerdo con su composición.

Secado.- El material quebrado se lleva a secadores rotatorios, en donde se pone en contacto con gases calientes de un hogar o de desperdicio de los hornos, calentándose a una temperatura de 105 a 110 C. y eliminándose el agua de absorción. Los secadores son cilindros de acero con salientes interiores longitudinales, de 10 á 15 mts. de largo por 1 1/2 de diámetro, inclinados 7 á 15° con la horizontal. El material secado se almacena en Silos.

Molido Preliminar.- Se lleva a cabo en molinos de martillo, rotatorios o de cono (Simons) antes del mezclado, para ser reducido a un tamaño de 1/4 a 1/2" o menos, pasando el 90 á 95% en malla 20. Pueden emplearse pequeños molinos de bolas de tipo cónico con 6 a 8 tons. de bolas de acero de 2 1/2 á 5" de diámetro, pasando el material molido por una criba circular en su parte posterior. Un molino de este tipo, 1.70 mts. de largo y 2.5 de diámetro produce unas 14 toneladas de material de malla 20, se juntan en la proporción adecuada por medio de distribuidores automáticos con una pequeña banda sin fin movida por un motor.

Mezclado y Molido final.- Se lleva a cabo en molinos rotatorios