

**UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA
"JOSE SIMEON CAÑAS", UCA**

Materia: MATERIALES DE CONSTRUCCION

**GUIA DE CLASES No. 4
MATERIALES DE CONSTRUCCION**



Torre Sears

Fuente:

<http://www.astroseti.org/vernew.php?codigo=926>

3. Materiales cementantes o aglomerantes.

Los materiales cementantes, llamados también aglomerantes o aglutinantes, son aquellos que son capaces "de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efectos de tipo exclusivamente físico"

(<http://www.gratisde.com.ar/pagina.php?t=DICCIONARIO%20DICCIONARIOS%20GRATIS&sitio=http://www.el-castellano.com/diccio.html>) marzo 2006

3.1. Cemento.

3.1.1. Concepto (Tomado de: Saad, Miguel A. [1983] Tratado de Construcción, EDITORIAL CONTINENTAL, S.A. de C.V., México D.F., México, decimocuarta impresión, p. 203 -204.)

Se define *cemento* como la calcinación de piedra caliza, arcilla y otros compuestos químicos. Al cemento que reacciona con agua y endurece con presencia de aire y agua se llama *Cemento Hidráulico*.

El nombre cemento proviene del latín *caedimentun-caedere: cortar piedra*, posee su origen en los materiales cementantes, los cuales se pueden rastrear desde los egipcios y romanos, en donde los primeros usaron el cemento producido por un proceso de calentamiento y los segundos, su ingeniería sobrepasó los simples morteros de cal con la adición de cenizas volcánicas que aumentaron su durabilidad.

La historia de los cementos viene desde el año de 1756 con el inglés J. Smeaton, quién observó que los aglomerantes empleados en su construcción provenían de calizas arcillosas, posteriormente en el año de 1796, J. Parker, descubrió que se podía fabricar aglomerantes hidráulicos naturales, los cuales los denominó *Cementos Romanos*. En el siglo XIX Vicat realizó una

investigación sobre las cales hidráulicas para el desarrollo de la industria del cemento.

La tecnología del cemento se originó en Inglaterra, en 1824 con Joseph Apsdin, quien produjo el *Cemento Portland* que proviene de la mezcla calentada de piedra caliza y arcilla. El nombre que recibió se debe a que en el momento que los materiales endurecían se parecían a una piedra natural inglesa de Portland.

Mas información sobre la historia del cemento:
<http://www.cessa.com.sv/prod.asp?id=59&p=57>

3.1.2. Tipos y usos

<http://dei.uca.edu.sv/mecanica/Facilitadores/PM%20Alfabetico2.htm>
(marzo 2006)

CLASIFICACION	TIPO DE CEMENTO
<u>CEMENTOS NATURALES</u>	Romano
	Portland
CEMENTOS ARTIFICIALES	Cementos Portland simples (ASTM C150 o C-1157)
	Especiales (No están incluidos en las normas ASTM)
	Cementos Portland mezclados (ASTM C595 o ASTM C-1157)
	Cementos expansivos (ASTM C845)
	Cementos de mampostería (ASTM C91)
	Cemento Portland blanco (ASTM C150)
	Cementos compuestos (ASTM C-1157)

El cemento Pórtland simple “es el producto obtenido por molienda fina de clinker producido por una calcinación de una mezcla íntima, rigurosa y homogénea de materiales arcillosos y calcáreos, sin adición posterior a la calcinación, excepto de yeso calcinado o no y en cantidad no mayor de 3%”.(Saad, M, (1983) Tratado de Construcción).

Los principales componentes son: cal, sílice y alúmina, algunas cantidades de óxido de hierro, magnesio, trióxido de sulfuro, álcalis y bióxido de carbono, existen rangos recomendados para su combinación.:

COMPONENTE	RANGOS %
Cal (CaO)	60 – 67
Sílice (SiO ₂)	17 – 25
Alúmina (Al ₂ O ₃)	3 – 8
Oxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	0.5 – 6
Oxido de magnesio (MgO)	0.1 – 4
Trióxido de sulfuro (SO ₃)	0.1 – 2.5

Álcalis ($K_2O + Na_2O$)	0.4 – 1.3
Agua y bióxido de carbono ($H_2O + CO_2$)	1 –

COMPUESTO	CONTRIBUCION AL CEMENTO
<p>Silicato tricálcico ($3CaO, SiO_2$) o "alita" se abrevia S3C</p> <p>Silicato dicálcico ($2CaO, SiO_2$) o "belita" se abrevia S2C</p>	<p>Son los principales compuestos del clínker, al hidratarse forman los silicatos hidratados de calcio que son los responsables de la resistencia mecánica del cemento.</p>
<p>Aluminato tricálcico ($3CaO, Al_2O_3$) se abrevia A3C</p>	<p>Compuesto que se hidrata con mayor rapidez, propiciando mayor velocidad en el fraguado y en el desarrollo del calor de hidratación en el concreto.</p>
<p>Aluminoferrito tetracálcico ($4CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3$) o "celita" se abrevia AF4C</p>	<p>Contribuye poco a la resistencia del concreto y reduce la temperatura de formación del clinker, ayudando por tanto a la manufactura del cemento.</p>

Los silicatos de calcio (C3S y C2S) son los compuestos más deseables, porque al hidratarse forman los silicatos B hidratados de calcio (S-H-C) que son responsables de la resistencia mecánica y otras propiedades del concreto. Normalmente, el C3S aporta resistencia a corto y mediano plazo, y el C2S a mediano y largo plazo, es decir, se complementan bien para que la adquisición de resistencia se realice en forma sostenida.

El aluminato tricálcico (C3A) es tal vez el compuesto que se hidrata con mayor rapidez, y por ello propicia mayor velocidad en el fraguado y en el desarrollo de calor de hidratación en el concreto. Asimismo, su presencia en el cemento hace al concreto más susceptible de sufrir daño por efecto del ataque de sulfatos. Por todo ello, se tiende a limitarlo en la medida que es compatible con el uso del cemento.

Finalmente, el aluminoferrito tetracálcico es un compuesto relativamente inactivo pues contribuye poco a la resistencia del concreto, y su presencia más bien es útil como fundente durante la calcinación del clinker y porque favorece la hidratación de los otros compuestos. Influye en el color del cemento.

La combinación química de los componentes anteriores, generan los compuestos principales que forman al cemento portland, y sus relaciones determinan los diferentes [tipos de cemento Portland](#)., establecidos desde 1940 por la norma ASTM C-150:

Tipo I: sin características especiales y sin ajustes específicos.

Tipo II: moderado calor de hidratación y resistencia a los sulfatos. Se ajusta el C3A

Tipo III; alta resistencia rápida. Se usa alto contenido de C3S

Tipo IV: bajo calor de hidratación. Se usa alto contenido de C2S y moderado C3A

Tipo V; alta resistencia a los sulfatos. Se ajusta un bajo contenido de C3A

Otro aspecto importante relativo a la composición química del clinker (y del cemento portland) se refiere a los álcalis, óxidos de sodio (Na₂O) y de potasio (K₂O), cuyo contenido suele limitarse para evitar reacciones dañinas del cemento con ciertos agregados en el concreto. Esto ha dado motivo para el establecimiento de un requisito químico opcional, aplicable a todos los tipos de cemento portland, que consiste en ajustar el contenido de álcalis totales, expresados como Na₂O, a un máximo de 0.60 por ciento cuando se requiere emplear el cemento junto con agregados reactivos. Bajo los criterios anteriores se establecieron diversos [tipos de cemento Portland](#) (Norma ASTM C-150):

TIPO DE CEMENTO PORTLAND	CARACTERISTICAS	USOS
TIPO I (Normal)	Es de uso general, utilizado en concretos que no estén sometidos al ataque de factores agresivos (sulfatos existentes en el suelo o en el agua o concretos con aumento considerable de temperatura debido al calor generado durante la hidratación). Se usa cuando no se necesita ninguna de las propiedades de los otros tipos de cemento.	Pavimentos, pisos, edificios de concreto armado , puentes, estructuras para vías férreas, tanques y depósitos de agua, tuberías, mampostería y otros productos de concreto prefabricado.
TIPO II (Resistencia moderada a los sulfatos)	Se usa cuando se deben tomar precauciones contra el ataque moderado de sulfatos. Este cemento genera menos calor que el tipo I, cuando se especifican límites máximos para el calor de hidratación.	Se emplea en estructuras de volumen considerable, como en pilas de gran masa, estribos gruesos y muros de contención.
TIPO III (Endurecimiento rápido)	Se caracteriza por proporcionar resistencias elevadas a edades tempranas. Química y físicamente similar al cemento tipo I, excepto que sus partículas se han molido finamente.	Se emplea cuando las cimbras o encofrados deben ser retirados lo más pronto posible o cuando se tenga que poner rápidamente en servicio la estructura.
TIPO IV	Desarrolla resistencia a una velocidad inferior a la de otros tipos de cemento, mantiene en un valor mínimo la cantidad y velocidad de generación de calor provocada por la hidratación.	Es destinado para estructuras de concreto masivo, como presas de gravedad grandes.
TIPO V	La resistencia la adquiere aún más lento que el cemento tipo I. La elevada resistencia a los sulfatos se incrementa si se incluye aire o se aumentan los contenidos de cemento.	Este tipo de cemento se emplea en concretos expuestos a acciones severas de sulfatos (especialmente en donde los suelos o las agua freáticas contengan fuerte contenidos de sulfatos).
CEMENTOS PORTLAND INCLUSORES DE AIRE	Se encuentran 3 tipos de cementos inclusores de aire (Tipos IA, IIA y IIIA), que producen concretos con resistencias mejoradas contra la acción de la congelación- deshielo y contra la descamación provocada por la aplicación de productos químicos para remover hielo o nieve.	Se utiliza en construcciones sometidas a ciclos de hielo y deshielo: carreteras y puentes en zonas frías, o aplicaciones industriales en las que se trabaje con bajas temperaturas (cuartos fríos, producción de hielo, etc.).

El caso de la Norma ASTM C -1157

(http://www.capac.org/Secciones_Categorias//20061205Cementos_a_la_medida.pdf)

Desde 1992 existe la Norma ASTM C-1157, como especificación estándar para todos los tipos de cemento hidráulico: pórtland, Pórtland Mezclado y Cemento Compuesto. Esta Norma establece criterios de desempeño según la siguiente clasificación:

Tipo GU (general use):	uso general en la construcción
Tipo HE (high early strenght):	alta resistencia a temprana edad
Tipo MS (moderate sulfate resistance):	resistencia moderada a los sulfatos.
Tipo HS (high sulfate resistance):	alta resistencia a los sulfatos
Tipo MH (moderate heat of hidratation):	moderada generación de calor de hidratación.
Tipo LH (low heat opf hidratation):	bajo calor de hidratación

Adicionalmente se establece la opción R que aplica a cualquier tipo de cemento hidráulico y que implica baja reactividad a los álcalis.

Nota: Investigar los cementos Pórtland Mezclados y los cementos compuestops, sus usos y propiedades.

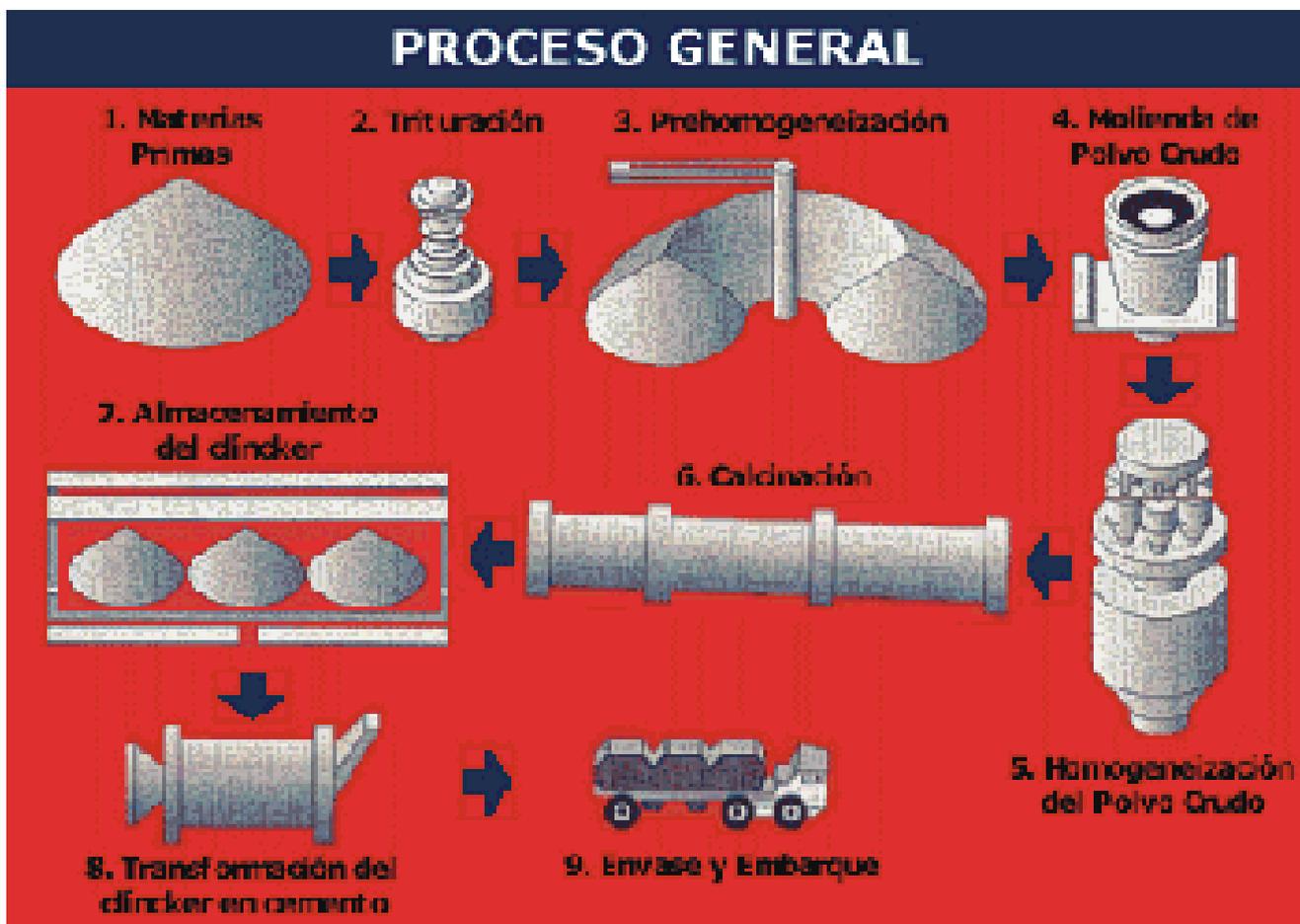
3.1.3. Fabricación del cemento

[http \(html.rincondelvago.com/cemento_1.html\)](http://html.rincondelvago.com/cemento_1.html) marzo 2006

El cemento portland se fabrica en cuatro etapas básicas

- Trituración y molienda de la materia prima; arcilla, arena y caliza, principalmente. La arcilla y la arena aportan silicio(Si), aluminio(Al) e hierro(Fe) y la caliza aporta el calcio(Ca).
- Mezcla de los materiales en las proporciones correctas, para obtener el polvo crudo.
- Calcinación del polvo crudo.

- Molienda del producto calcinado, conocido como clínker, junto con una pequeña cantidad de yeso.



Versión animada: <http://www.librys.com/problemasdequimica/cemento.html> (marzo 2006)

Los fabricantes de cemento, también presentan sus procesos de producción:

CEMEX: http://www.cemex.com/espa/ps/ps_ce_hc.asp

HOLCIM: <http://www.cessa.com.sv/>

3.1.4. Reacción química del cemento.

<http://perso.wanadoo.es/jjreina/divulgacion/100tifica/articulos/cemento/cemento.htm> marzo 2006

Cuando el cemento se amasa con agua, esta se distribuye entre los granos del sólido y se forma una pasta. Pese a que en la superficie de cada grano hay igual número de iones positivos que negativos, la carga total sobre ella es

positiva. Esto es debido a que los iones internos polarizan la carga de los externos.

Se dice que un ión o una molécula están polarizados cuando su carga eléctrica no está distribuida homogéneamente. Esta heterogeneidad se debe a que la nube electrónica que rodea el núcleo del átomo o ión se encuentra desplazada de su posición "normal". La causa del desplazamiento puede ser la presencia de una carga eléctrica en las proximidades.

En el caso que nos ocupa, los iones situados en la superficie del grano, tienen por vecinos interiores iones de signo opuesto. Estos iones atraerán (si son positivos) o repelerán (si son negativos) la nube electrónica de los iones superficiales.

Los iones negativo son más polarizables que los positivos, ya que su nube electrónica es mayor. El resultado de esta diferente polarizabilidad es que de la superficie del grano se retira mayor cantidad de nube electrónica (por polarización de los aniones) que aportación hacen los cationes al polarizarse. En consecuencia la superficie del grano de cemento tiene cierta carga positiva.

La carga positiva de la superficie granular polariza las moléculas de agua que rodean el grano. Esta polarización modifica las propiedades físicas del agua, volviéndola más viscosa. Esta mayor viscosidad impide que los granos deslicen unos sobre otros. Por acción de su propio peso. Por lo que la masa conserva la forma que se le de.

Sólo se polarizan las moléculas de agua más próximas al grano. Por esta razón si se amasa con demasiada agua, la masa obtenida no es plástica sino fluida. En este caso se tendría un grano rodeado de agua ionizada y por tanto viscosa, rodeado este conjunto por agua sin ionizar, y por tanto muy fluida, que daría fluidez al conjunto.

Con el tiempo la masa pierde su plasticidad, endureciendo por un proceso químico llamado "fraguado", que se desarrolla en dos etapas.

En la primera, el producto de la hidratación es un gel, sustancia aún más viscosa que el agua polarizada, y que por tanto pega mejor los granos. Esta primera etapa es la que recibe el nombre de hidratación del cemento y que corresponde a la reacción de los componentes no silicatados (A3C y AF4C).

Sin solución de continuidad con la primera etapa tiene lugar la segunda, que es la fase de endurecimiento o fraguado, que se debe a la reacción de los componentes silicatados (S2C y S3C). Durante ella, los productos de reacción cristalizan. Los cristales, que tienen forma de aguja que parten de los granos de cemento, se entre mezclan formando un entramado tridimensional de gran dureza. Este endurecimiento puede tardar mese e incluso años en completarse.

cuyos productos de reacción son: $2S3C3H$ y hidróxido de calcio.

3.1.5. **Fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento**

<http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/FraguaT2.htm> (marzo 2006)

El cemento al ser mezclado con agua forma una pasta, que tiene la propiedad de rigidizarse progresivamente hasta constituir un sólido de creciente dureza y resistencia.

Estas características son causadas por un proceso físico - químico derivado de la reacción química del agua con las fases mineralizadas del clinker y que

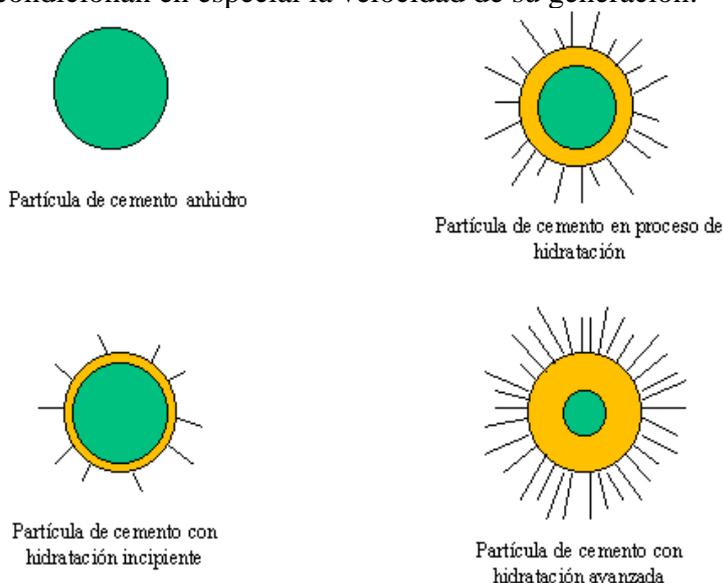
en su primera etapa incluye la solución en agua de los compuestos anhidros del cemento, formando compuestos hidratados. Los compuestos del cemento se hidratan a distinta velocidad, iniciándose con el C3A y continuando posteriormente con C4AF, C3S y C2S en ese mismo orden.

A partir de ese momento el proceso no es cabalmente conocido, existiendo teorías que suponen la precipitación de los compuestos hidratados, con la formación de cristales entreverados entre si que desarrollen fuerzas de adherencia, las que producen el endurecimiento de la pasta (Teoría cristaloidal de Le Chatelier) o alternativamente por el endurecimiento superficial de un gel formado a partir de dichos compuestos hidratados (Teoría coloidal de Michaelis), estimándose actualmente que el proceso presenta características mixtas.

El endurecimiento de la pasta de cemento muestra particularidades que son de interés para el desarrollo de obras de ingeniería:

- La reacción química producida es exotérmica, con desprendimiento de calor, especialmente en los primeros días.
- Durante su desarrollo se producen variaciones de volumen, de dilatación si el ambiente tiene un alto contenido de humedad o de contracción si este es bajo.

El proceso Progreso de la hidratación de una partícula de cemento se muestra en la siguiente figura y es producido es dependiente de las características del cemento, principalmente de su composición y de su finura, los cuales condicionan en especial la velocidad de su generación.



<http://www.arqcon.com.ar/pprof/Lnegra/ppcemento2.htm> (MARZO 2006)

Si se esquematiza la hidratación de los silicatos se tiene:



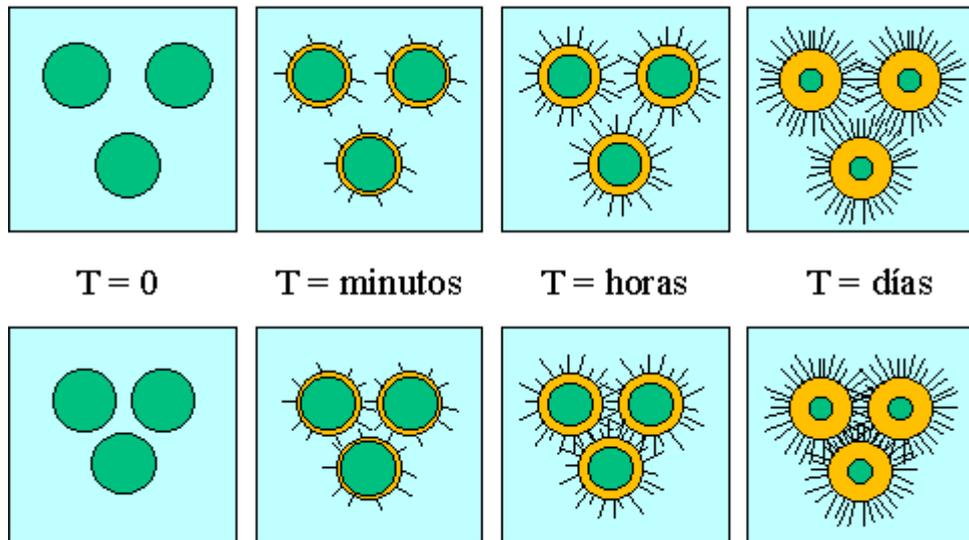
CnS : silicatos de calcio
H2O : agua
Gel SCH : silicatos de calcio hidratados o gel de tobermorita (o gel de cemento)
(OH)2Ca: hidróxido de calcio

Mientras el gel SCH es el principal responsable del desarrollo de resistencia y de la durabilidad del hormigón, el (OH)2Ca (hidróxido de calcio) es muy poco resistente desde el punto de vista mecánico, es vulnerable a la presencia de aguas puras, sulfatos y otros agentes; pero resulta fundamental en la protección de las armaduras frente a la corrosión debido al alto nivel alcalino que aporta al hormigón (aproximadamente un pH = 12,5). Como puede observarse en la figura anterior, existe un crecimiento de los cristales SCH (compuestos silico-calcáreos hidratados).

La cantidad de agua relacionada con la de cemento (llamada relación agua-cemento o simplemente a/c), afecta a la resistencia de la pasta, pues interviene en la interrelación entre los productos de hidratación de las distintas partículas de cemento. Esto explica bastante claramente que cuando se utiliza una baja relación a/c, la interrelación es mucho más estrecha y, consecuentemente, es de esperar que la resistencia sea superior a cuando se utiliza una alta relación a/c donde las partículas se encuentran más alejadas.

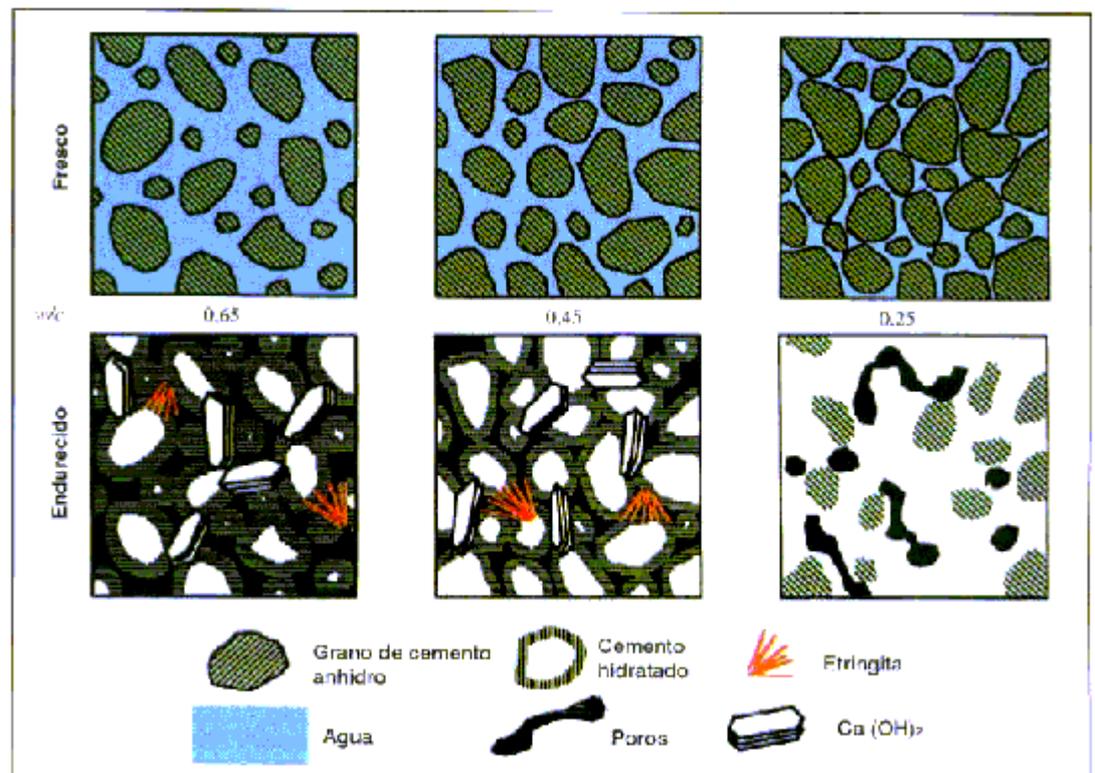
Otra forma de ver este fenómeno, es el esquema de la figura siguiente, donde se puede observar, que cuando más baja es la relación a/c, más bajo será el volumen de poros de la pasta, por lo tanto si pensamos a que la resistencia del cemento u hormigón sigue las reglas de la resistencia de cualquier material sólido, es de esperar que la misma dependa de la relación entre "vacíos" y "llenos" estableciéndose que cuando mayor sea el contenido de "llenos" mayor será la resistencia del elemento. Adicionalmente, en la figura se observa que los hormigones de alta relación a/c, no solamente presentan una baja resistencia sino que tienen alta porosidad y, consecuentemente, alta permeabilidad y espacio para la formación de grandes cristales de (OH)2Ca (cal) y etringita (hidróxido de sulfato de calcio-aluminio hidratado), por lo cual se verá afectada la durabilidad debido a que sustancias agresivas pueden ingresar al hormigón con cierta facilidad disueltas en agua o el aire.

Alta a/c



Baja a/c

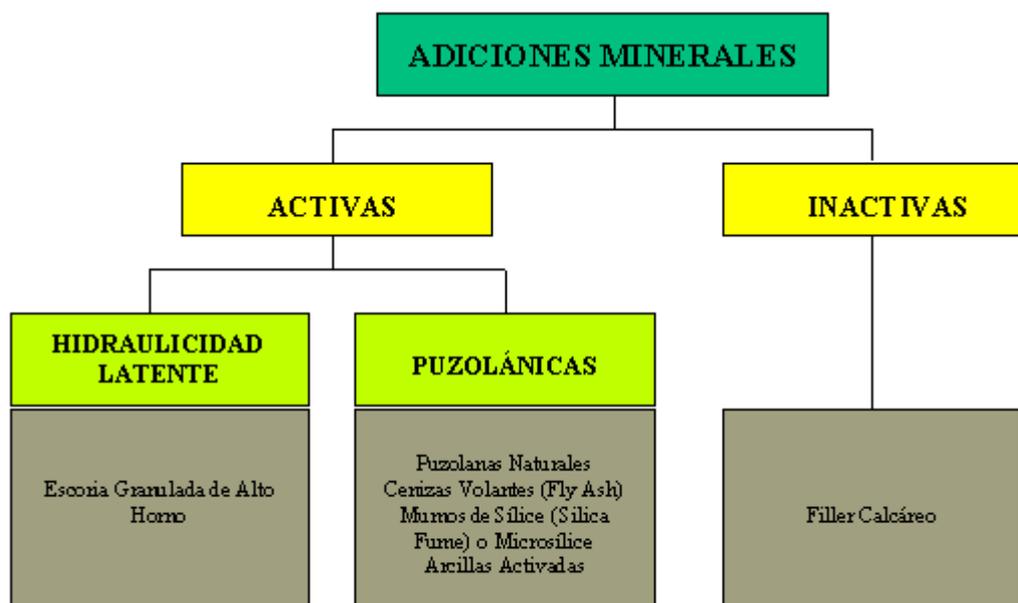
Influencia de la relación a/c sobre la resistencia de la pasta (cemento + agua).



Composición de la pasta de cemento, en estado fresco y endurecido para diferentes relaciones a/c.

3.1.6. Efecto de las adiciones minerales.

Las adiciones minerales (diferentes a los aditivos) son compuestos naturales o artificiales que se incorporan al cemento o directamente al hormigón con el objeto de mejorar el comportamiento del cemento u hormigón en estado fresco y/o endurecido.



Clasificación de las adiciones minerales.

En la figura anterior se intenta realizar una clasificación de las adiciones minerales utilizadas mundialmente en la industria del cemento. Una primera clasificación divide las mismas en activas e inactivas. Las adiciones activas son aquellas que tienen la capacidad de hidratarse y formar compuestos SCH de manera similar a los formados en la hidratación del clinker portland. A su vez, estas pueden separarse en las que poseen hidraulicidad latente y las puzolánicas.

Las primeras tienen la capacidad de hidratarse por sí mismas en presencia de agua y un agente catalizador.

El código ASTM (1992), en la definición 618-78, define las puzolanas como "materiales silíceos o alumino-silíceos quienes por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se han dividido finamente y están en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes"; en consecuencia, se hidratan a través de una reacción secundaria donde se combinan con el $(OH)_2Ca$ formado durante la

hidratación primaria (1), resultando compuestos SCH:

Hidratación primaria: $C_nS + H_2O \rightarrow \text{gel SCH} + (OH)_2Ca$ (1)

Hidratación secundaria: $SiO_2 + (OH)_2Ca + H_2O \rightarrow \text{gel SCH}$ (2)

Donde el SiO_2 lo aporta la puzolana y el $(OH)_2Ca$ es el subproducto generado durante la hidratación primaria. Podrá observarse que durante la hidratación de las puzolanas no hay generación de $(OH)_2Ca$ por lo cual es de esperar que los cementos u hormigones que poseen estas adiciones presenten mayor resistencia final y durabilidad que los elaborados con cementos "puros" ya que el $(OH)_2Ca$ tiene muy baja resistencia estructural. En el caso de la hidratación de la escoria granulada de alto horno, el agente catalizador es el ambiente alcalino generado durante la hidratación primaria. En forma similar a las puzolanas, durante la hidratación de esta adición mineral solamente se genera gel SCH por lo cual se espera mayor resistencia final y durabilidad:

Hidratación de la escoria: $C_3S_2 + H_2O \rightarrow \text{gel SCH}$ (3)

Las adiciones inactivas, no generan gel SCH aunque suelen tener una influencia positiva sobre la hidratación de las partículas de clinker y las propiedades del hormigón en estado fresco

Escoria granulada de alto horno

Es un subproducto de la fabricación del hierro y posee una composición química parecida al clinker portland. Cuando se la granula, mediante el enfriamiento violento con ayuda de agua inyectada a presión o combinando aire + agua, sus minerales componentes permanecen en un estado vítreo (no cristalino) que le confiere una hidraulicidad latente. No hay que confundir con la escoria enfriada al aire que, al ser enfriada en forma lenta, presenta un ordenamiento de cristales propio del estado sólido por lo cual no tiene propiedades hidráulicas y suele utilizarse como agregado o balasto.

Puzolanas

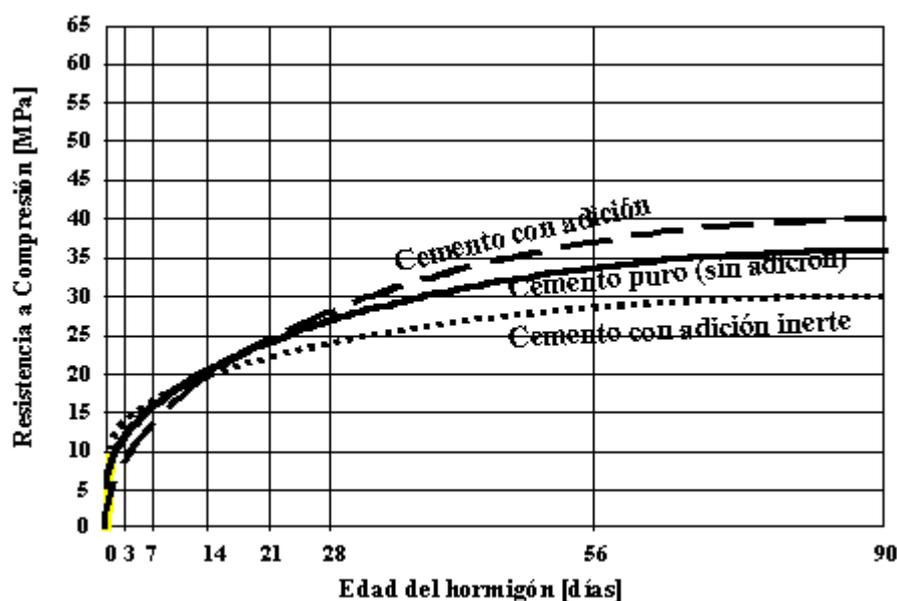
Son minerales naturales o artificiales en los que predominan la sílice amorfa y la alúmina. Para que pueda producirse la reacción puzolánica indicada anteriormente, es necesario que la sílice esté en estado amorfo. Las puzolanas naturales son rocas de origen volcánico (tobas y cenizas volcánicas) o de naturaleza orgánica de origen sedimentario (dolomitas). En nuestro país se utilizan mayoritariamente puzolanas naturales. En otros países, en función a las disponibilidades generadas por otras industrias se dispone de puzolanas artificiales entre las que se encuentran las arcillas activadas térmicamente, las cenizas volantes (fly ash) y humos de sílice (silica fume) también conocida como microsíllice debido al tamaño de partículas (entre 10 y 100 veces más pequeñas que las partículas de cemento).

Filler

Calcáreo

Es un mineral compuesto básicamente por carbonato de calcio que, dada su facilidad de molienda, se adiciona al cemento o se muele en forma conjunta con el clinker portland en molino de cemento y ejerce efectos beneficiosos sobre los morteros u hormigones en estado fresco. Adicionalmente, debido a su pequeño tamaño las partículas de filler calcáreo suelen mejorar la distribución granulométrica del cemento mejorando la resistencia temprana del hormigón.

En la figura siguiente se muestra el comportamiento aproximado que presentaría un hormigón elaborado con cemento portland "puro" y utilizando una dosificación similar reemplazando parte del cemento portland "puro" por adiciones minerales.



Influencia de las adiciones sobre el desarrollo de resistencia del hormigón.

Puede observarse que mientras las adiciones activas se hidratan a partir de las reacciones de hidratación del clinker portland, se obtienen desarrollos un tanto más lentos de resistencia aunque las resistencias finales son mayores debido a una hidratación más completa del material cementicio, en cambio, el uso de adiciones inactivas mejora la resistencia inicial de los hormigones aunque la resistencia final es menor debido a que se dispone de menor cantidad de partículas "hidratables".

No obstante, este esquema es indicativo y muestra tendencias, ya que los fabricantes de cemento Pórtland conocen el comportamiento de las adiciones que utilizan para elaborar sus cementos.

3.2. Yeso.

<http://dei.uca.edu.sv/mecanica/Facilitadores/PM%20Alfabetico2.htm> (marzo 2006)

El yeso es un material aglomerante aéreo; aglomerante porque tiene la capacidad de adherirse a otros, y aéreo porque se endurece en contacto con el aire, produciendo mezclas con poca resistencia al agua. En general, es el producto resultante de la deshidratación parcial o total del mineral "aljez", reducido a polvo. El aljez también es conocido como "piedra de yeso".

Las especificaciones generales para el yeso se encuentran en la ASTM C22. El cemento que se fabrica a partir del yeso se llama "cemento Keene's", cuya especificación se encuentra en la ASTM C61. Los morteros a base de yeso se encuentran normados por la ASTM C28. Los ensayos químicos y físicos realizados al yeso y productos de yeso se encuentran definidos en la ASTM C471 y ASTM C473 respectivamente.

El yeso no resiste los agentes atmosféricos por lo que su uso se limita a interiores. El agua es el principal agente atmosférico que lo deteriora.

El yeso se obtiene del mineral llamado "aljez" ($\text{SO}_4\text{Ca}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que se encuentra en terrenos donde hay rocas sedimentarias en cinco variedades naturales. El aljez en estado puro es de incoloro o blanco, pero con las impurezas debidas a la arcilla, óxido de hierro, sílice (óxido de silicio), y caliza en pequeñas proporciones toma un color amarillo, gris o rojizo. Generalmente la composición química del aljez es la siguiente: 46.51% de cloruro sódico (SO_3), 32.56% de óxido de calcio (CaO), y 20.96% de agua (H_2O).

Después de extraer el "aljez" o "piedra de yeso", se calienta en hornos giratorios y se pulveriza. El proceso de calcinación deshidrata el aljez, produciendo dos clases de yesos:

CLASIFICACION	DESCRIPCION
<p>YESOS SEMIHIDRATADOS (CASO4.1/2H2O)</p>	<p>Se llaman “yesos semihidratados” porque están compuestos principalmente por semihidrato. Resultan de la primera deshidratación al que es sometido el aljez en el proceso de calcinación, a un intervalo de temperatura de 128 a 180 °C, acompañada de una visible ebullición, en la cual se desprende una y media molécula de agua del mineral. Dependiendo del contenido del semihidrato se dividen en tres clases: yeso negro, yeso blanco, y escayola. A los yesos semihidratados se les conocen como: “yesos de fábrica” o “estucos”.</p>
<p>YESOS ANHIDROS (CASO4)</p>	<p>Se llaman “yesos anhidros” porque están compuestos principalmente por anhidrita. Resultan de la segunda deshidratación, que se lleva a cabo en un intervalo de temperatura de 180 a 1000 °C, en la cual se desprende la media molécula restante del mineral. De acuerdo con la temperatura creciente de deshidratación se subdividen en: anhidrita soluble, anhidrita insoluble, yeso hidráulico, y yeso alúmbrico. Ninguno contiene semihidrato.</p>

<http://www.arqhys.com/coglomerantes.html> (febrero 2006)

Sus aplicaciones son múltiples en la fabricación de morteros arquitectónicos, en la fabricación de piedras artificiales y prefabricados, en losetas para divisiones y cielos falsos, etc. Los yesos se clasifican en semihidratados y anhidros, siendo los primeros los más empleados en la construcción; los yesos negros y blancos pertenecen a este grupo. Mientras que a los anhidros pertenecen los yesos hidráulicos y alúmbricos.

- Yeso blanco: contiene un 80% de semihidratado, está bien molido y se emplea para acabados en paredes. La escayola es el yeso blanco de mayor calidad, obtenido de la piedra de yeso en espejuelo, contiene el 90% de semihidratado. Se emplea para vaciados, molduras y decoración.
- Yeso alúmbrico: Se obtiene sumergiendo la piedra de yeso durante 6 horas en una disolución a 12% de alumbre, a una temperatura de 35°C, se deja secar al aire, vuelve a calcinar al rojo oscuro y se muele finamente.

El yeso tiene definiciones totalmente distintas <http://es.wikipedia.org/wiki/Yeso> (marzo 2006):

- Mineral: Sulfato cálcico dihidratado (CaSO₄ 2H₂O), también conocido como "yeso natural", "piedra de yeso" o "aljez".
- Obra escultórica vaciada en yeso.
- Material industrial destinado a la construcción. Al yeso producido industrialmente, se le conoce como el sulfato cálcico hemihidratado (CaSO₄: 1/2H₂O), también

vulgarmente denominado "yeso cocido". Aunque generalmente a estos dos tipos de yeso, se les conoce por el mismo nombre genérico yeso.

El yeso mineral cristaliza en el sistema monoclinico:



Se presenta en cristales a veces grandes, maclados en punta de flecha y en punta de lanza; también en masas y agregados espáticos. Con frecuencia fácilmente exfoliable (selenita); sacaroideo y translúcido (alabastro). Incoloro, blanco, grisáceo, amarillento, rojizo o aun negro.

PROPIEDADES FISICAS, QUIMICAS Y ELECTRICAS	CARACTERÍSTICAS Y/O VALOR
<u>PESO ESPECIFICO</u>	<p>La deshidratación del aljez modifica los pesos específicos del yeso, así por ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • • Piedra de yeso: 2.28 a 2.32. • • Yeso semihidratado (negro, blanco, escayola): 2.75. • • Yeso anhidrita soluble: 2.80. • • Yeso hidráulico: 2.95 (a 25 °C).
<u>PUNTO DE EBULLICION</u>	1450 °C.
<u>FRAGUADO</u>	El yeso fragua lentamente, y el tiempo en que tarda varía de 1 a 4 horas.
<u>SOLUBILIDAD</u>	Es algo soluble en agua, variando con la temperatura: aumenta de 0 a 37 °C y disminuye de 37 a 100 °C. Así un litro de agua disuelve 1.76 g a 0 °C, 2.12 g a 37 °C y 1.62 g a 100 °C.
<u>CONDUCTIVIDAD TERMICA</u>	Produce buen aislamiento del calor.
<u>COMBUSTIBILIDAD</u>	Resistente al fuego, no se quema ni arde.
<u>CONDUCTIVIDAD ELECTRICA</u>	Produce buen aislamiento de la electricidad.
<u>AISLAMIENTO ACUSTICO</u>	Produce buen aislamiento del sonido.
<u>ADHERENCIA</u>	Tiene buena adherencia a ladrillos de arcilla , poca a la piedra y casi nada a la madera .
PROPIEDADES MECÁNICA	CARACTERÍSTICAS Y/O VALOR
<u>RESISTENCIA A LA COMPRESION</u>	Depende de la clase de yeso y del agua de amasado que contenga. Cuanto más agua de amasado contenga, la resistencia a la compresión disminuye. Su valor máximo alcanza los 110 kg/cm ² (1500 lb/pulg ²).
<u>RESISTENCIA A LA TENSION</u>	Depende de la clase de yeso y del agua de amasado que contenga. Cuanto más agua de amasado contenga, la resistencia a la tensión disminuye. Su valor máximo alcanza los 30 kg/cm ² (400 lb/pulg ²).
<u>DUREZA</u>	Su valor es de 2 en la escala Mohs

3.3. Cal.

<http://www.arqhys.com/coglomerantes.html> (febrero 2006)

Desde el punto de su empleo en construcción, las cales se clasifican en:

- Cal dolomítica. se la denomina también cal gris o cal magra. Es una cal aérea con un contenido de óxido de magnesio superior al 5%. Al apagarla, forma una pasta gris, poco trabada, que no reúne unas condiciones satisfactorias para ser utilizada en construcción.
- Cal grasa: es la cal aérea que contiene, como máximo, un 5% de óxido magnésico. Después de apagada da una pasta fina, trabada, blanda y untuosa.
- Cal hidráulica: es el material conglomerante, pulverulento y parcialmente apagado, que además de fragua y endurecer en el aire, lo hace debajo del agua. Se obtiene calcinando rocas calizas a una elevada temperatura para que se forme el óxido cálcico libre necesario para permitir su apagado y, al mismo tiempo, deje cierta cantidad de silicatos de cálcicos anhídros, que proporcionan al polvo sus propiedades hidráulicas. Cuando el contenido del óxido magnésico no es mayor del 5% se denomina cal hidráulica de bajo contenido de magnesio y, si es mayor del 5%, cal hidráulica de alto contenido de magnesio o cal hidráulica dolomítica

Fórmula química:



<http://www.textoscientificos.com/quimica/cales> (marzo 2006)

El carbonato de calcio (CaCO₃) es el compuesto de calcio más abundante en la naturaleza. Se lo encuentra formando varios minerales: calcita, dragonita y espato de Islandia. El mármol es una roca que contiene como componente principal carbonato de calcio y lo mismo sucede con la piedra caliza. Esta última es la materia prima con la cual se prepara la cal viva. Para obtener ésta, se calcina la piedra caliza, con lo cual el CaCO₃ que contiene, se transforma en CaO, desprendiendo CO₂.



Se forma óxido de calcio cuando el carbonato de calcio se quema en el aire. En gran escala se produce calentando caliza en grandes hornos de cal llamados también caleras:



La reacción es reversible, como indica la ecuación anterior. Se alcanza el equilibrio cuando en contacto con la caliza y la cal existe una determinada concentración o presión parcial de CO₂. La presión de equilibrio se llama presión de descomposición del carbonato de calcio. Si a cualquier temperatura la presión parcial del CO₂ es inferior a la del equilibrio, se descompondrá la caliza para incrementar dicha presión al valor de equilibrio. En cambio, si la presión parcial es superior a la del equilibrio, la cal se combinará con el dióxido de carbono para formar el carbonato, y la presión

descenderá al valor del equilibrio. Los valores de equilibrio para la presión del dióxido de carbono (en mm. de Hg) a diversas temperaturas son:

Temperatura en °C.	500	600	700	800	900	1000
Presión (mm. de Hg)	0,11	2,35	25,3	168	773	2710

En la fabricación de la cal, la presión parcial del dióxido de carbono se mantiene inferior a la del equilibrio insuflando a través del horno una corriente de aire que arrastra el CO₂ y mantiene una atmósfera pobre en este gas. En torno a la base del horno se disponen hogares tipo horno holandés, para someter toda la carga de caliza al calor de los productos de combustión; pero sin ponerse en contacto con el combustible ardiendo. Se evita elevar mucho la temperatura en el horno para que la arena de la caliza no se combine con la cal, formando escoria. La cal producida a temperatura excesiva se llama cal muerta (cal quemada) y se apaga muy lentamente.

La cal se usa para preparar cementos y morteros, en la fabricación de polvos de gas; en la industria del curtido, para depilar las pellejas; así para depurar aguas duras, y en agricultura para neutralizar suelos ácidos.

Cal apagada.

La cal reacciona con el agua, desprendiendo mucho calor. El producto de la reacción es el hidróxido cálcico, Ca(OH)₂, y se llama cal apagada.



La cal viva obtenida de caliza pura, se conoce por cal grasa, y se apaga fácilmente. La procedente de caliza con arcilla o con carbonato de magnesio se llama cal magra, se apaga lentamente (a veces no del todo), y cuando se usa para mortero, éste, tarda en fraguar y tiene menor resistencia mecánica. Sin embargo, se trabaja más suavemente con la paleta, y por eso se usa en las operaciones de acabado.

La cal expuesta al aire absorbe lentamente dióxido de carbono y agua. Este material se llama cal aérea.

El mortero se obtiene al mezclar cal apagada con arena y agua formando una masa pastosa. Expuesto al aire, fragua despacio, y al endurecerse forma un material poroso por pérdida de agua y absorción de dióxido de carbono.

El hidróxido de calcio es poco soluble en agua, disminuyendo la solubilidad al aumentar la temperatura. La disolución se llama agua de cal. Una suspensión de hidróxido en agua se llama lechada de cal, que se usa a veces para blanquear. El hidróxido de calcio es la más barata de todas las bases.

Fraguado.

El fraguado de la cal se debe a un proceso de secado, que se produce por absorción del dióxido de carbono del aire para formar carbonato de calcio.

Cal grasa.

Proviene de la calcinación de las piedra calizas de elevada pureza. estas cales contienen más del 95 % de CaO y al calentarse, éste último, por encima de los 1000°C y posteriormente adicionando agua se produce una cal apagada que libera gran cantidad de calor.

Cal aérea.

Es la cal que endurece al aire. El proceso no produce agua, ya que se dispersa. Se emplea en la construcción, mezclada con arena, con el objeto de incorporar porosidad a la mezcla facilitando la incorporación de dióxido de carbono del aire.

Cal magra o árida.

Proviene de calizas magnesianas (dolomitas) y pueden contener hasta un 50 % de MgO pero sólo un 10 % de óxido es suficiente para lograr una cal árida.

De acuerdo al origen de las calizas pueden también contener arcilla.

Se caracteriza porque al tratarlas con agua lo hacen menos fácilmente que las cales grasas y la temperatura que se obtiene por apagado.

Cales hidráulicas.

Proviene de la calcinación de calizas, y contienen de un 5 a un 22 % de arcilla. En el apagado de la cal hidráulica se hidrata la cal libre y no los silicatos o aluminatos de calcio. Si se produce la hidratación de estos compuestos el material resultante no tendrá propiedades hidráulicas y en ese caso se llamarían cales ahogadas.

Índice de hidraulicidad.

Es el cociente entre la suma de los porcentajes de las sustancias hidraulizantes, es decir, la sílice, la alúmina, el óxido férrico y la suma de los porcentajes de los óxidos de calcio, magnesio, sodio y potasio. De acuerdo al origen de las calizas pueden despreciarse los contenidos de los óxidos alcalinos. Si se desea expresar la inversa del índice de hidraulicidad, se lo puede hacer mediante la expresión del módulo de hidraulicidad.

3.4. Asfalto

El **asfalto** es un material viscoso, pegajoso y de color negro, usado como [aglomerante](#) en [mezclas asfálticas](#) para construcción de [carreteras](#) o [autopistas](#). También es utilizado en impermeabilizantes. Está presente en el crudo de [petróleo](#), y compuesto casi por completo de [bitumen](#). (<http://es.wikipedia.org/wiki/Asfalto>, marzo 2006)

<http://dei.uca.edu.sv/mecanica/Facilitadores/PM%20Alfabetico2.htm> (marzo 2006):

La norma ASTM D8 define los asfaltos como: "Materiales aglomerantes sólidos o semisólidos de color que varía de negro a pardo oscuro y que se licuan gradualmente al calentarse, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la naturaleza

en forma sólida o semisólida o se obtienen de la destilación del petróleo crudo; o combinaciones de éstos entre sí o con productos derivados de estas combinaciones".

Es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero, es una sustancia plástica que ofrece flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que usualmente se combina.

ORIGEN

Comenzó a usarse por el hombre aproximadamente 3800 años antes de Cristo. Fueron empleados como cementos para mantener juntas las piedras de mampostería y como impermeabilizantes en piscinas y baños, también, al ser mezclado con arena, se usaron para pavimentar calles y pisos de palacios.

Los egipcios lo usaron como proceso de momificación y material de construcción. Los griegos y los romanos también el asfalto ardiente como arma militar.

El asfalto natural se origina a partir de

TIPO DE DEPOSITO	DESCRIPCION
DEPOSITOS SUPERFICIALES DE ASFALTOS	El petróleo crudo sube a la superficie terrestre y forma charcos.
ROCAS ASFALTICAS	Asfalto impregnado en roca porosa, además existe una forma llamada gilsonite que es el asfalto relativamente puro, duro y quebradizo que puede extraerse económicamente de la tierra para fines comerciales.

CLASIFICACION	DESCRIPCION
ASFALTOS REBAJADOS O BETUNES FLUIDIFICANTES	El asfalto rebajado se produce disolviendo el betún en un solvente. Los solventes se llaman a veces destilados diluentes. El solvente se evapora después de completarse la construcción, dejando al cemento asfáltico para que lleve su función.
BETUNES DE DESTILACION O CEMENTOS ASFALTICOS	Son ligantes básicos en la construcción de pavimentos flexibles. Es el último residuo de la destilación del petróleo, a temperatura ambiente son sólidos o semisólidos de color café oscuro. Para mezclarse con materiales pétreos, debe calentarse a 140 °C.
EMULSIONES ASFALTICAS	Sistema de dos líquidos inmiscibles en el que uno se dispersa en el otro en forma de gotas diminutas, la primera fase se llama dispersa y la segunda continua. La emulsión asfáltica es una emulsión de betún asfáltico en agua que contiene pequeñas cantidades de agentes emulsificantes; es un sistema heterogéneo que contiene dos fases normalmente inmiscibles (asfalto y agua).

<http://www.arqhys.com/arquitectura/asfalto-composicion.html> (marzo 2006):

Composición Química y Física. antes que el intercambio de petróleo rudo, en el mercado, fuera algo corriente; las refinerías rara vez cambiaban sus fuentes de abastecimiento de crudo. Esto llevo a que las fuentes de asfalto tuvieran, también, propiedades consistentes. Al integrarse el cambio del abastecimiento de crudo de las

refinerías se crearon más variaciones en las propiedades del asfalto, tanto físicas como químicas

De estas variaciones, salió la necesidad de poderse evaluar el comportamiento del asfalto ante condiciones particulares y predecir su rendimiento en términos de conocidas formas de esfuerzo. Aún así, algunas propiedades físicas y químicas siguen siendo constantes en todos los tipos de asfaltos.

Propiedades físicas: el asfalto es un material aglomerante, resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero; capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de calor o cargas permanentes. Componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución y que se obtiene como residuo de la destilación al vacío del crudo pesado. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se le combina usualmente. Su color varía entre el café oscuro y el negro; de consistencia sólida, semisólida o líquida, dependiendo de la temperatura a la que se exponga o por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

Composición química: es de mucha utilidad un amplio conocimiento de la constitución y composición química de los asfaltos, para el control de sus propiedades físicas y así obtener un mejor funcionamiento en la pavimentación. Al igual que el petróleo crudo, el asfalto, es una mezcla de numerosos hidrocarburos parafínicos, aromáticos y compuestos heterocíclicos que contienen azufre, nitrógeno y oxígeno; casi en su totalidad solubles en sulfuro de carbono. La mayoría de los hidrocarburos livianos se eliminan durante el proceso de refinación, quedando los más pesados y de moléculas complejas. Al eliminar los hidrocarburos más ligeros de un crudo, los más pesados no pueden mantenerse en disolución y se van uniendo por absorción a las partículas coloidales ya existentes, aumentando su volumen dependiendo de la destilación que se les dé. Las moléculas más livianas constituyen el medio dispersante o fase continua. Los hidrocarburos constituyentes del asfalto forman una solución coloidal en la que un grupo de moléculas de los hidrocarburos más pesados (asfáltenos) están rodeados por moléculas de hidrocarburos más ligeros (resinas), sin que exista una separación entre ellas, sino una transición, finalmente, ocupando el espacio restante los aceites. Un concepto más amplio sobre la constitución es que el asfalto consta de tres componentes mayoritarios. El primero se describe como una mezcla de asfáltenos que son moléculas complejas de alto peso molecular, insoluble en hidrocarburos parafínicos y soluble en compuestos aromáticos como el benceno. El segundo componente descrito es una mezcla de resinas y el tercero aceite mineral. Estos tres constituyen un sistema coloidal como el explicado anteriormente. Los asfáltenos cargan con la responsabilidad de las características estructurales y de dureza de los asfaltos, las resinas le proporcionan sus propiedades aglutinantes y los aceites la consistencia adecuada para hacerlos trabajables. Los asfaltos contienen fracciones bituminosas insolubles en parafinas. Como ya se dijo, cerca del 90 al 95% del peso del asfalto esta compuesto por carbono e hidrógeno, o lo que se había denominado como hidrocarburos