

2. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

2.1 LA CAL

Los materiales ligantes son aquellos materiales que por medio de una transformación física, química o físico-química son capaces de unir entre sí otros materiales. Se clasifican en 2 grandes grupos:

Aglomerantes: Son aquellos ligantes que para unir otros materiales sufren una reacción física bien sea la evaporación de disolventes, de agua, enfriamiento, etc. Algunos de estos materiales son: el barro, asfalto, betún, brea, resinas, pegamentos, silicona, plásticos y pinturas.

Conglomerantes: para unir materiales sufren una reacción química llamada fraguado. Se subdividen en:

Aéreos: si sólo fraguan en el aire. A este grupo pertenecen la cal aérea y el yeso

Hidráulicos: fraguan en el aire y en el agua. En este grupo se incluyen la cal hidráulica y el cemento

TIPOS DE CALES

La cal es uno de los materiales de construcción más antiguos ya que la más remota utilización de la cal de que se tiene noticia cierta es de unos 4000 años antes de Jesucristo en el revestimiento de las pirámides de Egipto. Se sabe que en la Muralla China se empleó ampliamente el mortero de cal. Conoció el pueblo romano con más perfección el proceso de fabricación. Vitrubio estableció especificaciones para el uso de la cal en morteros, en enlucidos y en carreteras, en base a las cuales se construyó la Vía Apia. La mayor contribución de los romanos a la tecnología de la cal fue la adición a la cal viva de cenizas volcánicas ricas en sílice, con lo cual se obtenía un material que fraguaba bajo el agua a diferencia de la cal viva sin ninguna adición, que no fraguaba más que al aire.

Durante siglos se ha considerado como caliza impura, inadecuada para la fabricación de cal, la que contenía arcilla, hasta que en el siglo XVIII, en Inglaterra, se comprobó que con esta caliza se obtenía una cal de mayor calidad. Vicat, en la segunda década del siglo XIX, definió la teoría de la hidraulicidad afirmando que, cuando la caliza contiene una cierta proporción de arcilla íntimamente mezclada, da lugar, por cocción, a una cal hidráulica. Incluso llegó a fabricar una cal hidráulica artificial mezclando la arcilla y la caliza y cociendo después dicha mezcla. Por modificaciones y mejoras sucesivas del experimento de Vicat, se llegó al cemento Portland. Este destronó a la cal hidráulica, adquiriendo rápidamente la hegemonía que hoy tiene en el campo de los conglomerantes.

Se llama **cal** a todo producto, sea cual fuere su composición y aspecto físico, que proceda de la calcinación de piedras calizas. Como consecuencia de las variaciones de composición de la roca de partida pueden obtenerse una serie de cales, que varían desde las cales muy puras; altamente cálcicas, hasta altamente hidráulicas, con contenidos de óxido de calcio de un 50% y aún menos. Así obtenemos dos tipos fundamentales de cales:

Cales aéreas: Cales que se componen principalmente de óxido e hidróxido de calcio y magnesio, los cuales endurecen lentamente al aire por la acción del CO_2 de la atmósfera. No presentan propiedades hidráulicas, es decir, no endurecen con el agua y se obtienen a partir de rocas calizas con contenidos en carbonatos superiores al 95%.

Cuando a una caliza más o menos pura la sometemos a una cocción ($900-1000^\circ\text{C}$) se verifica la siguiente reacción $\text{CO}_3\text{Ca} + \text{calor} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CaO}$

El carbonato cálcico CO_3Ca se descompone, dando anhídrido carbónico CO_2 , que es gaseoso y se desprende junto con los humos del combustible, y óxido de calcio CaO

Denominándose al CaO **cal viva**, cuando se presenta en terrones, recibe el nombre de **cal en terrones**. La cal viva es un producto inestable, por tener gran avidez para el agua, con la que reacciona de la siguiente manera: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2 + 15.100 \text{ calorías}$

Produciéndose hidróxido cálcico $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o **cal apagada**, desprendiéndose calor, elevándose la temperatura a unos 160°C ., pulverizándose y aumentando considerablemente de volumen aparente. Esta avidez para el agua es tan grande que absorbe el vapor de agua de la atmósfera y la de las sustancias orgánicas, produciendo efectos cáusticos. Cuando el agua añadida ha sido la indispensable para formar el hidróxido se denomina **cal en polvo** siendo un producto polvoriento. Si una vez formada la cal en polvo se sigue añadiendo agua se forma **cal en pasta**

La **cal apagada o hidratada** en pasta tiene la propiedad de endurecerse lentamente en el aire, enlazando los cuerpos sólidos, por lo cual se emplea como aglomerante. Este endurecimiento recibe el nombre de fraguado, y es debido primeramente a una desecación por evaporación del agua con la que se formó la pasta, y después, a una recarbonatación por absorción del anhídrido carbónico del aire: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CO}_3\text{Ca} + \text{H}_2\text{O}$, formándose carbonato cálcico y agua, reconstituyendo la caliza de que se partió

Esta reacción es muy lenta, pues empieza a las veinticuatro horas de amasar la pasta y termina al cabo de los seis meses, por lo que las obras en que se emplea tarda mucho en secarse y adquirir la solidez definitiva. Se verifica sólo en aire seco; en el húmedo, con mucha dificultad, y no se realiza dentro del agua, pues la disuelve, no sirviendo para obras hidráulicas. Por otro lado, al fraguar experimenta una contracción o disminución de volumen, que unida a la que experimenta por el peso propio de la obra, produce asentamientos y grietas.

Las calizas naturales casi nunca son la especie química carbonato de calcio, pues le acompañan otros cuerpos como la arcilla, magnesia, hierro, azufre, álcalis y materias orgánicas, las cuales al calcinarse, de no volatilizarse, comunican a la cal propiedades que dependen de la proporción en que entran a formar parte en la piedra caliza y se clasifican en cales grasas, magras e hidráulicas.

Cal grasa: Si la caliza primitiva contiene como máximo un 5% de óxido de magnesio, la cal que se produce al calcinarse se le denomina cal grasa y al apagarse da una pasta fina trabada y untuosa, blanca, que aumenta mucho de volumen, permaneciendo indefinidamente blanda en sitios húmedos y fuera del contacto del aire, y en el agua termina por disolverse.

Cales magra: son las que proceden de calizas que contienen más de un 5% de óxido de magnesio. Al añadirles agua forman una pasta gris poco trabada, que se entumece menos y desprende más calor que las cales grasas. Al secarse en el aire se reducen a polvo, y en el agua se deslíen y disuelven. Por estas malas cualidades no se usan en construcción.

Cal hidráulica: Material conglomerante, pulverulento e hidratado que se obtiene calcinando calizas que contienen arcillas (sílice y alumina), a una temperatura casi de fusión, para que se forme el óxido cálcico libre necesario para permitir su hidratación y, al mismo tiempo, deje cierta cantidad de silicatos de calcio deshidratados que den al polvo sus propiedades hidráulicas. Las cales hidráulicas, después de amasadas con agua, se endurecen en aire, y también en el agua, siendo ésta última propiedad la que las caracteriza.

Según las normas españolas las cales se **clasifican** en:

Cal aérea tipo I: Se emplean en revocos (enfoscados), blanqueos y morteros en general

Cal aérea tipo II: Se emplea en trabajos toscos, en morteros para sentar fábricas y para fábricas de ladrillos silico-calcáreos

	CaO+MgO (mínimo)	Co ₂ (mínimo)
TIPO I	90 %	5%
TIPO II	60%	5%

Las cales hidráulicas se clasifican en 3 tipos:

	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O (mínimo)	CO ₂ máximo
Cal hidráulica I	20%	5%
Cal hidráulica II	15%	5%
Cal hidráulica III	10%	5%

SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O = silicatos, aluminatos y ferritos

Las cales a emplear en la estabilización de suelos vienen definidas por la Norma UNE-EN 459-1 "*Cales para la construcción. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad*". Se trata de Norma armonizada para las Cales para la Construcción, incluyendo, por supuesto, las obras de ingeniería civil. Para la estabilización de suelos, se emplean las cales aéreas.

Según esta norma, estas presentan las siguientes formas:

Cales clase Q: Cales aéreas viva constituidas principalmente por óxido de calcio (CaO) y de magnesio (MgO), producidos por la calcinación de caliza. Dentro de este tipo se encuentran la CL 90-Q y la CL 80-

Q. Donde el número 90 indica un 90% mínimo de $\text{CaO} + \text{MgO}$ y $<5\%$ de MgO y el número 80 indica 80% mínimo de $\text{CaO} + \text{MgO}$ y $<5\%$ de MgO

Cales clase S: Cales aéreas apagadas o hidratadas, resultantes del apagado controlado de las cales vivas. Están compuestas principalmente por hidróxido de calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$. Dentro de este tipo se encuentran la CL 90-S y la CL 80-S

En España, se matiza la aplicación de cales en ingeniería civil con los requisitos suplementarios marcados por las Normas UNE 80 502 "*Cales vivas o hidratadas utilizadas en la mejora y/o estabilización de suelos*" y el Art.200 "*Cales para estabilización de suelos*" del PG-3. Por otro lado, deberá tenerse en cuenta también la "*Instrucción para la recepción de cales en obras de estabilización de suelos (RCA-92)*".



PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA CAL

El proceso de fabricación de las cales consiste en las siguientes etapas:

1º Elección de materias primas

Dentro de los distintos tipos de piedras calizas

2º Explotación de canteras

Sondeos, explotaciones en galería o a cielo abierto, Arranque mediante explosivos, etc

3º Trituración previa

En general el material obtenido en cantera varía enormemente: desde granos de 1 mm. hasta fragmentos de 30-40 cms. Antes de pasarlo al horno se requiere un machaqueo previo, el cual puede ser seguido o no de una molienda, según el tipo de horno que se disponga.

4º Calcinación

La temperatura más corriente de cocción de la cal aérea es de 900-1000°C. La temperatura más corriente de cocción de la cal hidráulica es del orden de 1200°C. Se utilizan distintos tipos de hornos intermitentes (rudimentarios y de cuba) y continuos (verticales y rotatorios)

5º Apagado de la cal

Sistemas de apagado:

- Al aire
- Por aspersión
- Por fusión
- En autoclaves
- Hidratadores mecánicos

La **velocidad de hidratación** depende de los siguientes factores:

- De la composición química de la cal viva
- De las cantidades físicas de la cal viva
- De la temperatura de cocción de la caliza

6º Cribado, almacenaje y expedición

La cal viva no puede almacenarse durante mucho tiempo porque se apaga fácilmente al aire. Se envasa en sacos o recipientes lo más impermeables y herméticos posible. Las cales hidráulicas se someten a cernido tras el apagado, suele venderse en terrones, aunque algunas veces se suministra molida a la finura deseada por el cliente. La cal hidratada puede suministrarse en polvo o en pasta, con las mismas precauciones que se ha citado antes, para evitar su carbonatación, requiere varias precauciones para su conservación. Debe conservarse en almacenes muy secos y sin contacto alguno con el aire. Es frecuente su envasado en sacos de papel.

PROPIEDADES DE LAS CALES

Hidraulicidad

Es la relación entre los silicatos y aluminatos respecto al óxido de calcio

Índice de hidraulicidad= $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ [arcilla]} / \text{CaO} + \text{MgO [caliza]})$. (tantos por ciento, peso, de los distintos componentes, antes de la cocción).

De menor a mayor índice de hidraulicidad:

- Cal aérea
- Cal débilmente hidráulica
- Cal medianamente hidráulica
- Cal hidráulica normal
- Cal eminentemente hidráulica

Densidad

La densidad real de la cal aérea es del orden de 2,25 kg/dm³. Para las cales hidráulicas oscila entre 2,5 y 3,0 kg/dm³. La densidad de conjunto de las cales puede estimarse en torno al 0,4 kg/dm³. para las cales aéreas y de 0,5 a 0,9 kg/dm³. para las hidráulicas

Fraguado

El fraguado de la cal es un proceso químico; consiste en la evaporación del exceso de agua empleado en amasar la pasta, seguido de una sustitución del agua por el CO₂ de la atmósfera, pasando de nuevo del hidróxido al carbonato cálcico. Como el anhídrido carbónico seco no reaccionaría con el hidróxido cálcico seco, es necesario que exista algo de humedad presente. El tiempo de fraguado de las cales aéreas no se especifica en las normas españolas, pero puede afirmarse que se trata de un conglomerante de fraguado lento. En las cales hidráulicas no solo se produce la carbonatación del hidróxido cálcico sino también la hidratación de los silicatos y aluminatos presentes. El fraguado de cualquier tipo de cal hidráulica no debe comenzar antes de 2 horas ni terminar después de 48 horas.

APLICACIONES DE LA CAL

Tiene un amplio campo de utilización en muchos ámbitos, los más importantes en construcción son el darle trabajabilidad a los morteros y para el esgrafiado, nos centraremos en los usos de la cal en la construcción

Morteros

Unión de agua+ conglomerante +árido fino

El mortero está destinado a unir una serie de elementos pequeños (piedras o ladrillos) para constituir una unidad de obra con características propias. Durante la evaporación del agua de una pasta de cal, se produce una contracción elevada que fácilmente da lugar a grietas. Esta retracción puede reducirse mediante la adición de arena a la pasta, es decir, no utilizando pasta de cal sino morteros de cal. Si se añade poca arena la retracción será alta; si se añade mucha arena bajarán la plasticidad y la resistencia

Revocos y Enfoscados

Se denomina revoco al revestimiento exterior de mortero de agua, arena y cal o cemento, que se aplica, en una o más capas, a un paramento enfoscado previamente. El enfoscado es una capa de mortero empleada para revestir una pared o un muro. En los enfoscados se utiliza mortero de cemento, aunque ocasionalmente se puede añadir también algo de cal. El enlucido es una de las últimas unidades de obra que se realizan, por lo que no interesa que su fraguado sea lento, pues retrasaría el uso de la obra.

Recubrimientos / Blanqueos

La cal se usa para blanquear como pintura al temple

Estabilización de suelos en carreteras

Fabricación de Ladrillos silico-calcareos

Son ladrillos constituidos por cal y arena, donde sus componentes se mezclan íntimamente con una cantidad precisa de agua, se moldean por prensado y se someten a un tratamiento de vapor de agua a presión

2.2 EL YESO

TIPOS DE YESOS

El yeso ha sido conocido y utilizado desde la más remota antigüedad, principalmente en países de clima seco. Su origen puede ser Oriente Medio. También los egipcios utilizaron el yeso con gran profusión como muestra la pirámide de Keops después Grecia y Roma y más tarde al pueblo árabe. El yeso es protagonista de la decoración en la España bajo dominio de los árabes como se puede observar en la Alhambra de Granada o el Alcázar de Sevilla. Su fabricación, hasta bien entrado el siglo 20, resultaba costosa, actualmente se han mejorado los sistemas de fabricación.

La **pedra de yeso o aljez** se encuentra en la naturaleza y está compuesta por sulfato cálcico dihidrato $\text{SO}_4\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{O}$

Esta roca es la única materia prima para la fabricación del yeso. Éste se obtiene por deshidratación parcial de dicha roca que, sometida a temperatura no mayor de 170°C , pierde molécula y media de agua, formándose el sulfato cálcico hemihidrato $\text{SO}_4\text{Ca} + 1/2\text{H}_2\text{O}$. Se obtiene así el **yeso cocido o deshidratado**, el cual, amasado con agua, una vez pulverizado, se rehidrata formando de nuevo el **dihidrato**. Al amasar el yeso con agua en debida proporción se obtiene una pasta más o menos trabada y untuosa que se endurece rápidamente, a este endurecimiento se le conoce como fraguado. Si la temperatura es mayor que 170°C , el dihidrato llega a perder toda el agua de cristalización obteniéndose la **anhidrita soluble** SO_4Ca , que es muy inestable y que pasa fácilmente a hemihidrato al absorber el agua atmosférica.

Si la temperatura es aún mayor se forma otro tipo de anhidrita: la **anhidrita insoluble**, que es estable y que no fragua si no se añaden determinados acelerantes o catalizadores a la reacción. Si la temperatura es aún mayor, se forman los yesos hidráulicos. La anhidrita insoluble se encuentra en la naturaleza, pero en mucha menos cantidad que el aljez..



Afloramiento de Aljez

Se pueden clasificar los yesos dependiendo de diferentes criterios:

Clasificación según las condiciones de cocción

A medida que la temperatura de cocción va aumentando se van obteniendo productos diferentes que, si bien es verdad que todos son sulfato cálcico, sus propiedades y, por tanto, sus usos, son distintos

Hemihidrato- α

- De 120-170°C
- Se obtiene en autoclave
- Para su formación es indispensable que se produzca una atmósfera saturada de vapor de agua
- Es más compacto que el beta
- Tiene mayor compactidad y mejores características constructivas y resistentes, así como mayor resistencia a tracción y compresión que los yesos β
- Necesita un tiempo de fraguado menos que otros yesos
- Tiene multitud de cristales muy finos y presenta un aspecto sedoso brillante

Hemihidrato- β

- Aspecto terroso
- Mayor solubilidad y, por tanto, menos estable
- Mayor contenido energético y tiempo de fraguado, con un aspecto terroso y no cristalino
- Mayor tiempo de fraguado
- Fabricación en calderas

Clasificación según la normativa (pliego RY-85, derogado por Real Decreto 1371/2007)

Yeso grueso de construcción (YG)

Procede del aljez impuro. Esta fabricado en hornos de baja calidad, por lo que contiene cenizas y restos de la combustión. Contiene, al menos, un 75% de Hemihidrato. Constituido por: Sulfato cálcico hemihidratado y Anhidrita II artificial (obtenida por cocción de aljez entre 300-600°C) y con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado. Antiguamente este yeso se llamaba negro, moreno o

tosco. Suele emplearse para pasta de agarre en la ejecución de tabicados, en revestimientos interiores y como conglomerante auxiliar en obra.

Yeso fino de construcción (YF)

Procede del aljez más puro. Está fabricado en hornos de alta calidad y no contiene restos de los productos de la combustión. Tiene una granulometría más fina que el yeso grueso, con al menos un 80% de hemihidrato. Está constituido fundamentalmente por sulfato cálcico hemihidrato y anhidrita II artificial, de granulometría más fina que el anterior, con la posible adición de aditivos reguladores del fraguado. Suele emplearse en enlucidos, refinos o blanqueo sobre revestimientos interiores (guarnecido o enfoscados). Antes, este yeso se llamaba blanco.

Yeso Prefabricado (YP)

Está constituido fundamentalmente por sulfato cálcico hemihidrato y anhidrita II artificial, con una mayor pureza y resistencia que los yesos de construcción (YG y YF). Suele emplearse para la ejecución de elementos prefabricados para tabiques.

Escayola

Procede del aljez más puro. No presenta restos de los productos de la combustión, y tiene un molido final de mayor finura. Se emplea en molduras, decoración de interiores, techos, tabiques prefabricados y otras industrias. La Normativa las clasifica en dos tipos, indicando su resistencia mínima a flexotracción en Kp/cm^2

-E-30: Está constituida fundamentalmente por sulfato cálcico hemihidrato con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado y con una resistencia mínima a flexotracción de 30 kp/cm^2 . Suele emplearse en la ejecución de elementos prefabricados para tabiques y techos.

-E-35: Es la escayola especial. Está constituida fundamentalmente por sulfato cálcico hemihidrato con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado, con mayor pureza que la escayola E-30 y con una resistencia mínima a flexotracción de 35 kp/cm^2 . Suele emplearse en trabajos de decoración, en la ejecución de elementos prefabricados para techos y en la puesta en obra de estos elementos.

En los tipos que se acaban de definir, excepto en el YP, además de la clase normal existe una clase lenta, denominada así en función de los períodos de trabajabilidad. En la designación se añadirá una L, separada por una barra. YG/L ; YF/L ; E-30/L ; E-35/L

PROCESO DE FABRICACIÓN DEL YESO

1º Obtención Materia Primas

El sulfato cálcico dihidrato abunda mucho en la naturaleza, en España. Es una roca blanca cuando no está contaminada por impurezas y, en general, presenta colores claros.

2º Explotación en Canteras

Como el yeso es un material muy barato, también lo han de ser todas las operaciones que comprende su fabricación. Así pues, es casi obligado que la piedra de yeso aflore a la superficie para que se pueda explotar a cielo abierto. El tipo de explotación depende de las características particulares de cada una: Arranque manual, a máquina, con explosivos, etc., en función del volumen de fabricación. Según el sistema de deshidratación que se vaya a seguir, puede variar el grado de trituración de la roca cruda. Según las dimensiones que se hayan de obtener se utilizan:

- Machacadoras: hasta dimensiones de 2 a 3 cm
- Molinos de martillo: material más fino
- Trituradoras de martillo: factores de reducción muy elevados de hasta 20

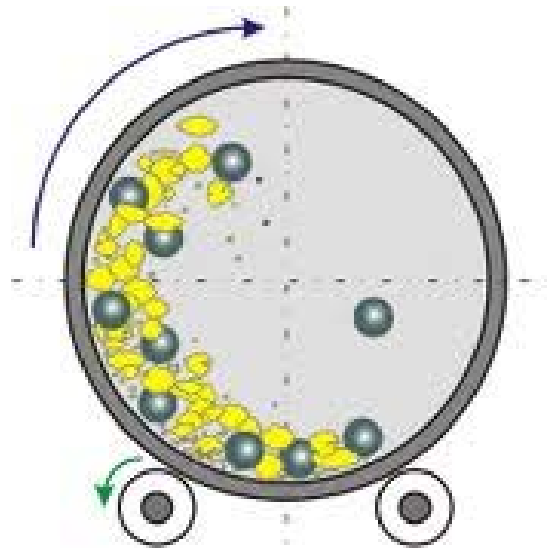
3º Deshidratación, Calcinación o Cocción

El objeto de la cocción es la obtención del hemihidrato del sulfato cálcico o bien de las formas anhidras del mismo. Los productos obtenidos fraguan por adición de agua, regenerando el dihidrato, debiendo el yeso a este fenómeno su carácter de conglomerante. Los hornos utilizados para la cocción del yeso se dividen en dos grandes grupos según que el yeso esté en contacto directo con los gases de combustión pudiendo ser: hornos fijos (de tipo rudimentario de cuba, de colmena), hornos rotatorios y de parrilla móvil. Sin contacto directo con los gases de combustión: hornos fijos (de panadero, autoclaves, calderas) y hornos rotatorios.

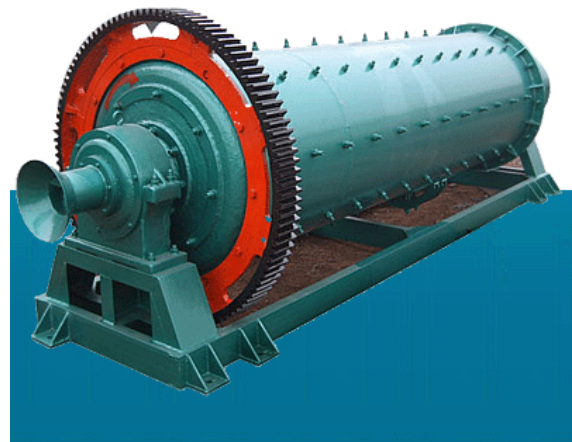
4º Molienda, Almacenamiento y Ensacado

La molienda después de la cocción, suele hacerse con molino de martillos o de bolas, si interesa obtener mucha finura en el producto terminado. Aunque el sistema de deshidratación requiera la molienda previa del material, generalmente hay que hacer, después de la calcinación, una molienda de refino. El yeso molido suele almacenarse en silos cerrados y aislados de la humedad, con objeto de evitar la hidratación.

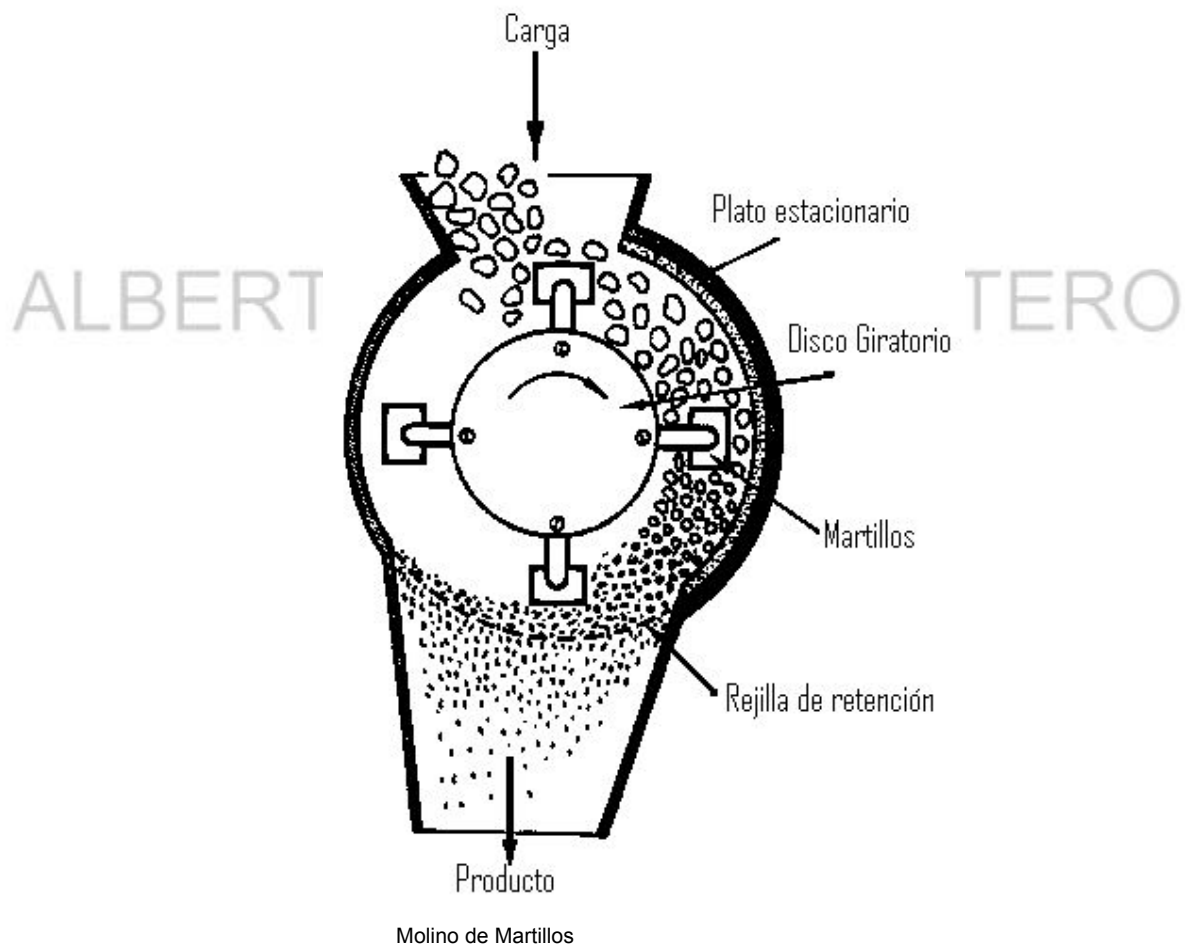
A veces es conveniente e incluso necesario realizar una homogeneización de distintas partidas de yeso, fabricadas en distintas fechas o en distintos hornos, lo cual se lleva a cabo mediante sistemas mecánicos o neumáticos. El ensilado del yeso da lugar a su estabilización con la consiguiente mejora de la calidad. En la mayor parte de las fábricas modernas se utilizan máquinas ensacadoras automáticas, las cuales llenan sacos de papel de cierre también automático. Se ha comprobado que el yeso se conserva bastante mejor en sacos de papel que en sacos de yute, en los que la permeabilidad al aire húmedo es mayor.



Molino de Bolas



Molino de Bolas



Molino de Martillos

PROPIEDADES DEL YESO

Fraguado

Al amasar el yeso hemihidrato con agua endurece en un plazo breve. Este fenómeno se conoce con el nombre de fraguado del yeso. Una de las propiedades más características del yeso es la rapidez de su fraguado, esto obliga al operario a trabajar con apresuramiento y únicamente permite amasar de una vez pequeñas cantidades. Este problema se soluciona mediante el empleo de catalizadores que actúan sobre la velocidad del fraguado permitiendo regular la misma

Expansión

Se produce una expansión como consecuencia del crecimiento rápido de los cristales durante el fraguado, es del orden del 0.3 a 1.5%.

Absorción de Agua

El yeso es un material que no puede emplearse en lugares expuestos a la acción del agua (exteriores, etc.). Se ha venido atribuyendo este hecho a su considerable solubilidad en agua. La razón fundamental del fracaso del yeso ante el agua se encuentra en la rápida pérdida de resistencia que experimenta el material fraguado al absorber agua ávidamente a través de su red capilar. El efecto perturbador del agua absorbida con posterioridad al fraguado consiste en una acción lubricante de los cristales aciculares del dihidrato que disminuye la resistencia de rozamiento y, por tanto, la resistencia del material.

Adherencia

En general, la adherencia de las pastas de yeso a las piedras, ladrillos, etc., es buena pero al hierro y al acero es mejor. La adherencia a la madera y a superficies lisas es deficiente. Puede decirse, en general, que la adherencia del yeso disminuye con el tiempo y, desde luego, con la presencia de humedad.

Corrosión

El yeso produce corrosión en el hierro y en el acero, sobre todo en presencia de humedad. Así pues, cualquier elemento de estos materiales que deba estar en contacto con yeso debe protegerse por galvanización, pintado, etc.

APLICACIONES DEL YESO

Guarnecidos y Tendidos

Tal vez la mayor aplicación del yeso en la construcción es el revestimiento de paramentos más o menos irregulares que no han de quedar vistos. Para ello se aplica sobre el paramento una primera capa de yeso YG de a 15 mm. de espesor, y sobre ésta, una capa de yeso YF de 1 a 3 mm. La primera capa recibe el nombre de guarnecido y la segunda, el de tendido.

El guarnecido puede ser a buena vista o maestreado. En el primer caso se extiende con llana y que la superficie quede perfectamente plana depende de la habilidad y entrenamiento del albañil. También

puede extenderse por proyección y alisarse con reglas de madera. En el caso de un guarnecido maestreado, hay que hacer primero las maestras: éstas son fajas del espesor fijado y con sus superficies en un mismo plano que sirven de guía para el guarnecido. Se extiende a mano y se alisa con regla apoyándose en las maestras. Para el tendido suele emplearse una pasta más fluida que para el guarnecido y tanto más fluida cuanto menor tenga que ser su espesor. Se extiende con llana. El conjunto del guarnecido y el tendido constituyen el enlucido que no suele quedar visto sino recubierto por pintura, papel, corcho, etc.

Molduras

Para éste trabajo se utiliza generalmente escayola. La operación denominada corrido de molduras consiste en hacer deslizar una terraja con el perfil deseado sobre unas guías. Al moverse la terraja sobre una masa de escayola recién colocada forma la moldura.

Estuco

Se conoce con este nombre un recubrimiento para muros, brillante y lavable, que se extiende con la llana. Esta compuesto por escayola o yeso YF molido muy fino, amasado con agua que contiene gelatina, puede contener también pigmentos colorantes. Cuando se ha conseguido una superficie plana, se la da de brillo mediante un bruñido con planchas de acero calientes o frotando las superficies con un paño impregnado en aceite de linaza y, posteriormente, con otro impregnado en aguarrás y cera.

Morteros de Yeso

Para la fabricación de morteros ha de tenerse presente que cada partícula de arena debe quedar perfectamente envuelta por la pasta de yeso. No suelen usarse más que dos morteros: el 1:2 y el 1:3 (relación yeso: arena), ambos en peso. Puede afirmarse que partiendo de una relación 1:1, la resistencia a la compresión se reduce a la mitad cada vez que se duplica el contenido de arena

Elementos prefabricados

Además de las molduras y de otros elementos decorativos, pueden fabricarse como elementos resistentes bloques de yeso, bovedillas para forjados y placas para tabiques. Está muy extendido el uso de placas de hasta 40x40 cms. y aún más, para la construcción de falsos techos. Con frecuencia estas placas están perforadas para conseguir un buen acondicionamiento acústico de los locales donde están colocadas. Se emplean también paneles constituidos por un emparedado de cartón-yeso-cartón, que responden a la denominación genérica de plasterboard.



Paneles de yeso



Moldura de escayola



Saco de yeso

2.3 MATERIALES CERÁMICOS. LADRILLOS Y TEJAS

La cerámica es la industria más antigua de la humanidad, es una idea genial del hombre y fecunda pues se ha desarrollado ampliamente a lo largo de la historia no sólo en cantidad sino en la variedad de productos, algunos de ellos, de importancia trascendental para las tecnologías modernas.

Surge la fabricación de ladrillos en aquellas zonas en que escasea la piedra y abunda la arcilla. Se entiende por material cerámico el producto de diversas materias primas, (principalmente arcillas) fabricándose en estado pulverulento o pastoso (para comunicarles fácilmente la forma) y adquiriendo la consistencia pétreo por procesos físico-químicos al cocer esas tierras arcillosas.

Se dividen en dos ramas:

- La Tejería: elabora materiales de construcción (ladrillos, tejas, tubos, etc..)
- La Alfarería: elabora cerámica fina (loza, porcelana)

Las **materias primas** para la obtención de estos productos son:

Arcillas

La arcilla es la principal materia prima para la fabricación de ladrillos, tejas, piezas especiales, etc. Se trata de una roca que procede de la desintegración de otras rocas formadas por "minerales arcillosos" que, químicamente son silicatos de aluminio hidratados, los cuales se diferencian unos de otros en la relación sílice/alúmina, en la cantidad de agua de constitución y en la estructura que contienen. La acción continuada y perseverante de los agentes atmosféricos sobre estas rocas las descomponen y dan lugar a las arcillas que, frecuentemente, son transportadas por el agua o el viento a distancias más o menos largas.

A veces entre las arcillas se encuentran fragmentos de la roca de procedencia; otras veces se hallan minerales o rocas que entraron en contacto con la arcilla durante su transporte hasta el lugar de sedimentación. Con frecuencia se ven alteradas por acciones (temperatura, presión, etc.) ejercidas sobre ellas durante la consolidación. Puede comprenderse por ello que la variedad de arcillas es muy grande y con una gran gama de coloraciones, plasticidades, composición química, etc.

En general no se encuentran arcillas puras de cada tipo, sino mezcladas, aunque predomine un mineral determinado. Las arcillas más puras son las **caoliníticas**, las cuales, por presentar un elevado porcentaje de alúmina y, por lo tanto, un elevado punto de fusión, tienen después de cocidas propiedades refractarias. Las arcillas **montmorilloníticas** son las menos empleadas en cerámica. Las **ilíticas** son las más utilizadas, por ser las más abundantes.

Una de las principales características de las arcillas es la plasticidad. Se entiende por tal la propiedad de un cuerpo que puede deformarse bajo la acción de un esfuerzo y que permanece deformado después de

retirada la causa que ha producido dicho cambio. La plasticidad depende de muchas propiedades de las arcillas, y una de ellas es el contenido en agua. Si la arcilla está totalmente seca, no es plástica. Si se le añade agua, se observa un incremento de la plasticidad, que llegará a un máximo para un contenido de agua determinado. Si seguimos añadiendo agua, se obtiene un líquido más o menos viscoso pero toda idea de plasticidad habrá desaparecido. La estructura laminar de la arcilla y el pequeñísimo tamaño de las partículas también influyen en la plasticidad. Hay un cierto contenido de agua mínimo por debajo del cuál la arcilla deja de comportarse como una masa plástica y se convierte en un material friable. A éste contenido de agua se le denomina límite plástico de la arcilla. Como se ha dicho, al aumentar la cantidad de agua la arcilla se convierte en un material plástico hasta un contenido de agua determinado para el cuál la arcilla comienza a fluir como un líquido espeso. A este otro contenido de agua se le llama límite líquido. La diferencia entre ambos límites recibe el nombre de índice de plasticidad. La acción del calor sobre las arcillas es la base de la industria cerámica. Cuando un cuerpo moldeado en arcilla se somete a la acción del calor experimenta una serie de cambios que lo transforman en un elemento útil con una resistencia mecánica apreciable, una determinada impermeabilidad, una cierta resistencia al fuego, etc. .

Unos cambios son de naturaleza física (variaciones en la densidad, porosidad, fragilidad, plasticidad, resistencia a la compresión, color, etc.) y otros son de naturaleza química (deshidrataciones, descomposiciones, formación de nuevos compuestos, etc.) En la práctica las arcillas pierden el agua en dos fases: en la primera, llamada secado, no pierden más que el agua de amasado (agua que se añade a la arcilla para amasarla y moldearla), en tanto que en la segunda fase, durante el proceso de cocción, pierden el agua zeolítica (moléculas de agua intercaladas en los vacíos de la red cristalina) y el de constitución. Cuando se produce la eliminación del agua de constitución se rompe la estructura de la arcilla y el fenómeno deja de ser reversible perdiendo definitivamente la posibilidad de ser plástica.

Desgrasantes

Se puede reducir la plasticidad mediante la adicción de materias no plásticas que reciben el nombre de desgrasantes y que disminuyen la contracción y facilitan la salida del agua del interior de la masa, plásticas para hacer perder plasticidad evitando que se adhieran objetos en contacto con ellas y permita el moldeado correcto de los productos. Entre los desgrasantes normalmente usados figura el ladrillo molido procedente de los ladrillos rotos y que no debe ser extremadamente fino ni todo del mismo tamaño, las cenizas que quedan en el horno y con frecuencia arena, la cual debe ser de naturaleza silíceas, exenta de granos calizos y bastante fina.

Fundentes

Para bajar el punto de fusión (serrín, alquitrán, grafito).

Agua

Exenta de sales solubles para evitar que las sales queden en el ladrillo y aparezcan luego en forma de eflorescencias.

PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS MATERIALES CERÁMICOS

1. Extracción
2. Preparación de la pasta
3. Amasado
4. Moldeo
5. Secado
6. Cocción

1.Extracción

Las canteras de arcilla, también llamadas barreros, suelen estar cerca de las fábricas, son explotaciones a cielo abierto y la extracción se realiza por medios mecánicos. Es necesario quitar una capa de material no apto para la fabricación de ladrillos.

2.Preparación de la pasta

La arcilla extraída en la cantera hay que convertirla en una masa adecuada para la operación de moldeo en forma de ladrillos, tejas, tubos, bloques. Para proceder al moldeo tiene que cumplir ciertas condiciones:

- Depuración
- Estado de división
- Homogeneidad de la pasta
- La cantidad de agua

Para que las pastas reúnan las condiciones necesarias de trabajabilidad y calidad, se les puede someter a uno o varios de los procesos siguientes:

- Meteorización
- Maduración
- Podrido
- Levigación
- Tamizado
- Lavado
- Preparación mecánica

3. Mezclado y Amasado

Consiste en conseguir una perfecta homogeneización de la materia prima, es decir, de las diversas arcillas que se vayan a utilizar, de éstas con los desgrasantes y de todos éstos elementos sólidos con el agua. Para ello disponemos de diversa maquinaria:

- Mezcladoras–amasadoras
- Amasadoras de doble eje
- Raspadores

-Molino de rulos

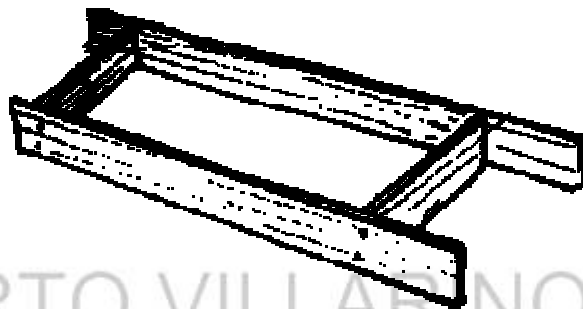
-Laminadores

4. Moldeo

Lo que se consigue con el moldeo es dar al producto una configuración externa. El moldeo tiene repercusión en los procesos subsiguientes por lo que debe cuidarse y controlar su corrección. El moldeo se puede realizar de diversas maneras:

Moldeo a mano

Método rudimentario útil para producciones a pequeña escala o periódica. Su aspecto es más rugoso y más estético. La tierra se prepara en fosas mediante la adición de agua y un amasado con palas hasta que se suficientemente homogénea. En estado muy plástico y con mucho líquido se comprime en una gradilla.



Gradilla

Moldeo por Extrusión

Consiste en empujar una masa de arcilla para hacerla pasar a través de una boquilla formadora, es por tanto, un proceso utilizado para formar piezas que tengan una sección transversal constante: Se obliga a salir la pasta por una boquilla

Moldeo por prensas

Si las piezas a fabricar tienen relieves y superficies curvas (por ejemplo, tejas)

Prensado

Se utiliza para obtener un producto de apariencia impecable. Tiene la ventaja de que no necesita pasar por el secadero, pero tiene el inconveniente de la posible falta de homogeneidad debido a la dificultad de conseguirla cuanto más seca sea la tierra.

5. Secado

Las piezas recién moldeadas si se cocieran se romperían por lo que hay que someterlas al proceso de secado. Consiste en la eliminación de la pasta de amasado, hasta reducirla a un 5%. Se realiza de forma

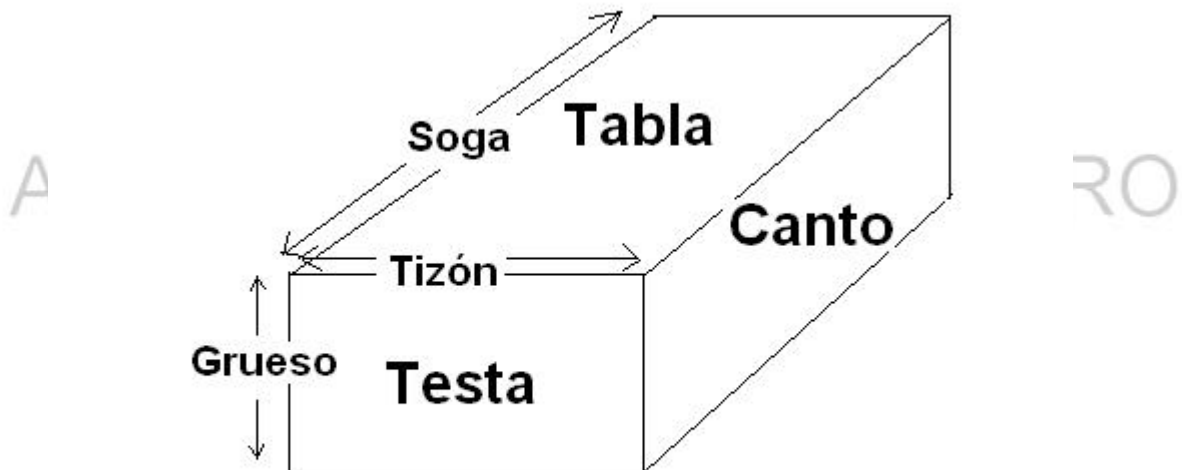
lenta y gradual, para evitar alabeos y resquebrajamientos. Industrialmente se utilizan cámaras secaderos, que consisten en unos locales en los que se hace pasar aire caliente procedente del calor de recuperación de los hornos.

6. Cocción

Cuando se cuecen las arcillas a altas temperaturas, se producen unas reacciones que provocan en el material una consistencia pétrea y una durabilidad que las hacen adecuadas para el fin que se las destina. La temperatura en los hornos y el tipo de éstos es variable en función del producto. Existen distintos tipos de hornos (hornos hormigueros, hornos continuos, etc...).

LADRILLOS

Ladrillo de arcilla cocida, es toda pieza, generalmente ortoédrica, obtenida por moldeo, secado y cocción a temperatura elevada de una pasta arcillosa, que se utiliza en construcción. La denominación de las caras y aristas de un ladrillo es la que a continuación se muestra



Existen varias clasificaciones de los ladrillos, únicamente detallaremos las siguientes:

Clasificación por Cocción

Adobes: Son los ladrillos secados al sol y que no han estado sometidos a la acción del fuego

Santos: Son los que por un exceso de cocción han sufrido una vitrificación, resultando deformados y negruzcos

Escafilados: Son los que por un exceso de cocción han sufrido un principio de vitrificación, resultando más o menos alabeados

Recochos: Son los que han estado sometidos a una cocción correcta

Pintones: Son los que por falta de uniformidad en la cocción presentan manchas pardas y manchas más o menos rojizas

Pardos: Son los que han sufrido una cocción insuficiente presentando un color pardo

Porteros: Son los que por su situación en las capas exteriores de los hornos de hormiguero apenas se han cocido

Clasificación por su forma, según la normativa de ladrillos

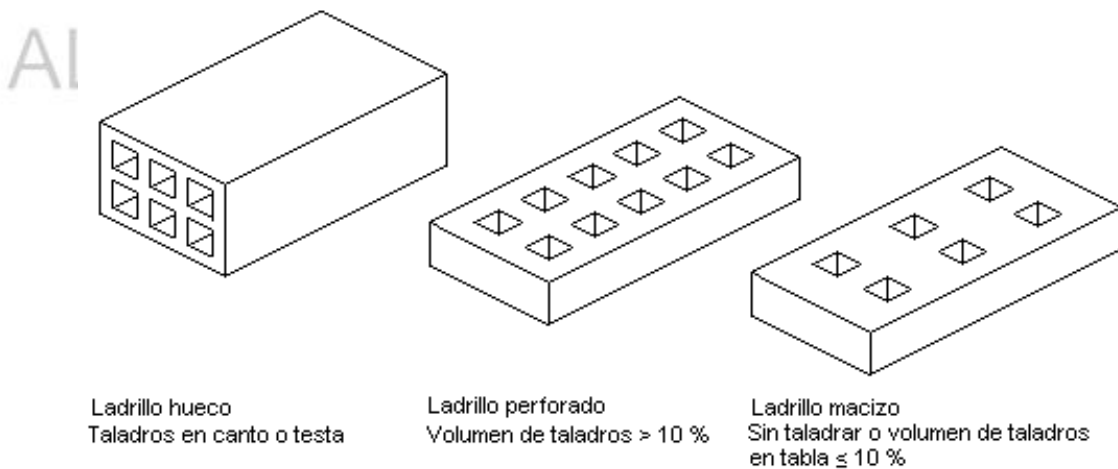
Existen tres tipos de ladrillo en función del tamaño, volumen y situación de las perforaciones y dos clases

Tipos

Macizos (M): Ladrillo totalmente macizo o con taladros en tabla, de volumen no superior al 10% (% sobre el volumen total). Cada taladro tendrá una sección de área no superior a 2.5 cm^2 ($\varnothing 1.78 \text{ cm}$ en perforación circular)

Perforados (P): Ladrillo con taladros en tabla, de volumen superior al 10% con la particularidad de que al menos tendrá tres perforaciones

Huecos (H): Ladrillo que tiene los taladros en canto o testa, siendo la sección máxima de cada perforación de 16 cm^2



Clases

Clase V (ladrillo visto): ladrillos para utilizar a cara vista

Clase NV (ladrillo común): ladrillo común, para utilizar en fábricas que se revestirán

Disposición de la obras de ladrillo (aparejos)

Los muros y tabiques se construyen colocando los ladrillos ordenadamente unos sobre otro uniéndolos con mortero. El sistema adoptado para conseguir la trabazón de toda la fábrica se denomina aparejo

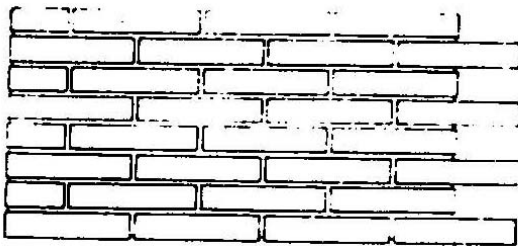
A sogá: cuando, apoyada la pieza sobre su tabla, la testa es normal al paramento, resultando las dimensiones de sogá paralelas al mismo.

A tizón: se apoya la pieza sobre su tabla, la testa es paralela al paramento, resultando las dimensiones de tizón paralelas al mismo.

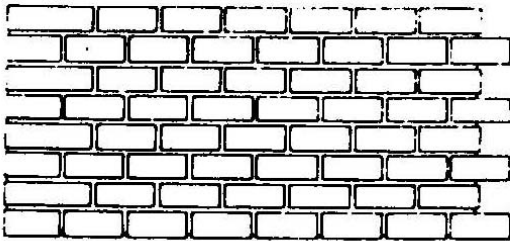
A sardinel o rosca: se apoya la pieza sobre su testa o su canto, la tabla es normal al paramento. Según la posición de la arista mayor, existen las variantes horizontal y vertical.

A panderete cuando, apoyada la pieza sobre su testa o su canto, las tablas definen el trasdós o intradós del elemento. También existen las variantes horizontal y vertical.

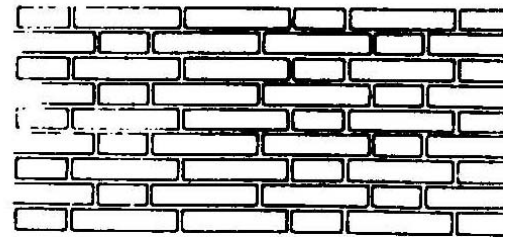
Triscadas: las que, en cualquiera de las posiciones anteriores, sufren un giro, quebrándose su paramento o su coronación.



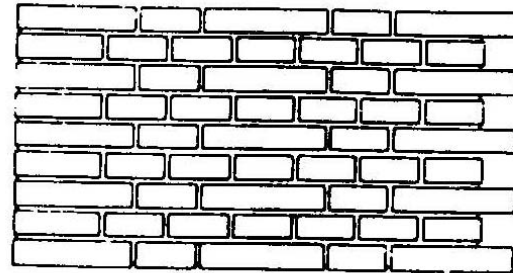
a) APAREJO DE SOGAS



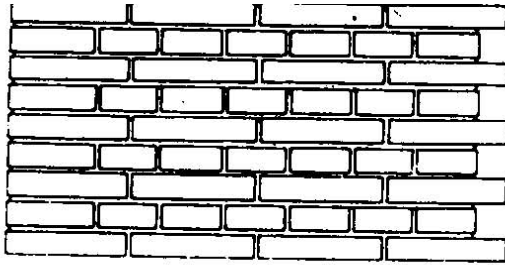
b) APAREJO DE TIZONES



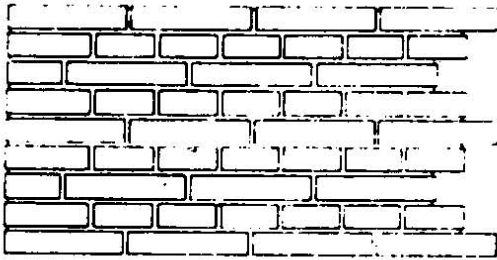
g) APAREJO FLAMENCO O GÓTICO
(doble o marco)



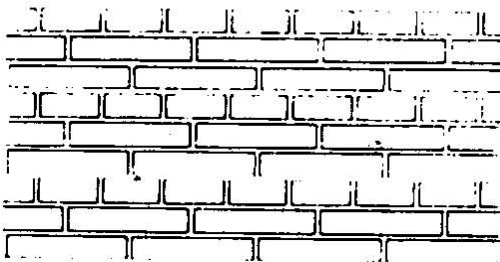
h) APAREJO HOLANDES



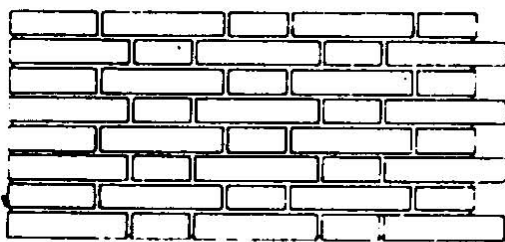
c) APAREJO INGLES NORMAL



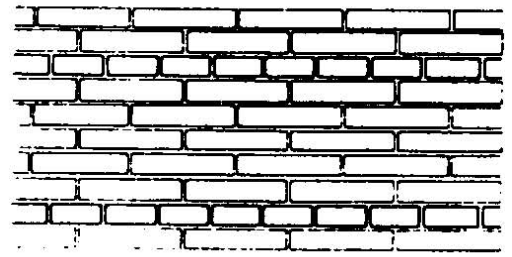
d) APAREJO INGLES EN CRUZ O BELGA



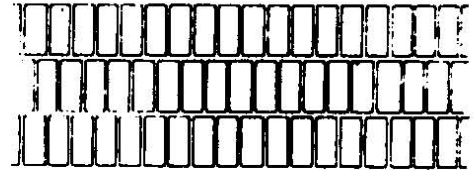
e) APAREJO INGLES ANTIGUO



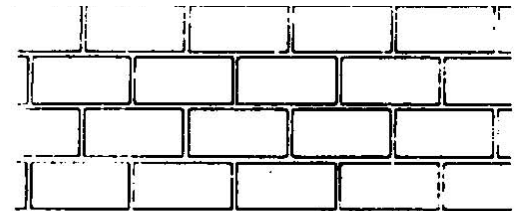
**f) APAREJO FLAMENCO
O GÓTICO (sencillo)**



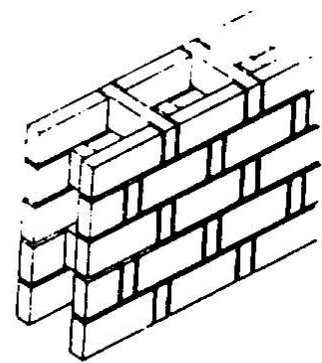
i) APAREJO AMERICANO



j) APAREJO DE SARDINELES



k) APAREJO DE PANDERETES



**l) APAREJO DE PANDERETES
Y SARDINELES**

Propiedades de los Ladrillos

Resistencia a la compresión

De los macizos y perforados no debe ser inferior a 100 kg/cm^2 . Los huecos no deben tener menor de 50 kg/cm^2

TEJAS

Son piezas de material cerámico destinadas a cobertura de edificios aprovechando su carácter impermeable, dotándolas de la forma idónea para que encajen entre ellas fácilmente

Tipos de tejas

Teja curva o árabe

Forma de canal troncocónico. Peso aproximado de 2 kg, necesitándose 25 unidades para cubrir 1 m^2



Teja plana

Con forma rectangular, de escudo o similares, y perfectamente plana o ligeramente curvada. En la cara inferior suele tener un resalto para su apoyo en los elementos de cubierta. Generalmente presenta orificios para ser clavada en listones de madera. De un largo de 42 cms. y un ancho de 25 cms



Encaje o de alicante: tiene un contorno sensiblemente rectangular, con espesor variable que da lugar a rehundidos y pestañas que permiten el encaje de unas piezas con las adyacentes



Teja mixta



Propiedades de las Tejas

Permeabilidad

Propiedad importantísima en las tejas. Será tal que al cabo de dos horas no se produzca goteo

OTROS PRODUCTOS CERÁMICOS

Bovedillas

Son productos cerámicos utilizados como elementos prefabricados en forjados. Las bovedillas también se fabrican de hormigón.



Azulejos

Son piedras destinadas al revestimiento de paredes. Se emplean en lugares donde la limpieza sea fundamental y frecuente (cocinas, salas de ordeño, aseos, etc.). Constan de dos capas, una gruesa, (bizcocho de arcilla seleccionada) y otra fina que es un esmalte y le proporciona a la pieza impermeabilidad y resistencia al desgaste

Gres

Material cerámico cuya masa, a diferencia de los azulejos, es compacta y no porosa. Por la mezcla de arcillas muy seleccionadas capaces de vitrificar a bajas temperaturas. Extraordinaria compacidad, impermeables e inatacables por los ácidos. Se utilizan en depósitos o zonas que estén en contacto con zonas corrosivas. Muy resistente al desgaste.

Loza

Son los productos cerámicos de fractura blanquecina. Después de cocido, porosos y absorbentes teniendo que ser recubiertos con un esmalte para hacerla impermeable y dura. Se utilizan en productos sanitarios (inodoros, platos de ducha, etc....)

2.4 MATERIALES BITUMINOSOS

Los materiales bituminosos son sustancias de color negro sólidas o viscosas, dúctiles, que se ablandan por el calor y comprenden a aquellos cuyo origen son los crudos petrolíferos como también a los obtenidos por la destilación destructiva de sustancias de origen carbonoso.

El betún es uno de los materiales de construcción más antiguos que existen; ya en Mesopotamia y en el valle del Indo (3.800 a. de c.), se empleaba el betún natural como material aglomerante en albañilería, en la construcción de caminos y en la impermeabilización de estanques y depósitos de agua.

Los primeros productos que se emplearon fueron betunes naturales pero en la actualidad el uso que se hace de éstos es muy reducido y casi la totalidad de los productos bituminosos empleados en la construcción proceden de la destilación del petróleo o de carbones. Los materiales bituminosos pueden dividirse en dos grandes grupos: betunes y alquitranes. Ambos presentan una serie de propiedades análogas y de diferencias muy significativas: los dos son termoplásticos y poseen una buena adhesividad con los áridos; sin embargo, la viscosidad de los alquitranes se encuentra más afectada por las variaciones de temperatura que la de los betunes y además su envejecimiento es mucho mayor que el de éstos.

TIPOS DE MATERIALES BITUMINOSOS

BETUNES

Son mezclas de hidrocarburos naturales, o pirogenados (aquellos que se han sometido a tratamientos de calor), o de sus combinaciones y que pueden ser gaseosos, líquidos, semisólidos y sólidos, solubles por completo en sulfuro de carbono. Los hay naturales y artificiales. Los betunes naturales o nativos son líquidos viscosos o compuestos sólidos constituidos por mezcla de hidrocarburos y sus derivados no metálicos. Los betunes artificiales proceden del petróleo obteniéndose por: destilación, oxidación o cracking.

Betunes Naturales

Se encuentran en la naturaleza formando lagos (el de Trinidad), mezclados con arena o arcilla, y a veces impregnando rocas. Son poco abundantes y su extracción no presenta gran interés. El origen de estos betunes está en los petróleos que han subido a la superficie a través de fisuras y se han depositado allí; con el tiempo los materiales mas ligeros que lo componían se evaporaron, quedando los componentes de mayor viscosidad. Estos lagos se siguen explotando en USA y Sudamérica. Si estos betunes, los unimos a betunes artificiales, pues les confieren mejoras en cuanto a resistencias y durabilidad. A veces estos betunes impregnan rocas porosas y se las conoce como rocas asfálticas; y fueron el primer material bituminoso utilizado en pavimentación. (en Francia, Italia, País Vasco... podemos encontrar estas rocas).

Betunes Artificiales

Se obtienen a partir del petróleo sometiendo al mismo, después de una destilación fraccionada a temperatura ambiente, en la que se recogen éteres y aceites ligeros, a otro proceso de destilación fraccionada en caliente y vacío para obtener aceites pesados y grasas sin que se produzca el cracking que se origina con temperaturas más altas.

Reciben el nombre de betunes asfálticos los naturales o nativos y los artificiales. Los betunes asfálticos preparados por destilación de hidrocarburos naturales se presentan como sólidos o semisólidos a la temperatura ambiente por lo que, para poder utilizarlos en obra, es preciso calentarlos a fin de reducir su viscosidad. Estos betunes se llaman también betunes de penetración ya que es el ensayo de penetración quien los caracteriza.

Las especificaciones españolas clasifican a los betunes por la penetración que dan en el ensayo normalizado de penetración, de aquí que a estos betunes se les denomine como "betunes de penetración". Las letras representan la palabra betún y los números que la siguen indican el intervalo en el cual debe estar comprendido el valor de la penetración, a 20°, expresado en décimas de milímetro. Se clasifican en los tipos: B 20/30, B 40/50, B 60/70, B 80/100, y B 150/200.

Asfalto

Es un producto natural o preparado en el que el betún asfáltico está unido a materias minerales inertes.

Betunes fluidificados o "Cutbacks"

Se obtienen mezclando los betunes duros con aceites ligeros (queroseno, gasolina, etc.). Tienen la ventaja de que no es preciso calentarlos para su utilización y los disolventes empleados tienen como misión únicamente favorecer la puesta en obra dado que posteriormente se eliminan durante el proceso de curado dando lugar al betún asfáltico de partida. Un paso más para favorecer la puesta en obra del betún, disminuyendo su viscosidad y para poder aplicarlo en tiempo lluvioso, con áridos húmedos e incluso con baja temperatura, consiste en emulsionarle con agua. La emulsión con agua es, por otra parte, más económica que el empleo de fracciones ligeras del petróleo que se utilizan en los cutbacks.

Las especificaciones españolas definen dos grupos de betunes fluidificados: RC (curado rápido) y MC (curado medio). Los rápidos emplean como disolvente naftas o gasolinas muy volátiles, mientras que los medios utilizan petróleo o queroseno. Dentro de estos grupos hay seis tipos con proporciones decrecientes de fluidificantes y por tanto de viscosidad creciente. Los tipos 0 tienen hasta un 50% de fluidificante, mientras que los de tipo 4 tienen solamente un 17%. Los tipos son: RC 0 RC 1 RC 2 RC 3 RC 4 RC 5 MC 0 MC 1 MC 2 MC 3 MC 4 MC 5

Emulsiones Bituminosas

Son mezclas de dos líquidos no miscibles, uno de los cuales se dispersa en forma de gotas muy pequeñas en el otro. Si se mezclan y agitan betún fundido y agua caliente se obtiene una emulsión, pero,

tan pronto como se deja a ésta en reposo las partículas dispersas empiezan a unirse haciéndose cada vez más grandes hasta que se produce la separación del betún y el agua, diciéndose en éste caso que la emulsión "se ha roto". A fin de lograr emulsiones estables, en las que se evite esta separación inmediata, se emplea un tercer producto llamado "emulsionante" o "emulgente" que al rodear a las partículas de betún impide su unión.

Al colocar en obra la emulsión y en contacto con los áridos se produce la rotura de la misma, es decir, las partículas de betún se vuelven a juntar formando una película continua que une al árido. Atendiendo a la facilidad de rotura de una emulsión al contacto con los áridos se clasifican en: emulsiones de rotura rápida, de rotura media y de rotura lenta; y atendiendo a la polaridad que el emulsionante proporcione a las partículas de betún se clasifican en: aniónicas o básicas (ph superior a 7) y catiónicas o ácidas (ph inferior a 7).

Las especificaciones españolas contemplan dos familias de emulsiones: las aniónicas (A) y las catiónicas (C). Estas, a su vez, se dividen en tres grupos según el tiempo de rotura de las mismas: rápida (R), media (M) y lenta (L)

Así existen a modo de ejemplo:

EAR 0: emulsión aniónica de rotura rápida con un contenido mínimo de betún del 45%.

EAR 1: emulsión aniónica de rotura rápida con un contenido mínimo de betún del 60%

ECR 2: emulsión catiónica de rotura rápida con un contenido mínimo de betún del 62%

Etc...

ALQUITRAN

Son productos bituminosos semisólidos o líquidos que se obtienen por destilación, en ausencia de aire, de sustancias orgánicas que posean materias volátiles, fundamentalmente, hulla, lignito o madera. El alquitrán más empleado en la construcción es el de hulla obtenido como subproducto en las fábricas de gas ciudad

A la palabra alquitrán debe seguir el nombre de la materia de la que procede: hulla, esquistos, madera, etc., debiendo indicarse también el proceso de fabricación. Se denomina brea al residuo fusible, semisólido o sólido, negro o marrón oscuro, que queda después de la evaporación parcial o destilación fraccionada del alquitrán o sus derivados.

El alquitrán no se obtiene como producto, sino como subproductos. Normalmente estos carbones vegetales (hulla, antracita), los calentamos para que se desprendan los hidrocarburos que guardan en su interior y entonces obtenemos el gas ciudad. Este gas va por unas tuberías, y en las tuberías encontramos un residuo viscoso que es a lo que llamamos alquitrán en bruto. Este alquitrán se le somete a un proceso de destilación, donde vamos separando aceites de distinta finura, y al final nos va a quedar sólo la brea. Con la brea y con aceites de distintas densidades, vamos a obtener el alquitrán con el que vamos a trabajar.

Las especificaciones españolas consideran dos tipos de alquitranes, AQ y BQ, según los tipos de breas y aceites que entren en su composición. Los del tipo A contienen brea más dura y aceites más volátiles que los del tipo B. Se subdividen en subtipos, de acuerdo con la composición y viscosidad de los mismos; así p.ej., en el AQ-38, las letras indican su composición y el número la temperatura de equiviscosidad. (temperatura a la cual tienen la misma viscosidad). Se consideran los siguientes:

AQ-38 AQ-46 AQ-54 BQ-30 BQ-38 BQ-46 BQ-58 BQ-62

El análisis químico elemental de un producto bituminoso, bien sea betún o alquitrán, no indica nada sobre las propiedades de este producto; prácticamente todos los productos tienen una composición química parecida; debido a ello, para caracterizar a un producto bituminoso hay que hacerlo a través de sus propiedades físico-químicas.

PROPIEDADES DE LOS BETUNES ASFÁLTICOS

Penetración

Es una medida de la consistencia del producto. Se determina midiendo en décimas de mm la longitud que entra una aguja normalizada en una muestra con unas condiciones especificadas de tiempo, temperatura y carga. Esto mide si el producto es líquido, semisólido o sólido. La consistencia varía con la densidad, disminuyendo la consistencia al aumentar la densidad.

Susceptibilidad Térmica

Es la aptitud que presenta un producto para variar su viscosidad en función de la temperatura. Los menos susceptibles son los oxidados, después los de penetración y los que más susceptibles son los alquitranes.

Punto de reblandecimiento

Es una medida de la susceptibilidad térmica. El punto de reblandecimiento aumenta cuando aumenta la densidad y la penetración disminuye. Un ensayo para su medida es el de de anillo y bola (A y B) consiste en aumentar la temperatura, midiendo cuando la bola llega al fondo del recipiente arrastrando el producto bituminoso.



Ensayo anillo y Bola

Índice de Penetración

Valor que da la susceptibilidad térmica de los betunes y se obtiene de otros dos ensayos: el punto de reblandecimiento y el de penetración.

Envejecimiento

Los betunes se ponen en obra en estado plástico. Luego van endureciendo, aumenta la cohesión y crece la viscosidad y la dureza. Este fenómeno tiene lugar hasta llegar a una dureza determinada. A partir de ahí, la cohesión disminuye y el producto se vuelve frágil, muy sensible a los esfuerzos bruscamente aplicados y a las deformaciones rápidas.

Punto de Fragilidad Fraas

El ensayo se aplica a los materiales sólidos o semisólidos y consiste en someter a una película del material que recubre una placa de acero a ciclos sucesivos de flexión a temperaturas decrecientes. Se define como Punto de Fragilidad Fraas la temperatura en °C a la que, a causa de la rigidez que va adquiriendo el material, se observa la primera fisura o rotura en la superficie de la película.

APLICACIONES DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS

La principal aplicación de los materiales bituminosos y a la que se destina el mayor porcentaje de su producción, se realiza en el campo de la pavimentación de carreteras, formando lo que se ha dado en denominar firmes flexibles. Otra aplicación importante, por el gran papel que desempeña en la construcción aunque no por el consumo de productos, es la impermeabilización tanto de obras hidráulicas como de edificios.

Pavimentos de carreteras

Se pueden considerar las siguientes aplicaciones de productos bituminosos a firmes de carreteras: riegos sin gravilla (de imprimación, riegos de adherencia, de curado, de adherencia), riegos con gravilla, lechadas bituminosas y mezclas bituminosas en frío o en caliente

Impermeabilizaciones

Una de las aplicaciones más antiguas de los productos bituminosos ha sido la impermeabilización de obras frente al paso del agua procedente del terreno, de lluvia o contenida en depósito o tanques, así como en la protección de estructuras frente a la acción erosionante del agua en movimiento

Impermeabilización de edificios

El agua puede penetrar en una construcción a través de juntas entre las piezas que forman la cubierta, a través de fisuras, por paredes batidas por las lluvias y el viento, y también las humedades pueden proceder del terreno y ascender por capilaridad en los muros o en los cimientos. La protección contra las humedades debe realizarse en la fase constructiva del edificio ya que "a posteriori" y una vez que han aparecido goteras y humedades es más difícil y aventurado realizar esta protección. La impermeabilización puede realizarse:

En masa: Mezclando con los demás componentes del hormigón tierra de diatomeas impregnada de asfalto o emulsiones asfálticas.

Pinturas asfálticas: Pinturas aplicadas en caliente de alquitrán o de betún, o pinturas aplicadas en frío de cutbacks o emulsiones. Es aplicable en superficies como: exteriores para la impermeabilización de terrazas, tejados, azoteas, paredes medianeras y en general todas las zonas exteriores que no estén sometidas a tránsito significativo y que por su situación se precise impedir el paso del agua. Puede aplicarse sobre cualquier superficie de albañilería exterior, baldosas, cemento, fibrocemento, piedra, etc., y sobre otros materiales como, espuma de poliuretano, galvanizados, zinc, aluminio, PVC, etc.

Membranas asfálticas prefabricadas: Son telas orgánicas o inorgánicas saturadas de un betún fluido y recubiertas por varias capas superficiales de un betún de mayor dureza pero que tenga la suficiente flexibilidad para que las membranas puedan enrollarse y desenrollarse sin fisurarse. En muchas ocasiones se terminan en la superficie exterior o vista con una lámina de aluminio, o con un arenado



Membrana asfáltica sobre azotea



Impermeabilización muro con pintura asfáltica

Revestimiento e impermeabilización de canales

Tienen por finalidad impermeabilizar y proteger la superficie de la obra mediante la creación de una membrana continua que evite la pérdida de agua, crear una superficie resistente a la erosión que proporcione una pérdida de carga lo más reducida posible y estabilizar los márgenes de la obra. Hay dos tipos de impermeabilización de canales: uno consistente en la aplicación de hormigones asfálticos y en la realización de tratamientos impermeables.



Impermeabilización de presas de tierra y escollera

Se reviste el paramento de aguas arriba por medio de una o dos capas de hormigón asfáltico de modo que se cree un revestimiento impermeable de unos 20 a 25 cms.

ALBERTO VILLARINO OTERO

2.5 CEMENTO

Hasta el siglo 18 los únicos conglomerantes usados fueron los yesos y las cales hidráulicas, es durante el siglo 19 y 20 cuando empieza a ser importante el interés por el cemento. El ingeniero inglés John Smeaton encuentra que el mortero formado por adición de puzolana a una caliza, con alta proporción de arcilla, era el que mejor resultado daba frente a la acción de las aguas marinas. Se confirmaba que la presencia de arcilla en las cales no sólo no las perjudicaba sino que las mejoraba haciendo posible el fraguado de la cal bajo el agua y que una vez endurecidas fueran insolubles.

Vicat fue un estudioso de la hidraulicidad de las cales que contenían arcillas y fruto de sus estudios son los primeros cementos naturales, precursores de los actuales Portland. En 1824, Joseph Aspdin, constructor de Leeds, en Inglaterra, daba el nombre de Portland y patentaba un material pulvurento que amasado con agua y con arena se endurecía formando un conglomerado de aspecto parecido a las calizas de la isla de Portland. No era exactamente como el Portland actual, este no llegaría hasta que Isaac Johnson molió finamente los nódulos sobrecocidos que quedaban a la salida del horno de Aspdin, con ello mejoró: las dosificaciones y aumentó las temperaturas de cocción hasta lograr la sinterización de la mezcla.

En el siglo 19 empieza a extenderse de manera extraordinaria el uso del cemento y en los inicios del siglo veinte se impone el cemento Portland a los naturales. El cemento Portland ha llegado a una gran perfección y es material industrializado de construcción de mayor consumo. Se puede decir que el cemento es el alma del hormigón, yendo destinada, prácticamente, toda su producción a enlazar piedras sueltas para crear el material pétreo que conocemos como hormigón.

Existen dos tipos de cementos: los cementos naturales y el cemento Portland. El cemento natural se presenta por calcinación de margas naturales a temperaturas medias, sin formación de fase líquida. La materia prima es intermedia entre cales hidráulicas y cemento Portland. Estos cementos naturales se trituran y muelen posteriormente por apreciarse mejores comportamientos en el producto final obtenido. El cemento Portland debido a su importancia será el tratado en este tema

COMPONENTES DEL CEMENTO PORTLAND

El cemento Portland está formado, básicamente, por la molienda conjunta del producto de la cocción, hasta sinterización, de una mezcla de caliza (carbonatos cálcicos) y arcilla (silicatos de aluminio hidratado) que recibe el nombre de clinker y de un material empleado como regulador de fraguado que, generalmente, es yeso dihidrato. Los componentes principales del clinker son la cal, la sílice, el aluminio, y el hierro, en forma de óxidos.

Las margas presentan como principales contenidos los componentes calizos y componentes arcillosos en distintas proporciones, por lo que son utilizadas como principal materia prima. Otros productos de uso

se utilizan en el proceso de fabricación otros componentes como correctores de composición: arena, bauxita, mineral de hierro, pirita

Los componentes principales del cemento Portland son:

A) Clínker de cemento Portland (K)

El clínker de cemento Portland se obtiene por sinterización de una mezcla homogénea de materias primas (crudo, pasta o harina) conteniendo elementos, normalmente expresados en forma de óxidos, CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y pequeñas cantidades de otras materias.

B) Clínker de cemento Portland (K) empleado en cementos resistentes a los sulfatos y en cementos resistentes al agua de mar

Las especificaciones adicionales para los cementos comunes resistentes a los sulfatos y al agua de mar son, en cuanto a su clínker, las limitativas de su contenido de aluminato tricálcico y de la suma de sus contenidos de aluminato tricálcico y ferrito-aluminato tetracálcico.

C) Clínker de cemento de aluminato de calcio (K)

El clínker de cemento de aluminato de calcio es un material hidráulico que se obtiene por fusión o sinterización de una mezcla homogénea de materiales aluminosos y calcáreos conteniendo elementos, normalmente expresados en forma de óxidos, siendo los principales los óxidos de aluminio, calcio y hierro (CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3), y pequeñas cantidades de óxidos de otros elementos

D) Escoria granulada de horno alto (S)

La escoria granulada de horno alto se obtiene por enfriamiento rápido de una escoria fundida de composición adecuada, obtenida por la fusión del mineral de hierro en un horno alto y constituida al menos en dos tercios de su masa por escoria vítrea y que posee propiedades hidráulicas cuando se activa de manera adecuada. La escoria granulada de horno alto debe estar constituida al menos en dos tercios de su masa por la suma de óxido de calcio (CaO), óxido de magnesio (MgO) y dióxido de silicio (SiO_2). El resto contiene óxido de aluminio (Al_2O_3) junto con pequeñas cantidades de otros compuestos

La escoria granulada es una especie de arena (el aspecto y color son parecidos) que se obtiene por enfriamiento brusco en agua de la ganga fundida procedente de procesos siderúrgicos. Sus partículas son más o menos porosas y rechinan al aplastarlas con la mano. Al ser enfriada bruscamente en agua (temple) la escoria se vitrifica y se vuelve activa. Dado su contenido en cal combinada, la escoria no es una simple puzolana, sino que tiene de por sí propiedades hidráulicas, es decir, que es un verdadero cemento. Lo que sucede es que, por sí sola, la escoria fragua y endurece muy lentamente, por lo que debe ser acelerada por la presencia de algo que libere cal, como el clínker de Portland. Bastan muy pequeñas cantidades de este último componente para asegurar el fraguado y endurecimiento de la escoria molida.

E) Puzolanas (P,Q)

Las puzolanas son sustancias naturales de composición silíceas o sílico-aluminosas o combinación de ambas. Las puzolanas no endurecen por sí mismas cuando se amasan con agua, pero finamente molidas y en presencia de agua reaccionan, a la temperatura ambiente normal, con el hidróxido de calcio disuelto $[Ca(OH)_2]$ para formar compuestos de silicato de calcio y aluminato de calcio capaces de desarrollar resistencia. Estos compuestos son similares a los que se forman durante el endurecimiento de los materiales hidráulicos. Las puzolanas están compuestas esencialmente por dióxido de silicio reactivo (SiO_2) y óxido de aluminio (Al_2O_3). El resto contiene óxido de hierro (Fe_2O_3) y otros óxidos. Las puzolanas deben prepararse correctamente, es decir, deben ser seleccionadas, homogeneizadas, secadas o tratadas térmicamente y pulverizadas, dependiendo de su estado de producción o de suministro.

Las puzolanas naturales (P) son normalmente materiales de origen volcánico o rocas sedimentarias con composición química y mineralógica adecuadas. Las puzolanas naturales calcinadas (Q) son materiales de origen volcánico, arcillas, pizarras o rocas sedimentarias activadas por tratamiento térmico.

F) Cenizas volantes (V, W)

Las cenizas volantes se obtienen por precipitación electrostática o mecánica de partículas pulverulentas arrastradas por los flujos gaseosos de hornos alimentados con carbón pulverizado. Las cenizas obtenidas por otros métodos no deberán emplearse en los cementos. Las cenizas volantes pueden ser de naturaleza silícea o calcárea. Las primeras tienen propiedades puzolánicas; las segundas pueden tener, además, propiedades hidráulicas.

G) Esquisto Calcinado (T)

El esquisto calcinado, particularmente el bituminoso, se produce en un horno especial a temperaturas de aproximadamente 800 °C. Debido a la composición del material natural y al proceso de producción, el esquisto calcinado contiene fases del clínker, principalmente silicato bicálcico y aluminato monocálcico. También contiene proporciones mayores de óxidos puzolánicamente reactivos, especialmente dióxido de silicio, además de pequeñas cantidades de óxido de calcio libre y de sulfato de calcio. En consecuencia, en estado finamente molido, el esquisto calcinado presenta propiedades hidráulicas, como las del cemento Portland, así como propiedades puzolánicas.

H) Caliza (L, LL)

I) Humo de Sílice (D)

El humo de sílice se origina por la reducción de cuarzo de elevada pureza con carbón en hornos de arco eléctrico, para la producción de silicio y aleaciones de ferrosilicio, y consiste en partículas esféricas muy finas conteniendo al menos el 85% en masa de dióxido de sílice amorfo.

J) Componentes adicionales minoritarios

Los componentes adicionales minoritarios son materiales minerales naturales o derivados del proceso de fabricación del clínker. Estarán correctamente seleccionados, homogeneizados, secados y pulverizados, en función de su estado de producción o suministro. Los componentes adicionales minoritarios no

aumentarán sensiblemente la demanda de agua del cemento, no disminuirán la resistencia del hormigón o del mortero en ningún caso, ni reducirán la protección de las armaduras frente a la corrosión. Estos componentes suelen mejorar las propiedades físicas de los cementos (tales como la docilidad o la retención de agua). La información sobre los componentes adicionales minoritarios del cemento será facilitada por el fabricante cuando lo solicite el usuario

K) Sulfato de Calcio

El sulfato de calcio se añade durante la fabricación del cemento para controlar el fraguado. El sulfato de calcio puede ser yeso o anhidrita o cualquier, mezcla de ellos

L) Aditivos

Los aditivos son componentes no contemplados en los apartados anteriores, que se añaden para mejorar la fabricación o las propiedades del cemento. La cantidad total de aditivos en los cementos no excederá del 1% en masa del cemento (a excepción de los pigmentos); mientras que la cantidad de aditivos orgánicos no excederá del 0,5 % en masa del cemento, medida sobre el residuo seco.

CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS

Los cementos que contempla la Instrucción española RC-08 son los siguientes:

- Cementos comunes
- Cementos especiales de muy bajo calor de hidratación
- Cementos de albañilería
- Cementos de albañilería blanco
- Cementos para usos especiales
- Cementos resistentes a los sulfatos
- Cementos resistentes al agua del mar
- Cemento de aluminato de calcio

Los cementos se clasifican en **tipos**, según sus componentes, y en **clases** según su resistencia. El número que identifica a la clase corresponde a la resistencia mínima a compresión, a veintiocho días, expresada en newtons por milímetro cuadrado (N/mm^2). Se exceptúan los cementos para usos especiales en que dicha resistencia se refiere a los noventa días. Los porcentajes en masa de los distintos tipos de cemento excluyen el regulador de fraguado y los eventuales aditivos. Por otra parte, conviene no confundir los aditivos al cemento con las adiciones; éstas se refieren siempre a uno o varios de los siguientes constituyentes: escoria de horno alto (S), humo de sílice (D), puzolana natural (P), puzolana natural calcinada (Q), ceniza volante silícea (V), ceniza volante calcárea (W), esquistos calcinados (T), caliza (L y LL). Debido a la extensión del tema se comentarán únicamente los cementos comunes

CEMENTOS COMUNES

Cemento Portland

Los cementos Portland se obtienen por molturación conjunta de clínker Portland, una cantidad adecuada de regulador de fraguado y, eventualmente, hasta un 5 por 100 de adiciones. Se designará con las siglas CEM I, seguidas de la clase de resistencia (32,5 - 42,5 - 52,5) y de la letra (R) si es de alta resistencia inicial o de (N) si es de resistencia inicial normal. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-1.

Los cementos Pórtland con adiciones se vienen empleando en Europa, con gran éxito, por razones económicas. Por una parte, por el ahorro de energía que ello supone y, por otra, por el aprovechamiento de ciertos productos naturales y subproductos industriales. Los cementos Portland con adiciones tienen un comportamiento intermedio entre los Portland tipo I, por un lado, y los cementos de horno alto o puzolánicos, por otro. Estos cementos tienen las mismas clases resistentes que los cementos tipo I, se designarán con las siglas CEM II seguidas de una barra (/) y de la letra que indica el subtipo (A ó B) separada por un guión(-) de la letra identificativa del componente principal empleado como adición del cemento. A continuación se indicará la clase de resistencia (32,5-42,5-52,5), y seguidamente la letra R si se trata de un cemento de alta resistencia inicial o la letra N en el caso de ser de resistencia inicial normal.

ALBERTO VILLARINO OTERO

Tabla I: Cementos Comunes

Tipos	Denominación	Designación	Composición (proporción en masa ¹⁾)												Componentes, minoritarios	
			Componentes principales													
			Clinker K	Escoria de horno alto S	Humo de sílice D ^a	Puzolana		Cenizas volantes		Esquistos calcinados T	Caliza ⁴⁾					
					Natural P	Natural calcinada Q	Silíceas V	Calizas W		L	LL					
CEM I	Cemento pórtland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5			
	Cemento pórtland con escoria	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5			
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5			
	Cemento pórtland con humo de sílice	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5			
	Cemento pórtland con puzolana	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5			
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5			
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5			
	Cemento pórtland con ceniza volante	CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5			
		CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5			
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5			
	CEM II	Cemento pórtland con ceniza volante	CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5		
		Cemento pórtland con esquistos calcinados	CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5		
CEM II/A-T			80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5			
CEM II/B-T			65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5			
Cemento pórtland con caliza		CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5			
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5			
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5			
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5			
Cemento pórtland mixto ³⁾		CEM II/A-M	80-94	<----- 6-20 ----->												0-5
		CEM II/B-M	65-79	<----- 21-35 ----->												0-5
CEM III		Cemento con escorias de horno alto	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
			CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
	CEM III/C		5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5			
CEM IV	Cemento puzolánico ³⁾	CEM IV/A	65-89	-	<----- 11-35 ----->							-	-	0-5		
		CEM IV/B	45-64	-	<----- 36-55 ----->							-	-	0-5		
CEM V	Cemento compuesto ³⁾	CEM V/A	40-64	18-30	-	<----- 18-30 ---->					-	-	0-5			
		CEM V/B	20-38	31-50	-	<----- 31-50 ----->					-	-	0-5			

1) Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios (núcleo de cemento).

2) El porcentaje de humo de silice está limitado al 10%.

3) En cementos pórtland mixtos CEM II/A-M y CEM II/B-M, en cementos puzolánicos CEM IV/A y CEM IV/B y en cementos compuestos CEM V/A y CEM V/B los componentes principales diferentes del clinker deben ser declarados en la designación del cemento (véase el apartado A1.1.2).

4) El contenido de carbono orgánico total (TOC), determinado conforme al UNE EN 13639, será inferior al 0,20% en masa para calizas LL, o inferior al 0,50% en masa para calizas L.

En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-1

Ejemplo 1: Cemento Pórtland EN 197-1 CEM I 42,5 R, corresponde a un cemento de clase resistente 42,5 y alta resistencia inicial.

Ejemplo 2: Cemento Pórtland con caliza EN 197-1 CEM II/A-L 32,5 N, corresponde a un cemento con un contenido entre 6 % y 20 % en masa de caliza, de clase resistente 32,5 y resistencia inicial normal. En el caso del cemento Pórtland mixto (M) se indicará, además entre paréntesis, las letras identificativas de los componentes principales empleados como adición.

Ejemplo 3: Cemento Pórtland mixto EN 197-1 CEM II/ A-M(S-V-L) 32,5 R, corresponde a un cemento con un contenido entre 6 % y 20 % en masa de escoria granulada de horno alto (S), ceniza volante silíceo (V) y caliza (L), de clase resistente 32,5 y alta resistencia inicial.

Los cementos con escorias de horno alto, los cementos puzolánicos y los cementos compuestos se designarán con las siglas CEM III, CEM IV y CEM V, respectivamente, seguidas de una barra (/) y de la letra que indica el subtipo (A, B ó C). En el caso de cementos puzolánicos tipo IV o cemento compuesto tipo V, se indicará además, entre paréntesis, las letras identificativas de los componentes principales empleados como adición. A continuación, se reflejará la clase de resistencia (32,5-42,5-52,5) y seguidamente la letra R si se trata de un cemento de alta resistencia inicial o la letra N en el caso de ser de resistencia inicial normal. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-1.

Ejemplo 4: Cemento con escorias de horno alto EN 197-1 CEM III/B 32,5 N, corresponde a un cemento con escorias de horno alto, con un contenido entre 66% y 80% en masa de escoria granulada de horno alto (S), de clase resistente 32,5 y resistencia inicial normal.

En el caso del cemento común de bajo calor de hidratación, se debe añadir las letras LH al final de la designación correspondiente a un cemento común. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-1.

Ejemplo 5: Cemento Pórtland con caliza EN 197-1 CEM II/A-L 32,5 N-LH, corresponde a un cemento de bajo calor de hidratación, con un contenido entre 6% y 20% en masa de caliza, de clase resistente 32,5 y resistencia inicial normal.

Cemento con escorias de horno alto

Los cementos de escorias de horno alto de baja resistencia inicial se identificarán por el tipo y subtipo de cemento, de acuerdo con la tabla de abajo, a continuación se indicará la clase de resistencia (32,5, 42,5 y 52,5). Además se debe añadir la letra L con el fin de indicar la baja resistencia inicial. En estos cementos, la designación comenzará con la referencia a la norma EN 197-4.

Tipo	Denominación	Designación	Composición (% en masa) ^{1),2)}		
			Componentes principales		Componentes minoritarios
			Clinker	Escoria de horno alto	
			K	S	
CEM III	Cementos de escorias de horno alto	CEM III/A	35-64	36-65	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	0-5

¹⁾ Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios.

²⁾ Los requisitos para la composición se refieren a la suma de todos los componentes principales y minoritarios. El cemento final es la suma de los componentes principales y minoritarios más el sulfato de calcio y cualquier aditivo.

Ejemplo 1: Cemento de escorias de horno alto de baja resistencia inicial EN 197-4 CEM III/B 32,5 L, corresponde a un cemento de escoria de horno alto, con un contenido entre 66% y 80% en masa de escoria granulada de horno alto (S), de clase resistente 32,5 y de baja resistencia inicial. En el caso de que además sea de bajo calor de hidratación se deben añadir al final las letras LH.

Ejemplo 2: Cemento de escorias de horno alto de baja resistencia inicial y de bajo calor de hidratación EN 197-4 CEM III/B 32,5 L-LH, corresponde a un cemento de escoria de horno alto, con un contenido entre 66% y 80% en masa de escoria granulada de horno alto (S), de clase resistente 32,5, con baja resistencia inicial y bajo calor de hidratación.

Los cementos de horno alto de baja resistencia inicial tendrán una reducida resistencia inicial comparada con la de un cemento común de la misma clase de resistencia y podrán necesitar de algunas precauciones adicionales tales como la ampliación del tiempo de retirada del encofrado y un cuidado especial con climatología adversa. Estos cementos presentan poca retracción y un débil calor de hidratación, por lo que pueden ser utilizados sin riesgo en grandes macizos. A cambio y por la misma razón, son muy sensibles a las bajas temperaturas, que retardan apreciablemente su endurecimiento, por lo que no debe utilizarse por debajo de los +5° C. Los cementos siderúrgicos son más susceptibles de experimentar cambios de tonalidad más o menos irregulares después de endurecidos. El hormigón de cemento de escorias presenta una rotura de color verdoso característico. Quizá la idea más importante que debe retenerse en relación con estos cementos es que necesitan efectuar su endurecimiento en medio constantemente húmedo durante dos semanas al menos, dada su lentitud. Sus grandes enemigos son la sequedad y el calor.

No deben emplearse los de fabricación muy reciente, que presentan riesgos de retracciones elevadas. Por igual motivo y para evitar desecaciones prematuras y rápidas, hay que emplear bajas relaciones agua/cemento y vigilar el amasado, porque estos cementos dan morteros y hormigones un poco agrios que incitan a quien los amasa a echar más agua a la hormigonera. Un vibrado enérgico vence esta rigidez durante la puesta en obra.

Conviene utilizar dosificaciones amplias, bien amasadas, para evitar falta de homogeneidad y el riesgo de tener endurecimientos irregulares. En general es preferible una buena dosificación en cemento de

una categoría inferior a otra pobre de categoría superior. En resumen, puede decirse que los cementos siderúrgicos son delicados y exigen más precauciones en su empleo que los Portland. Son más resistentes que éstos a las aguas sulfatadas, las de mar y las muy puras; pero no deben utilizarse si la agresividad es grande.

Cemento puzolánico

Los cementos puzolánicos endurecen más lentamente, en especial en ambiente frío, y requieren en general más agua de amasado que el Portland normal; pero a largo plazo llegan a superar las resistencias de éste.

La ventaja de los cementos puzolánicos es que la puzolana fija la cal liberada en la hidratación del clínker, eliminando así un peligro en ambientes agresivos. Como el proceso liberación-fijación de cal se prolonga mucho en el tiempo, el cemento va ganando resistencias con la edad en mayor proporción que el Portland, al formarse nuevos compuestos resistentes de naturaleza muy estable.

Por las mismas razones, el cemento puzolánico confiere al hormigón una elevada densidad, disminuyendo su porosidad y haciéndolo más compacto, lo que aumenta su resistencia química. Todo ello lo hace recomendable para gran número de obras (canales, pavimentos, obras en aguas muy puras o ambientes medianamente agresivos, hormigonados bajo agua, obras marítimas, etc.). Los cementos puzolánicos son algo más untuosos y manejables que el Portland, por lo que mejoran la plasticidad del hormigón, resultando aptos para su empleo en hormigones bombeados. El color negruzco de las puzolanas oscurece de forma típica a estos cementos.

Cemento Compuesto

Sus características y aplicaciones son intermedias entre las correspondientes a los cementos tipo III y IV.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS CEMENTOS

Finura de molido

Es una característica íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento, ya que influye decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante su fraguado y primer endurecimiento.

Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento se hidratan sólo en una profundidad de 0,01 mm, por lo que, si dichos granos fuesen muy gruesos, su rendimiento sería muy pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte. Si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de fraguado son muy altos (lo que, en general, resulta perjudicial), el conglomerante resulta ser más susceptible a la meteorización (envejecimiento) tras un almacenamiento prolongado, y disminuye su resistencia a las aguas agresivas.

Fraguado y endurecimiento

Cuando un cemento se amasa con agua en proporción del 20 al 35% en peso, se forma una pasta que mantiene su plasticidad durante un tiempo muerto después del cual la pasta empieza a rigidizarse rápidamente hasta que desaparece su plasticidad a la vez que va aumentando su resistencia de forma gradual. Este fenómeno es consecuencia de las precipitaciones sólidas o cristal que se producen durante las reacciones de hidratación y que dan lugar a un aumento progresivo de la viscosidad de la pasta.

Hay que distinguir dos fases:

Fraguado

La pasta pierde su plasticidad llegando a adquirir algo de resistencia. El fraguado va acompañado de desprendimiento de calor; al principio se observa una elevación fuerte de temperatura seguida de un fuerte descenso con un mínimo y luego, un pico que puede considerarse como el final del fraguado.

Endurecimiento

Ganancia progresiva de resistencias de una pasta fraguada. Como progresivo desarrollo de resistencias mecánicas queda regulado por la naturaleza y estructura de las películas coloidales que recubren los granos y que avanzan hacia el núcleo en la hidratación. Es frecuente confundir los términos fraguado y endurecimiento cuando en realidad son dos fenómenos distintos y hasta tal punto lo son que pueden existir cementos de fraguado lento y de endurecimiento rápido. En la velocidad de fraguado y endurecimiento entran en juego:

- Finura de molido del cemento
- Temperatura del agua de amasado
- Presencia o no de materias orgánicas e inorgánicas y aditivos

Resistencia mecánica

La aplicación fundamental del cemento es la fabricación de morteros y hormigones destinados a la construcción de elementos en los que, generalmente, la propiedad más interesante es sus resistencias mecánicas; por consiguiente, los cementos, junto con los áridos, tienen que conferírselas y esto lo logran porque al amasarlos con agua dan lugar a pastas que endurecen y tienen una gran cohesión y, cuya porosidad va disminuyendo a la vez que las resistencias mecánicas van creciendo con el paso del tiempo, presentando, además, estas pastas una gran adherencia con los áridos que componen el mortero y el hormigón.

PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

Materias primas + correctores->crudo->horno->clinker + yeso->cimento

Para la fabricación del cemento Portland hay dos sistemas que se denominan de "vía seca" y de "vía húmeda", y que prácticamente sólo difieren en la preparación de la materia prima o crudo que penetra en el horno

En el sistema de **vía húmeda**, las materias primas se deslíen en unos tanques y la pasta homogeneizada resultante alimenta el horno; en el sistema de **vía seca**, el horno se alimenta con la materia prima seca y pulverulenta y, en algunos casos, con nódulos realizados con esta materia amasada con muy pequeña cantidad de agua. El primer sistema, que ha sido muy empleado hasta hace unos años, tiene algunas ventajas que no llegan a compensar el mayor consumo de combustible requerido para evaporar la gran cantidad de agua que lleva la pasta, que oscila entre el 35 y el 50%, y el mayor costo y dimensión de los hornos, de aquí que actualmente, la mayor parte del cemento que se fabrica se realice por vía seca.

La vía seca permite un ahorro energético de como mínimo el 15% sobre la vía húmeda; por otra parte, la calidad del cemento es similar y el problema que podría achacársele de mayor contaminación ambiental está hoy en día solucionado con los filtros electrostáticos de gran eficacia. En los últimos años se ha experimentado un gran avance en todo el proceso de fabricación del cemento, reduciendo el consumo energético y los costos, y mejorando la calidad y uniformidad de los productos obtenidos mediante la automatización de las plantas y el control continuo de la calidad.

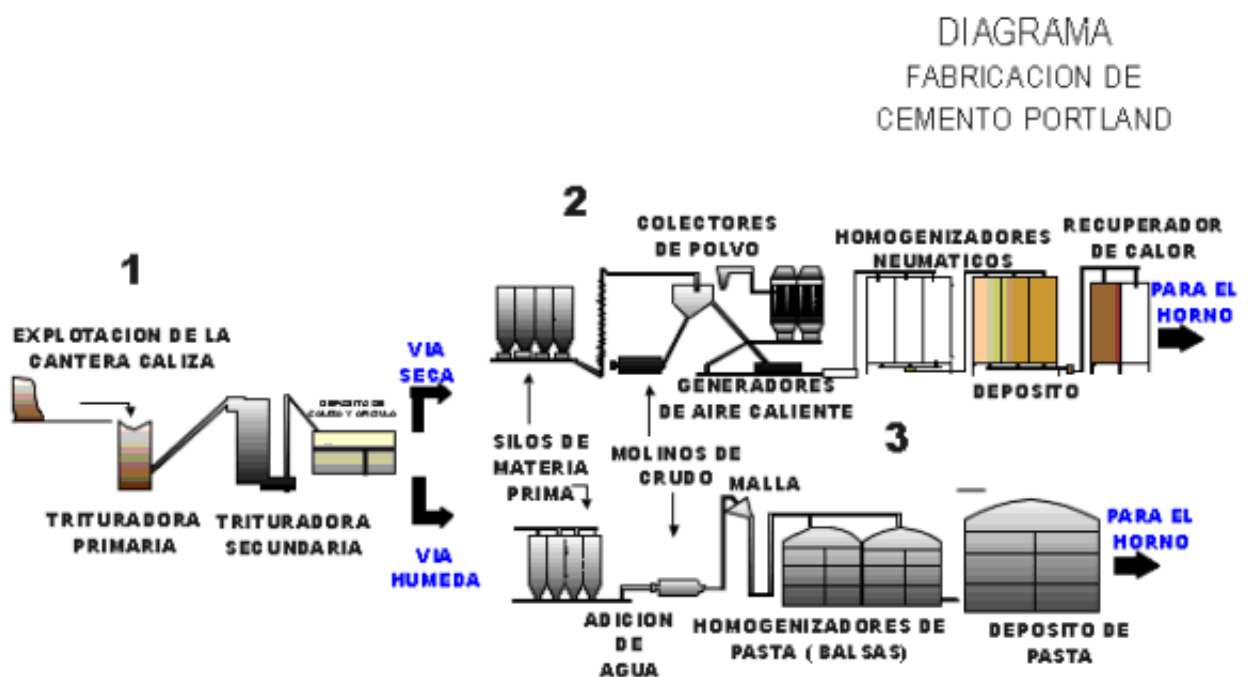
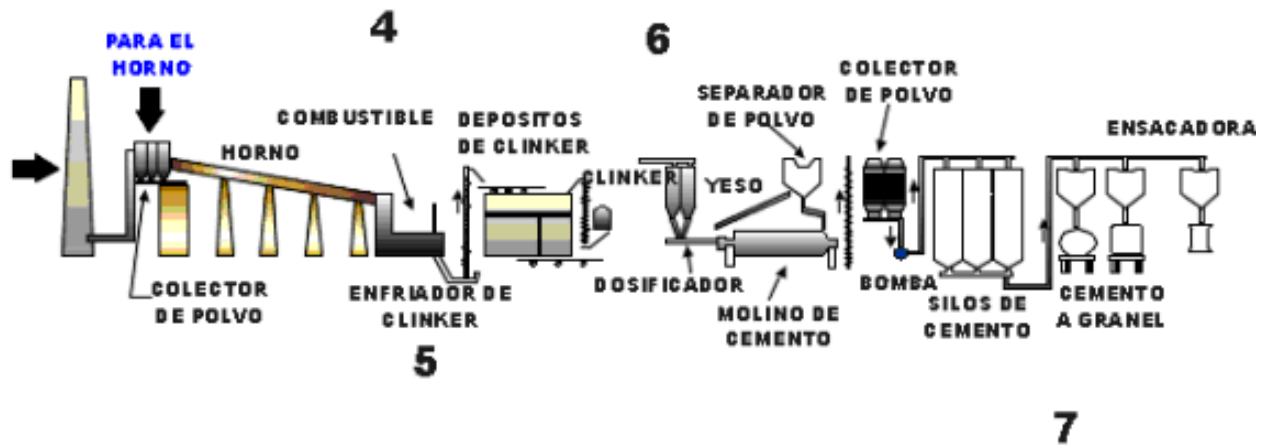


DIAGRAMA FABRICACION DE CEMENTO PORTLAND fase 2



1. Obtención y preparación de las materias primas

Su obtención se lleva a cabo en canteras o minas a cielo abierto, donde los materiales blandos como las arcillas se obtienen por excavación y los materiales duros como las calizas mediante perforación o voladura, taqueo y trituración.

Las materias primas extraídas en la cantera por voladuras, se trituran en machacadoras de mandíbulas hasta un tamaño de 20-25 mm. El material triturado debe secarse dado que su humedad dificulta la posterior molienda. Posteriormente la mezcla de materias primas y de correctores, en su caso, perfectamente dosificada para que el contenido en óxidos sea el preciso para el tipo de cemento que se ha de fabricar, y molida recibe el nombre de crudo y con ella se alimenta el horno.

2. Cocción

La cocción del crudo se realiza en hornos rotatorios ligeramente inclinados que están formados por un tubo cilíndrico de acero revestido interiormente de material refractario cuya longitud alcanza hasta 150 m y cuyo diámetro puede sobrepasar los 4.5m.

Produciéndose las siguientes reacciones:

Arcilla + calor \rightarrow arcilla activada + agua

Caliza + calor \rightarrow CaO + CO₂

En el horno, el crudo se transforma por cocción, hasta la sinterización, en clinker.

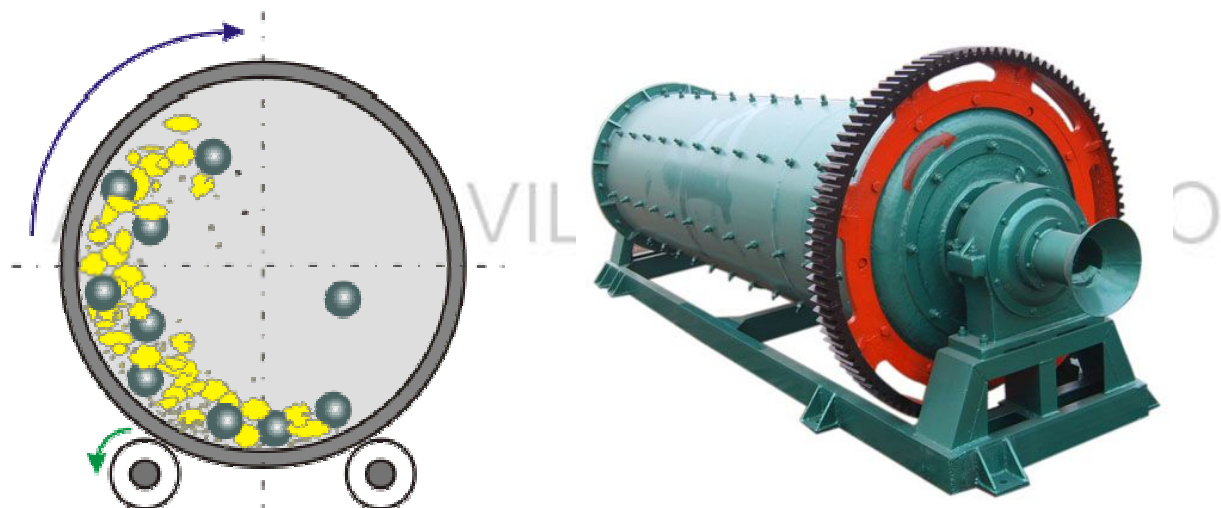
3. Molienda

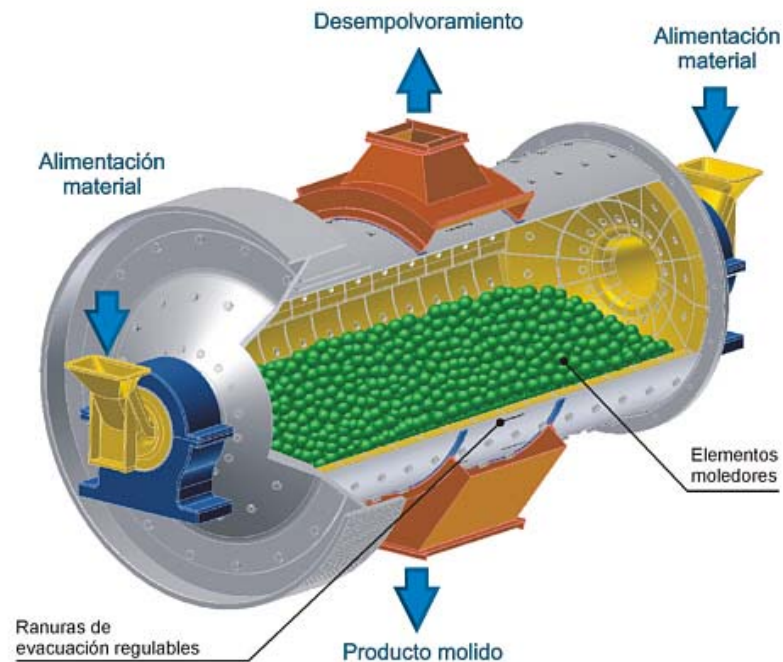
El clinker y el yeso (sulfato de calcio dihidrato) que actúa como regulador de fraguado se muelen conjuntamente a un grado de finura elevado en molino de cemento, la proporción de yeso a emplear depende del contenido de aluminato tricálcico.

Aparte de estos dos componentes fundamentales pueden adicionarse al molino puzolanas anaturales, cenizas volantes, humo de sílice, escorias siderúrgicas, caliza, etc... cuando se pretendan conseguir cementos de características especiales frente a determinados medios, así como mejorar el balance energético del proceso de fabricación.

Pueden añadirse también aditivos que en cantidades inferiores al 1% se pueden utilizar eventualmente para facilitar el proceso de fabricación del cemento, los aditivos no deben perjudicar las propiedades y comportamientos de los morteros y hormigones.

Los molinos de cemento son molinos de bolas que similares a los de crudo, llevan un estricto control de temperatura.





4. Suministro, Recepción y Almacenamiento

Si se trata de sacos, éstos deben llevar impreso en una de sus caras el tipo y clases de cemento, así como la marca comercial y, eventualmente, las restricciones de empleo. La toma de muestras y los ensayos de recepción deben llevarse a cabo según indica la Instrucción española RC-08. Si el cemento posee un sello o marca de conformidad oficialmente homologado, la Dirección Facultativa puede eximirlo de los ensayos de recepción. Cuando el cemento experimenta un almacenamiento prolongado, puede sufrir alteraciones consistentes en la hidratación de sus partículas más pequeñas (meteorización), que pierden así su valor hidráulico. Esto se traduce en un retraso en los tiempos de fraguado y en una disminución de las resistencias mecánicas, especialmente las de compresión a cortas edades.

La meteorización del cemento se traduce también en un aumento de la pérdida al fuego, correspondiente a las partículas finas meteorizadas. Este ensayo es el que detecta la meteorización de forma más directa y cuantitativamente expresiva. A veces puede utilizarse un cemento ligeramente meteorizado, pero teniendo en cuenta sus nuevas características: su distinta granulometría, su retraso en el fraguado y su eventual pérdida de resistencias mecánicas. Al desaparecer los finos, disminuyen el calor de hidratación y la retracción en las primeras edades, requiriendo tanta más agua de amasado cuanto mayor haya sido el proceso de meteorización.



ALBERTO VILLARINO OTERO

2.6 HORMIGON

El hormigón, tal y como se conoce hoy día, es un material de construcción constituido básicamente por rocas, de tamaño máximo limitado, que cumplen ciertas condiciones respecto a sus características mecánicas, químicas y granulométricas, unidas por una pasta formada por un conglomerante (cemento) y agua. A este material básico y en el momento de su amasado, pueden añadirse otros productos o materiales para mejorar algunas características determinadas. El que al hormigón se le considere hoy como al rey universal de los materiales de construcción se debe a sus indiscutibles ventajas.

En primer lugar, es un material que permite conseguir piezas de cualquier forma por complicada que ésta sea, con la única limitación de la complejidad del molde y ello debido al carácter plástico que posee cuando se encuentra en estado fresco.

En segundo lugar, es un material con resistencias apreciables a compresión y que aunque posea ciertas resistencias débiles a tracción, permite aumentarlas apreciablemente valiéndose del acero que se puede colocar en su interior en los lugares adecuados, dando lugar al hormigón armado y pretensado.

En tercer lugar, presenta la ventaja sobre otros materiales resistentes de proporcionar piezas de un gran monolitismo, incluso en los nudos, haciendo que pueda prescindirse de juntas o uniones que, a veces, son zonas débiles.

Podríamos dar otras muchas razones de peso que justifican el lugar de privilegio que ocupa, pero quizás una de las más notable sea el que está formado por materiales abundantes y baratos por lo que es difícil suponer que en un futuro próximo le puedan salir competidores que le hagan perder el primer puesto.

Pero no todo son ventajas en el hormigón, pues a este material se le pueden poner serios inconvenientes. Es un material pesado con una relación peso/ resistencia elevada; comparando su resistencia a la tracción con la de compresión se observa una fuerte descompensación lo que habla muy mal de su isotropía; presenta cierta inestabilidad de volumen frente a acciones térmicas, hidráulicas o mecánicas que pueden figurarlo, eliminando así una de sus principales características: su monolitismo; por otra parte, el hormigón es sensible a determinados agresivos de tipo físico o químico, algunos de los cuales pueden llevarlo a la ruina en un tiempo relativamente corto.

De todas formas, los inconvenientes que presenta el hormigón no responden a valores fijos ya que muchos de ellos pueden reducirse tanto que hasta pueden llegar a anularse dependiendo mucho de la elección que se haya hecho de los materiales componentes, la calidad del proyecto del mismo, de su ejecución, puesta en obra, consolidación y curado. Las facetas negativas que pueden presentar un hormigón pueden eliminarse si se posee un amplio conocimiento de sus problemas y de las posibilidades que nos ofrecen los nuevos materiales y tecnologías.

Hace 5.000 años aparecen en el norte de Chile las primeras obras de piedra unidas por un conglomerante hidráulico procedente de la calcinación de algas. Los romanos dieron un paso importante al descubrir un cemento que fabricaban mezclando cenizas volcánicas con cal viva: cemento de puzolanas. El primer paso en el empleo de la actual materia prima de los cementos se dio en Inglaterra en 1756, al descubrirse que las calizas que poseían una proporción importante de arcillas proporcionaban morteros de mejores características. Puede decirse que el primer padre del cemento fue Vicat, que propuso en 1817 el sistema de fabricación que se sigue empleando en la actualidad: mezclas de calizas y arcillas dosificadas en las proporciones convenientes y molidas conjuntamente.

La primera patente para la fabricación de cemento fue otorgada en 1824 a Joseph Aspdin quien denominó al producto obtenido con el nombre de "cemento Portland" debido a que el color del hormigón logrado se parecía a la piedra natural de Portland, situada al sur de Inglaterra. A partir de 1845 se comienzan a fabricar objetos en los que se combina el hormigón y el acero surgiendo de esta forma el primer hormigón armado. Es en 1875 cuando se construye en Francia el primer puente de hormigón armado con una luz de 16,5 m., pero es a partir de 1890 cuando adquiere un impulso extraordinario su empleo. En España, ya en 1897, el ingeniero de Caminos José Eugenio Rivera, construye numerosas obras con hormigón. En 1910 se introduce la enseñanza del hormigón armado en la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid. A principios de 1933, Freyssinet proyecta y construye los primeros postes prefabricados de hormigón pretensado para la transmisión de energía eléctrica.

Wright, Eduardo Torroja, Pier Luigi Nervi son figuras señeras en el empleo del hormigón armado y pretensado.

El hormigón, en su constante evolucionar, cada día ha ido perfeccionándose como consecuencia de la mejora experimentada por los materiales que lo componen y el avance de la tecnología. Los cementos especiales en la actualidad no se parecen en nada al cemento de Aspdin, las mejoras que han experimentado han sido muy importantes, no solo en cuanto a ahorro energético (actualmente un cemento requiere para su fabricación menos de la mitad de calorías por tonelada que la que se precisaba en 1940), sino que también en cuanto a sus características de composición y granulometría que han hecho que la evolución de sus resistencias a edades de 28 días sea más rápida que la de los cementos de hace sólo unos años.

Los áridos también han contribuido a la mejora de los hormigones: el conocer la reacción superficial que se produce entre ellos y la pasta de cemento ha dado lugar a una mejora importante de la adherencia entre estos materiales.

El empleo de superfluidificantes permite conseguir hormigones prácticamente autonivelantes pero que presentan unas altas características resistentes o bien, hormigones perfectamente trabajables con reducida relación agua/cemento y muy altas resistencias.

Los modernos vibradores permiten conseguir una amplia gama de frecuencias que hace que puedan entrar en vibración simultáneamente todos los gránulos del hormigón desde los áridos más gruesos hasta las partículas más finas; por otra parte, mediante el empleo simultáneo de compresión y vibración puede lograrse consolidar hormigones muy secos y conseguir resistencias muy elevadas.

El hormigón se ha impuesto de tal forma que hoy es imposible encontrar una construcción en la que no esté presente en alguna parte de la misma. Se puede decir que el hormigón es un material universal pues, en cualquier país, por pequeño que sea, existen áridos y materias primas para fabricar cemento y por tanto para hacer hormigón. Es de esperar que en un futuro próximo, el hormigón continúe perfeccionándose, mejorando sus características mecánicas y reduciendo, poco a poco, los defectos que como cualquier otro material de construcción posee con lo cual sus perspectivas de empleo serán cada vez más prometedoras.

A su favor juega el ser un material noble compuesto por otros muy abundantes y económicos, con una capacidad muy amplia de adquirir por moldeo una gran variedad de formas, con unas resistencias mecánicas buenas y que cada vez van incrementándose y con un consumo de energía de formación muy pequeño, frente a otros materiales de uso en construcción.

CLASIFICACION DE LOS HORMIGONES

Por su Densidad

Los hormigones estructurales pueden clasificarse por su densidad en

Ligerosde 1.200 a 2.000 kg/m³.
Normales de 2.000 a 2.800 kg/m³
Pesados.....más de 2.800 kg/m³.

Por su composición

Hormigón ordinario: Confeccionado con áridos pétreos (naturales y de machaqueo) con una curva granulométrica continua, teniendo áridos gruesos y finos, en proporciones adecuadas.

Hormigón sin finos: Son hormigones en los que no existe el árido fino o las fracciones más finas de este. Son porosos y filtran el agua.

Hormigón Ciclópeo: Es hormigón ordinario al que se le añaden, durante su puesta en obra, áridos de un tamaño mayor de 30cm de diámetro. Vertido en proporciones que no se pierda la compacidad aceptada. Se utiliza en cimentaciones, cuando estas son excesivamente profundas.

Hormigón Unimodular: Es un hormigón donde el árido es de un único tamaño, dando hormigones muy porosos.

Hormigón ligero: Hormigón donde el árido grueso es de baja densidad (pumita, escorias granuladas, arcillas expandidas, etc.).

Hormigón pesado: compuesto de conglomerante y árido de alta densidad. Se usa para estructuras o muros para impedir radiaciones.

Hormigón Refractario: Hormigón que resiste altas temperaturas, así como la abrasión en caliente. Se fabrica con cemento de aluminato de calcio y áridos refractarios.

En función de su Armado

Hormigón en masa: Es un sistema constructivo, estructural o no, que emplea hormigón sin armadura o con esta en cantidad y disposición muy pequeña. Es apto para resistir compresiones.

Hormigón armado: Es un sistema constructivo generalmente estructural, donde el hormigón lleva incorporado armaduras metálicas a base de redondos de acero corrugado, con la misión de resistir los esfuerzos de tracción y flexión. De este modo se consigue un material resistente tanto a los esfuerzos de compresión como a los de tracción. Los esfuerzos de compresión son soportados por el hormigón. Los esfuerzos de tracción se resisten gracias a la armadura. La obtención de estructuras de hormigón armado se lleva a cabo del modo siguiente: se dispone un encofrado o molde con la forma del elemento de construcción que se desea conseguir, se introduce en él la armadura de acero y se vierte el hormigón fresco en el interior del encofrado, de modo que recubra y envuelva la armadura. Cuando el hormigón ha fraguado, se retira el encofrado y se obtiene el elemento. Así, en el caso de una viga, la armadura se sitúa en la zona inferior del elemento, que está sometida a esfuerzos de tracción, mientras que la masa del hormigón se acumula en la zona superior, sometida a esfuerzos de compresión. De este modo, las vigas soportan bien los esfuerzos de flexión, que, como se sabe, son el resultado de la combinación de esfuerzos de compresión y de tracción. Por otra parte, el recubrimiento del hormigón, una vez fraguado, garantiza la impermeabilidad de la estructura y, por lo tanto, la inoxidabilidad de la armadura de acero. Como la unión entre el hormigón y el acero es puramente mecánica, es conveniente que las barras de refuerzo estén retorcidas o posean salientes superficiales, con el fin de incrementar la adherencia y evitar el deslizamiento. El hormigón armado se emplea en todas las estructuras realizadas con hormigón tales como cimentaciones, tanto como de zapatas como de zanjas, arriostramiento o zunchos, pilares, jácenas, vigas y viguetas, etc.

Hormigón pretensado: Si los esfuerzos de tracción a los que se somete el hormigón armado son muy grandes, las barras de las armaduras pueden experimentar dilatación elástica, con lo que el hormigón que las recubre se rompe. Para mejorar la resistencia del hormigón a grandes esfuerzos de tracción, se tensan previamente las barras de acero con el fin de compensar la dilatación que pudieran experimentar. Así se obtiene el hormigón pretensado. El hormigón pretensado es una variedad de hormigón armado cuyas varillas han sido *tensadas* antes de que se produzca el fraguado del hormigón. Posteriormente se desarrolló el hormigón postensado, en el que las varillas se introducen en el hormigón y se tensan después de que éste ha fraguado. Sin embargo, la denominación *de* hormigón pretensado se ha generalizado para ambas técnicas.



COMPONENTES DEL HORMIGÓN

Los componentes básicos del hormigón son cemento, áridos, agua y eventuales aditivos. Se estudiará cada componente en detalle a continuación,

CEMENTO

El cemento ha sido estudiado en el apartado anterior. Los cementos que se pueden utilizar para la confección de hormigones son aquellos que cumplan la Instrucción para la Recepción de Cementos RC-08 así como las condiciones físicas, mecánicas y químicas que deben cumplir estos cementos

AGUA

El agua es el segundo componente del hormigón, empleándose en el amasado del mismo y en el curado. El agua de amasado que participa en las reacciones de hidratación del cemento y además confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra.

El **agua de amasado** tiene las **misiones** de:

- Hidratar los componentes activos del cemento (participa en las reacciones de hidratación del cemento)
- Actuar como lubricante haciendo posible que la masa fresca sea trabajable por lo que confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra pero teniendo cuidado con el exceso de ésta pues provoca más porosidad y disminuye la resistencia. Si el agua empleada en el amasado del hormigón es la justa, tendremos hormigones poco trabajables, por eso hay que echar más

cantidad, de la estrictamente necesaria para hidratar el cemento, para obtener un hormigón trabajable. Como principal elemento hidratador del cemento, para lo cual se necesita una cantidad relativamente pequeña. Para hidratar un determinado peso de cemento sólo es necesario, desde el punto de vista químico, una cantidad de agua que varía entre 0'20 y 0'22 veces el peso de dicho cemento. Esto daría lugar a hormigones muy secos, difíciles de trabajar. Por lo que, a pesar de la disminución de resistencia que origina, la relación w/c (en peso) que empleamos debe ser mayor o igual a 0'3. La cantidad de agua de amasado debe limitarse al mínimo estrictamente necesario, ya que el agua en exceso se evapora y crea una serie de huecos en el hormigón que disminuye la resistencia.

El agua debe estar limpia y exenta de impurezas por encima de ciertos límites. Las aguas que son aptas para la bebida, excepto algunas aguas minerales, son aptas para el amasado del hormigón, aunque hay algunas no potables que pueden usarse en el amasado.

El **agua de curado** aportando la humedad necesaria durante las primeras edades de endurecimiento para compensar las pérdidas de agua por evaporación y permitir que se siga produciendo la progresiva hidratación del cemento que van dando lugar al aumento de resistencias mecánicas.

La EHE-08 dice prescribe que el agua utilizada, tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, no deben contener ningún ingrediente dañino en cantidades tales que afecten a las propiedades del hormigón o a la protección de las armaduras frente a la corrosión. En general podrán emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica.

Deben cumplir una serie de limitaciones:

-**pH** Las aguas con $\text{pH} > 5$ se pueden usar cementos ricos en cal. No obstante, no deben emplearse, pues producen modificaciones en el fraguado y endurecimiento, caída de resistencia y pérdida de durabilidad.

-**Sustancias disueltas ($< 15 \text{ gr/l}$)**. Se entiende por tal el residuo salino seco que se obtiene al evaporar el agua. De ellos los sulfatos y cloruros se estudian aparte. En terrenos con variación del nivel freático es recomendable bajar la limitación a 5 gr/l .

-**Sulfatos ($< 1 \text{ gr/l}$)**. El SO_3

-**Cloruros ($< 3 \text{ gr/l}$)**. Influye en la oxidación de las armaduras. se suma al que contiene el cemento y los áridos, por lo que hay que tener precaución cuando se está cerca de las limitaciones en cualquiera de los materiales.

-**Hidratos de carbono (= 0)**. Retrasan o impiden el fraguado.

-**Sustancias orgánicas ($< 15 \text{ gr/l}$)**. Son aceites, grasas, humus, restos orgánicos vegetales que reaccionan con la cal liberada. Puede emplearse un agua agresiva que produzca un 15% como máximo de pérdida de la resistencia a compresión comparado con un hormigón fabricado con aguas potables.

La utilización del agua de mar reduce la resistencia del hormigón, en un 15% aproximadamente. Por ello, su empleo, únicamente permitido en hormigón sin armaduras, debe condicionarse, no solo a que sean o no admisibles las manchas y eflorescencias que habitualmente originan su uso, sino también a que el

hormigón con ella fabricado cumpla las características resistentes exigidas. Se recomienda en estos casos la utilización de un cemento con características adicionales MR o SR.

ÁRIDOS

Son productos granulares inertes, de naturaleza orgánica procedentes de las rocas y que interviene como componente del hormigón. Los áridos deben ser inertes y no modificar las características del hormigón, para lo cual no deben reaccionar con el cemento.

Aunque no toman parte en el fraguado y endurecimiento del hormigón, los áridos desempeñan un papel muy importante en las características de este material. En efecto, aproximadamente el 80% del volumen del hormigón está ocupado por áridos siendo el resto la pasta de cemento que rellena los huecos existentes entre ellos y que crea una capa que envolviendo a los gránulos los mantiene unidos.

Los áridos cumplen en el hormigón tres **funciones** fundamentales:

- Disminuye las retracciones propias de la pasta de cemento. En las primeras edades de endurecimiento el hormigón sufre una disminución de volumen (retracciones) tanto mayores cuanto mayor sea la cantidad de cemento empleado, pudiendo provocar, especialmente en elementos de gran volumen, grietas y fisuras que faciliten las vías de acceso para el ataque por corrosión de las armaduras y un debilitamiento mecánico del hormigón. Los áridos que intervienen en el hormigón evitan o disminuyen esta fisuración.

- Abaratar el costo del producto por unidad de volumen al ser un material muy barato, en comparación con el cemento. Al ser de menor coste que la pasta de cemento, se desprende que cuanto mayor sea el peso de los mismos más económico será el hormigón

- Ejercen una influencia muy positiva en las resistencias mecánicas, fluencia, abrasión e incluso durabilidad del hormigón.

Los áridos se pueden **clasificar** según su procedencia (o naturaleza) y según su tamaño:

Según Procedencia o Naturaleza

Aridos naturales: proceden de la desintegración natural o artificial de rocas sin más transformaciones que las mecánicas de cribado, lavado...A su vez estos se clasifican según la composición (en función de la familia petrológica de procedencia) pueden ser silíceos, calizos, graníticos, basálticos, etc.Según el proceso mecánico que han experimentado para su suministro y uso, de machaqueo obtenidos por desintegración artificial mediante trituración, poseen superficies rugosas y aristas vivas) y rodados los que proceden de la desintegración natural y erosión de las rocas que son en general redondeados con superficies lisas sin aristas

Los áridos rodados proporcionan hormigones dóciles y trabajables con una cantidad de agua discreta. Los áridos de machaqueo dan hormigones más resistentes, ya que al ser angulosos se traban unos con otros, pero tienen menos trabajabilidad

Áridos artificiales: fabricados con materias primas que sufren una transformación mecánica, térmica y química. Se clasifican según el proceso de obtención. En su designación debe figurar siempre referida al proceso de fabricación es el caso de las arcillas expansivas y las escorias siderúrgica

Por su Tamaño

Los áridos deben tener un tamaño comprendido entre ciertos límites superiores e inferiores. Dentro de estos límites, las partículas se suelen dividir en varios grupos comprendidos entre diversos tamaños límites que, mezclándoles en las proporciones adecuadas dan lugar a un árido compuesto que tenga la máxima capacidad. La división más simple es en dos grupos que denominados árido fino y árido grueso.

La Instrucción española define como **árido fino o arena** a la fracción del mismo que pasa por el tamiz de 4 mm de luz de malla., siendo **árido grueso** la fracción del mismo que queda retenida en ese tamiz; dentro de esta clasificación aún se puede hacer una subdivisión: arena gruesa, de tamaño entre 4 y 2 mm.; arena fina, entre 2 y 0,08 mm.; y finos, inferior a 0,08 mm.

En los áridos gruesos también existe una subdivisión en grupos que reciben diversos nombres (piñoncillo, garbancillo, almendrilla, gravilla, grava, morro, etc.) según las distintas regiones, por lo que para evitar confusiones es preferible denominarles según los tamaños de sus límites extremos (árido 3/6, 6/12, 12/20, 20/40, etc).

La arena es el árido de mayor responsabilidad en los hormigones. No es posible hacer un buen hormigón con una arena mala. Las arenas procedentes de machaqueo son siempre buenas mientras no tengan exceso de finos, sean sanas y no estén descompuestas. En general, las variaciones de la granulometría de las gravillas y gravas influye poco en la resistencia de los hormigones a igualdad de relación agua/cemento; sin embargo, no ocurre igual con las variaciones en la granulometría de las arenas, pues dependiendo de la composición de estas las propiedades del hormigón variarán de forma notable. Un exceso de finos disminuye la calidad del hormigón en todos los aspectos.



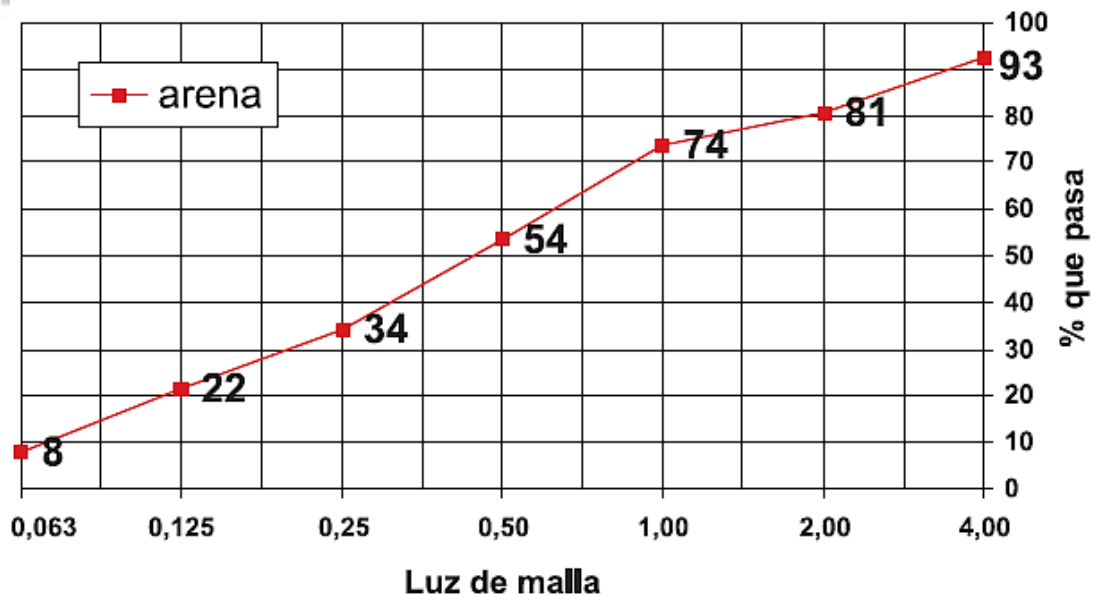
Tamiz

El **análisis granulométrico** de un árido consiste en determinar la distribución por tamaños de las partículas que lo forman, o sea, en separar al árido en diferentes fracciones de partículas del mismo tamaño, y hallar el porcentaje que entra en el árido cada uno de ellos. El estudio de la distribución por tamaños de un árido se hace cribándolo a través de una serie de tamices normalizados

Al realizar el análisis granulométrico se inicia el cribado por el tamiz mayor de la serie; una fracción del mismo pasará por él y otra quedará retenida, la fracción que pasa se somete a cribado por el tamiz inmediatamente inferior y así sucesivamente. La relación entre el peso retenido en cada tamiz con respecto al peso total de la muestra nos da el porcentaje retenido parcial por ese tamiz.

Los análisis granulométricos permiten determinar en que proporciones se han de mezclar los áridos para obtener una granulometría del árido resultante que se parezca lo más posible a una curva granulométrica ideal de compacidad máxima. Una vez realizado el tamizado de la muestra, los resultados obtenidos se representan en un gráfico (**curva granulométrica**) en el que en ordenadas se colocan en escala decimal los porcentajes que pasan acumulados por cada tamiz y, en abscisas y en escala logarítmica (a fin de que la separación entre los distintos tamices sea la misma dado que estos están en progresión geométrica de razón 2) la abertura de los tamices. Las curvas granulométricas además de ser muy útiles para la composición de áridos distintos, tienen la ventaja de permitir identificar rápidamente si estos tienen exceso de fracciones gruesas o finas, o la presencia de discontinuidades en la distribución por tamaños.

ALBERTO VILLARINO OTERO



ADITIVOS

Aditivos son aquellas sustancias o productos que, incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

La fabricación de un hormigón con aditivos debe realizarse con un control adecuado de la cantidad de aditivo incorporado ya que un exceso importante puede tener consecuencias negativas en el hormigón resultante. Los aditivos se transportarán y almacenarán de manera que se evite su contaminación y que sus propiedades no se vean afectadas por factores físicos o químicos (heladas, altas temperaturas, etc.). El fabricante suministrará el aditivo correctamente etiquetado.

Los aditivos se pueden clasificar en los siguientes tipos:

-Aditivos que modifican la reología (estudio de la deformación y el fluir de la materia) del hormigón fresco

Sustancias o productos que modifican o mejoran la trabajabilidad, (ductilidad, manejabilidad, docilidad...) del hormigón

-Plastificantes. ,Fluidificantes. ,Superplastificantes.

-Aditivos que modifican el fraguado y/o endurecimiento

Aceleradores de fraguado: tienen como función principal reducir o adelantar el tiempo de fraguado (principio y final) del cemento que se encuentra en hormigón, masa o pasta.

Retardadores de fraguado: función principal, retardar el tiempo de fraguado (principio y final) del cemento que se encuentra en el hormigón.

Aceleradores de endurecimiento: desarrollan rápidamente la resistencia mecánica pudiendo disminuir tiempos de fraguado. Pueden provocar retracciones y disminuir las resistencias finales.

-Aditivos que modifican el contenido de aire

Inclusores de aire

Generadores de gas

Generadores de espuma.

Desaireantes

-Aditivos que mejoran la resistencia a las acciones físicas

-Anticongelantes (evitan la congelación del hormigón fresco)

-Hidrófugantes (reducen la permeabilidad del hormigón).

-Otros aditivos

- Aditivos para el bombeo.
- Aditivos para proyección.
- Aditivos para inyección.
- Colorantes.

DOSIFICACION DE HORMIGONES

Los métodos de dosificación de hormigones tienen por finalidad encontrar las proporciones en que hay que mezclar a los diferentes componentes de los mismos para conseguir mezclas que posean determinadas características de consistencia, compacidad, resistencia, durabilidad, etc.

No existe un método único de dosificación, sino que pueden dividirse en dos grupos fundamentales: uno que tiene como principal dato de partida la dosificación de cemento (Fuller, Bolomey, Faury) y otro definido por las resistencias mecánicas, especialmente la de compresión (A.C.I., La Peña).

FABRICACION, TRANSPORTE Y PUESTA EN OBRA DEL HORMIGON

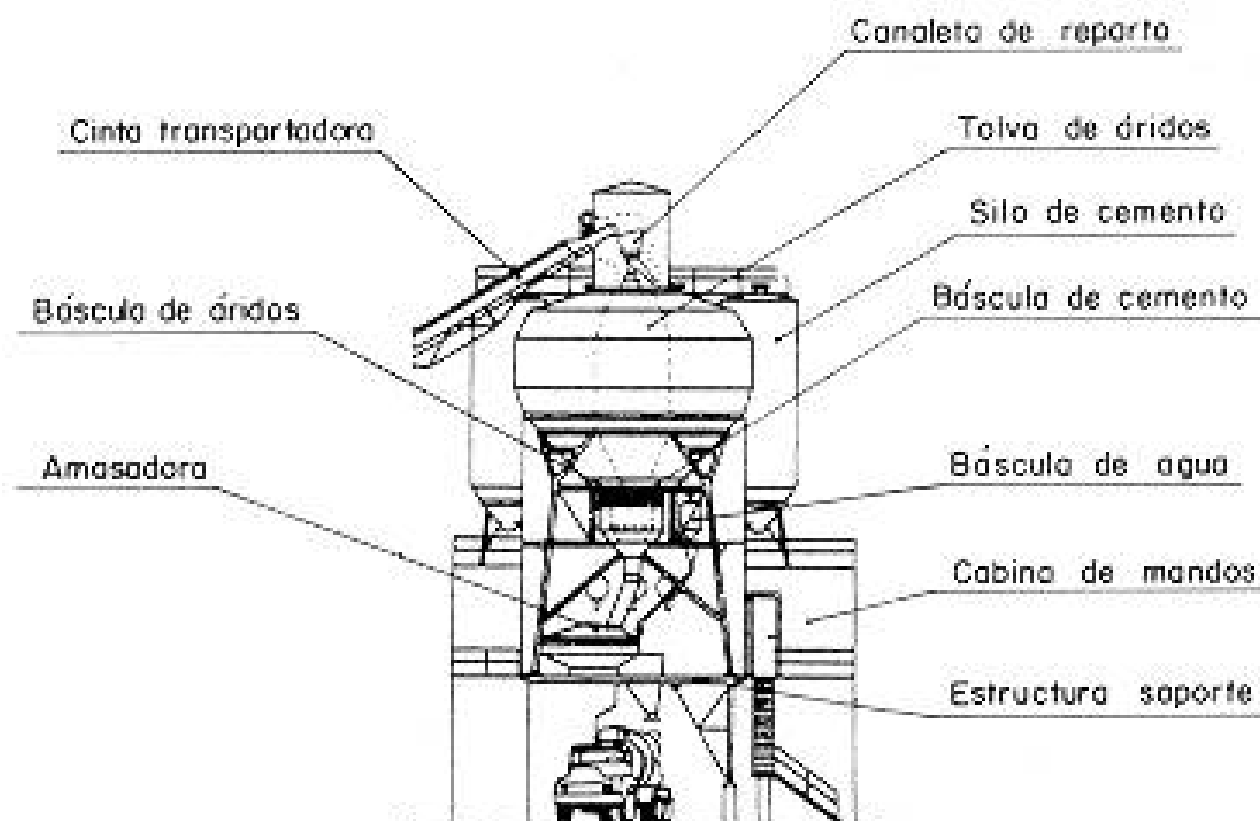
La fabricación del hormigón así como su puesta en obra, tiene una importancia capital en las características del producto obtenido.

Una vez determinada la dosificación adecuada según los criterios anteriores, se procede al amasado de los distintos componentes

El **amasado** del hormigón tiene por finalidad recubrir a los áridos de una capa de pasta de cemento y mezclar a todos los componentes hasta conseguir una masa uniforme. El amasado se realiza en mezcladores u hormigoneras. En pequeñas obras las hormigoneras más empleadas son las hormigoneras basculantes, pueden ser también de eje horizontal y de eje vertical. La mayor parte del hormigón utilizado en la construcción procede de plantas o centrales de hormigonado, que actualmente están muy automatizadas, con controles de calidad continuos.



Hormigonera basculante



Central de hormigonado



Una vez amasado el hormigón, hay que transportarlo hasta su lugar de empleo, pudiendo ser intermitente (carretillas, dumpers, camiones, blondines, grúas, etc.) o continuo (cintas transportadoras o bombeo).

ALBERTO VILLARINO OTERO

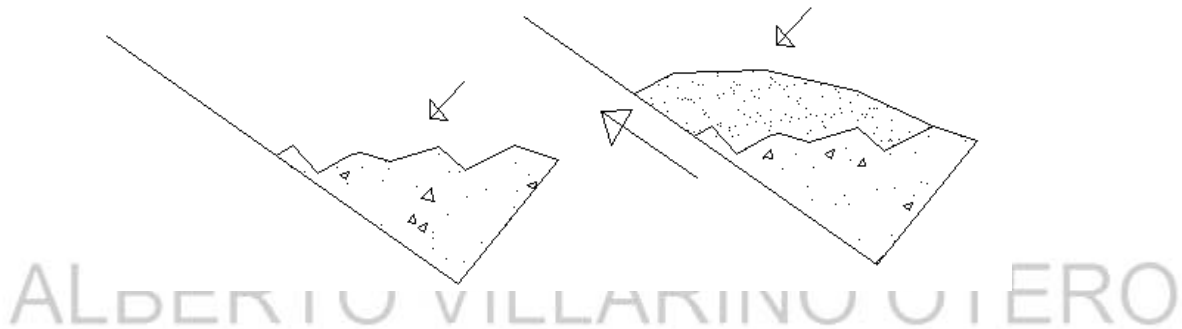


Camión hormigonera

Una vez situado el hormigón en el lugar de colocación se procede a su puesta en obra, siendo el medio más simple el vertido del hormigón desde el dispositivo de transporte al encofrado o lugar en que se vaya a colocar, pudiendo llegar a la colocación por bombeo.

Cualquiera que sea el método de puesta en obra del hormigón. Debe realizarse de manera que no se produzca la disgregación de la mezcla, tomando una serie de medidas:

- No se debe verter desde alturas superiores a 2 metros. a fin de impedir que se rompa la homogeneidad de la mezcla al caer más rápidamente el árido grueso que el resto de los componentes
- Se debe dirigir con canaletas que impidan el choque libre con encofrado o armaduras.
- Se vertirá por capas que se compactaran progresivamente.
- No se arroja con paletas o a gran distancia.
- El hormigonado inclinado se coloca el hormigón de abajo a arriba.



Camión bomba de hormigón



Cubilote de vertido de hormigón

Una vez extendido el hormigón, sea en una sola capa o en varias, hay que proceder a su consolidación, la cual puede realizarse mediante apisonado, picado con barra, vibrado, compresión simultánea con vibrado, etc.

El picado con barra: se realiza con una barra de 16 mm, con terminación redondeada, que se introduce repetidas veces de manera que atraviese la capa a consolidar y penetre en la inferior. Se emplea en hormigones de consistencia blanda y fluida, en obras de poca importancia, donde haya muchas armaduras en las que no se pueda emplear una masa seca.

Compactación por apisonado: se realiza por golpeo de un pistón repetidas veces. Las tongadas deben ser de poco espesor (-20cm), con consistencia plástica o blanda.

Vibrado: en general se exige el empleo de vibradores, lo cual permite el uso de hormigones con menor cantidad de agua. Mediante el vibrado se vencen las fuerzas cohesivas del hormigón transformándose el material en un fluido que se adapta perfectamente a las formas de los moldes. Estas fuerzas son mayores cuanto más seco es el hormigón. El vibrado no solo cierra y aprieta unos elementos contra otros, sino que reparte más uniformemente el agua. La vibración que se transmite es horizontal, quedando su acción limitada a la masa contenida en un tronco de cono. La distancia entre los puntos de inmersión debe ser la adecuada para producir en toda la superficie una humectación brillante, siendo preferible pinchar vibrando en muchos puntos poco tiempo que vibrar en pocos puntos con larga duración. El vibrador debe introducirse verticalmente de forma rápida y no mucho tiempo por riesgo de segregación y exudación en hormigones fluidos. Si el tiempo es muy reducido puede dar lugar a formación de coqueas. El vibrador se retirara de forma lenta para permitir que el orificio de salida se rellene.

Tipos de vibradores

Internos: de aguja. Hormigones plásticos en grandes masas, cimentaciones y estructuras.

Superficie: pavimentación. Reglas y plataformas vibrantes. El espesor de la capa terminada no debe superar los 20 cm.

Exterior: acoplados a encofrados. Se usan en prefabricación con hormigones secos.



Vibrador de aguja



Vibrador de aguja



Pisón vibrante



Plancha vibrante

Aunque lo ideal en toda construcción de hormigón es que el hormigonado sea continuo y sin juntas a fin de obtener un monolitismo total, en la práctica, esto es muy difícil de conseguir y salvo excepciones, hay que dejar juntas de trabajo por muy diversos motivos (final de la jornada de trabajo, mal tiempo en época de heladas, falta de materiales, poca definición de la obra, suspensión por motivos económicos, etc.).

Dos son los problemas que presentan las **juntas de hormigonado** y que pueden ser causa de fallos: una es la elección de la zona donde hay que realizarlas (lejos de las zonas sometidas a tracciones y normales a los esfuerzos de compresión) y la otra, el tratamiento a dar a las mismas (limpieza con chorro de arena o agua o cepillo de alambre, humedecerlas, adhesivos de tipo epoxi).

Para conseguir un buen hormigón con las propiedades deseadas hay que curarlo en un ambiente adecuado, después de ponerlo en obra y al menos durante los primeros días de vida.

El **curado del hormigón** tiene por finalidad impedir la pérdida de agua por evaporación y controlar la temperatura del mismo durante el proceso inicial de hidratación de los componentes activos del cemento. El curado no solo trata de asegurar la evolución de resistencias, sino que además tiene como misión impedir que el agua se evapore y que la desecación provoque fisuras.

Existen diversos como el curado en húmedo donde se trata de compensar la pérdida de agua por evaporación mediante la aportación de agua externa (riego continuo, colocación de sacos mojados o bien en impedir dicha evaporación mediante la creación de barreras impermeables. O el curado al vapor. En prefabricación se emplean curados acelerados con vapor (bien a presión atmosférica o a alta presión), para conseguir resistencias iniciales altas a fin de disponer cuanto antes de los moldes, tener más espacio disponible para la fabricación y menos capital inmovilizado.

PROPIEDADES CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN FRESCO

Denominamos "hormigón fresco" al hormigón que por poseer plasticidad tiene la facultad de poder moldearse. El hormigón fresco tiene una vida que está comprendida entre el momento en que abandona la amasadora u hormigonera y aquél en que se inicia el fraguado del cemento, siendo ésta vida variable en función del tipo de cemento empleado, de la dosificación del agua, de la temperatura, del empleo de aditivos, etc. Las propiedades más características del hormigón fresco son : la consistencia, la docilidad y la homogeneidad

Consistencia

Es la oposición que presenta el hormigón fresco a experimentar deformaciones, siendo por tanto, una propiedad física inherente al propio hormigón. La consistencia depende fundamentalmente de:

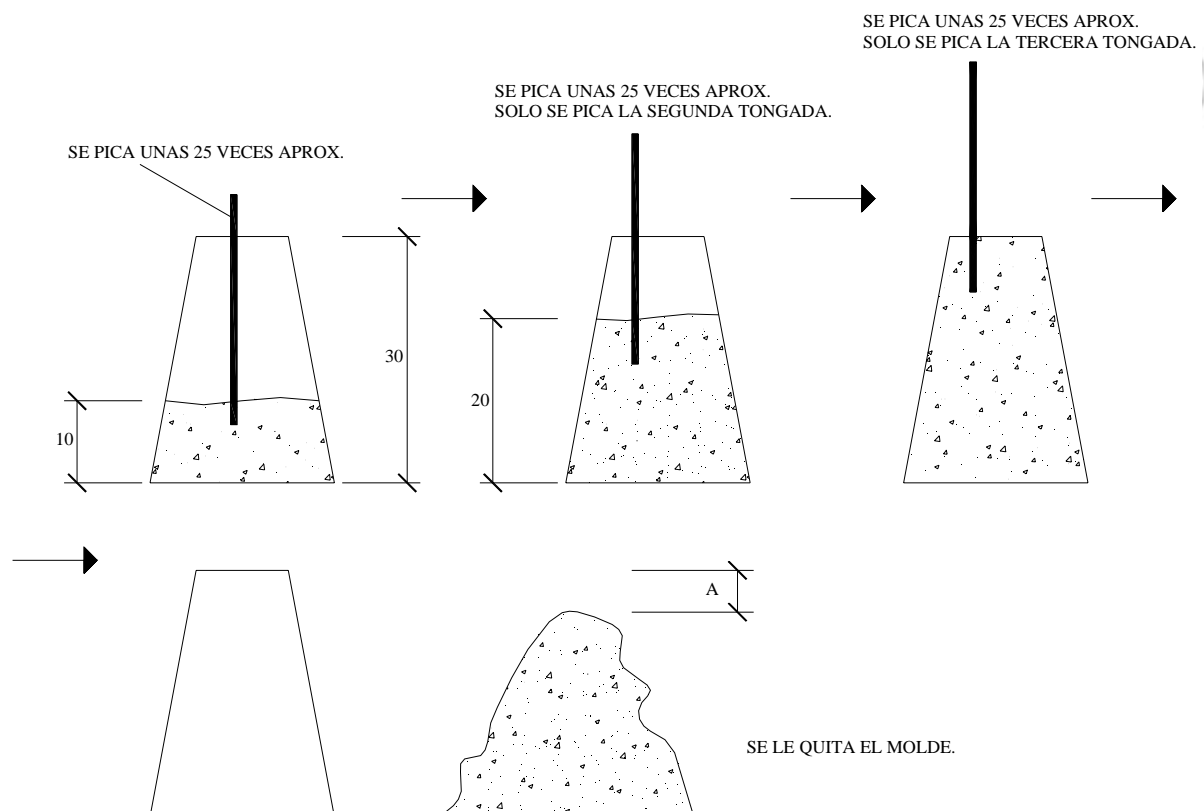
- Agua de amasado.
- Tamaño máximo del árido.

-Granulometría.

-Forma de los áridos (Rodados dan mas facilidad de adaptación que los de machaqueo) e Influye mucho el método de compactación.

La medida de la consistencia de un hormigón fresco puede realizarse por diversos métodos, siendo el más universal el empleo del cono de Abrams. Es un molde troncocónico metálico de 30 cm. de altura y de 10 y 20 cm. de diámetro inferior y superior respectivamente. Se llena de hormigón, se compacta con una barra de acero del 16, se enrasa superiormente y se retira el molde, midiendo el descenso de la superficie superior del hormigón. Este descenso, denominado "asiento" permite clasificar la consistencia de acuerdo con los valores siguientes:

Asiento (cm)	Consistencia
0-2	Seca
3-5	Plástica
6-9	Blanda
10-15	Fluida



Docilidad

Es la facilidad con que cantidades dadas de áridos, cemento y agua se transforman en hormigón y después éste, es manejado, transportado, colocado y compactado en los moldes o encofrados con la mínima pérdida de homogeneidad, es decir, sin que se produzca segregación y exudación. La docilidad depende de:

- Cantidad de agua de amasado (+ agua, + docilidad)
- Granulometría (+ arena, + docilidad)
- Tipo de árido (+ redondeado, + docilidad)
- Contenido de cemento (+ cemento y + fino, + docilidad)
- Plastificante

En general, secciones pequeñas y muy armadas requieren hormigones de alta docilidad, mientras que, por el contrario, en estructuras masivas, de grandes secciones y sin armar pueden colocarse mezclas menos dóciles, aunque siempre se debe emplear la máxima docilidad compatible con el método de puesta en obra disponible.

Un hormigón poco dócil es propenso a segregar, a dar resistencias menores a las previstas y a dar superficies poco vistosas cuando se desencofra. Indiscutiblemente ambas propiedades: consistencia y docilidad, no son totalmente independientes sino que están relacionadas, lo que permite tomar la consistencia como un índice de la docilidad al ser de más fácil medida que ésta.

De la consistencia van a depender la mayor parte de las características del hormigón, como son: la cohesión, compacidad, densidad, resistencia, impermeabilidad, acabado superficial, etc. Debido a su importancia, los hormigones se solicitan a las plantas suministradoras, como mínimo, por su resistencia, consistencia y tamaño máximo del árido.

Es preciso tener en cuenta que si un hormigón posee una consistencia más fluida que otro, esto no quiere decir que sea más dócil que éste porque la docilidad viene ligada con el método de puesta en obra y consolidación y puede ocurrir que un hormigón de consistencia seca, pero que ha de ser vibrado, sea más dócil que otro de consistencia blanda que por ir colocado dentro de un encofrado estrecho de una pieza fuertemente armada se consolide picándole con barra.

Homogeneidad

El hormigón es una mezcla de componentes sólidos muy diferentes y de un líquido, por consiguiente, tiene que ser un material heterogéneo; sin embargo, al decir que un hormigón debe ser homogéneo se indica que debe ser uniformemente heterogéneo, es decir, que en cualquier parte de la masa los componentes del hormigón deben estar perfectamente mezclados y en la proporción prevista al diseñar la muestra.

La mezcla adecuada de los componentes del hormigón y la homogeneidad de la masa se logra en la hormigonera, pero esta mezcla puede disociarse durante el transporte, el vertido y/o el compactado, dando lugar a que los elementos constitutivos tiendan a separarse unos de otros y a decantarse de acuerdo con su tamaño y densidad (segregación) o a que el agua se eleve hacia la superficie como consecuencia de la incapacidad de los áridos de arrastrarla con ellos al irse compactando creando una capa delgada, débil y porosa que no tiene resistencia ni es durable (exudación)

PROPIEDADES CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

Las características físicas de un hormigón endurecido dependen no sólo de la propia naturaleza de éste sino, también, de su edad y de las condiciones de humedad y temperatura a que haya estado sometido.

La característica física o mecánica más frecuentemente medida en los hormigones es la resistencia a compresión, debido principalmente a que es muy fácil de determinar y a que muchas de sus otras propiedades están relacionadas con ella, por lo que es un índice de su comportamiento, además de que, generalmente, el hormigón va a trabajar a compresión y, por tanto, el conocer su resistencia frente a ésta sollicitación es de gran interés.

Hay casos en los que el hormigón ha de trabajar a flexión como ocurre en pavimentos; en éstos es la resistencia a flexotracción la característica fundamental y hasta tal punto es importante que los hormigones empleados en firmes de carreteras, aeropuertos o viales industriales, se definen por éste tipo de resistencia.

Otras características muy importantes en el hormigón son la densidad, que va a dar una idea muy apreciable sobre su comportamiento tanto físico como químico y, la impermeabilidad que va a determinar en gran parte la resistencia que presenta frente a agresiones de tipo físico y químico, es decir, su durabilidad.

Densidad

La densidad de los hormigones es muy variable oscilando entre los 0,5 Tn/m³. de algunos hormigones celulares al valor próximo a 6 Tn/m³. que presentan los hormigones pesados de áridos de acero. En los hormigones tradicionales en masa, su valor suele estar próximo a 2,2 Tn/m³. y en los armados puede llegar hasta 2,5 Tn/m³. dependiendo de la cuantía del armado.

Resistencia a compresión

El hormigón es un material que resiste a las sollicitaciones de compresión, tracción y flexión. La resistencia que presenta frente a los esfuerzos de compresión es la más elevada de todas, cifrándose en unas diez veces de la tracción, y es la que mayor interés presenta su determinación como hemos dicho anteriormente.

Los hormigones en masa y armados, regulados por la Instrucción española, se clasifican de acuerdo con su resistencia característica a compresión a 28 días, en kgf/cm²., en los tipos siguientes:

H-125, H-150, H-175, H-200, H-225, H-250, H-300, H-350, H-400, H-450, H-500

La resistencia a compresión del hormigón puede determinarse mediante ensayos destructivos o no destructivos. Los más utilizados son los primeros realizándose probetas cilíndricas que se conservan en condiciones análogas a las de obra y se rompen a 7 y 28 días.

En la resistencia influyen una serie de factores: los materiales empleados, la relación agua/cemento (es el factor que más influencia tiene en la resistencia de un hormigón), el tamaño máximo del árido, la forma y dimensiones de las probetas y la edad del hormigón (28 días es la edad que se toma para el cálculo estructural).

Se establecen las siguientes **tipos de resistencias**:

Resistencia característica específica: (f_{ck} o resistencia de proyecto): es el valor que se adopta en el proyecto para la resistencia a compresión, como base de los cálculos. Se define como aquel valor con el que existe una probabilidad de que el 95% de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas mayores que F_{ck} (N/mm²).

Resistencia característica estimada $f_{c\ est}$ o resistencia media f_{cm} : es la media aritmética de los valores de rotura de un número finito de probetas.

Retracción y entumecimiento

Son cambios de volumen que experimenta el hormigón y que tienen lugar independientemente de los movimientos debidos a los cambios de temperatura o a las sollicitaciones mecánicas externas a que esté sujeto el cambio.

La retracción es una contracción que se presenta durante el fraguado y primera época del endurecimiento del hormigón, especialmente, si se produce una falta de agua en el mismo; está vinculada a la disminución de volumen originada por la evaporación del agua contenida en el hormigón, actúa en el instante que se hormigona la pieza por el contrario, el entumecimiento es una expansión o aumento de volumen del hormigón como consecuencia de absorción del agua.

Fluencia

Esta vinculada a una pérdida de humedad producida por la evaporación, al comprimirse por efecto de un axil, actúa el día de puesta en obra.

TIPIFICACIÓN O DESIGNACION DE HORMIGONES

$$T - R / C / TM / A$$

T = HM (hormigón masa), HA (hormigón amasado), HP (hormigón pretensado)

R = resistencia característica específica (N/mm^2) mínima 20 en HM, 25 en HA

C = letra inicial de la consistencia según el cono de abrams

TM = tamaño máximo del árido en mm

A = designación del ambiente

-Clase general de exposición relativa a la corrosión de armaduras: I, IIa, IIb, III, IV

- Clase de exposición relativa a otros procesos de deterioro distintos de la corrosión: Qa, Qb, F, H,

La resistencia mínima características no serán inferiores a:

- 20 N/mm^2 para HM

- 25 N/mm^2 para HA

Por ejemplo HM / 25 / P / 30 / I

APLICACIONES DEL HORMIGÓN

In situ

Formado sistemas estructurales en obras de edificación e ingeniería civil, tales como forjados, columnas pilares vigas, tableros de puentes cuerpos de presas etc.,,,,

Prefabricados

En estructuras.

-Estructuras de edificación completas de nudos articulados o de núcleo rígido

-Uniones de pilares a cimentaciones

-Vigas para naves industriales (peraltadas)

-Correas

-Vigas de puentes

-Paramentos verticales en edificios y fachadas.

-Viguetas y bovedillas

-Losas alveolares

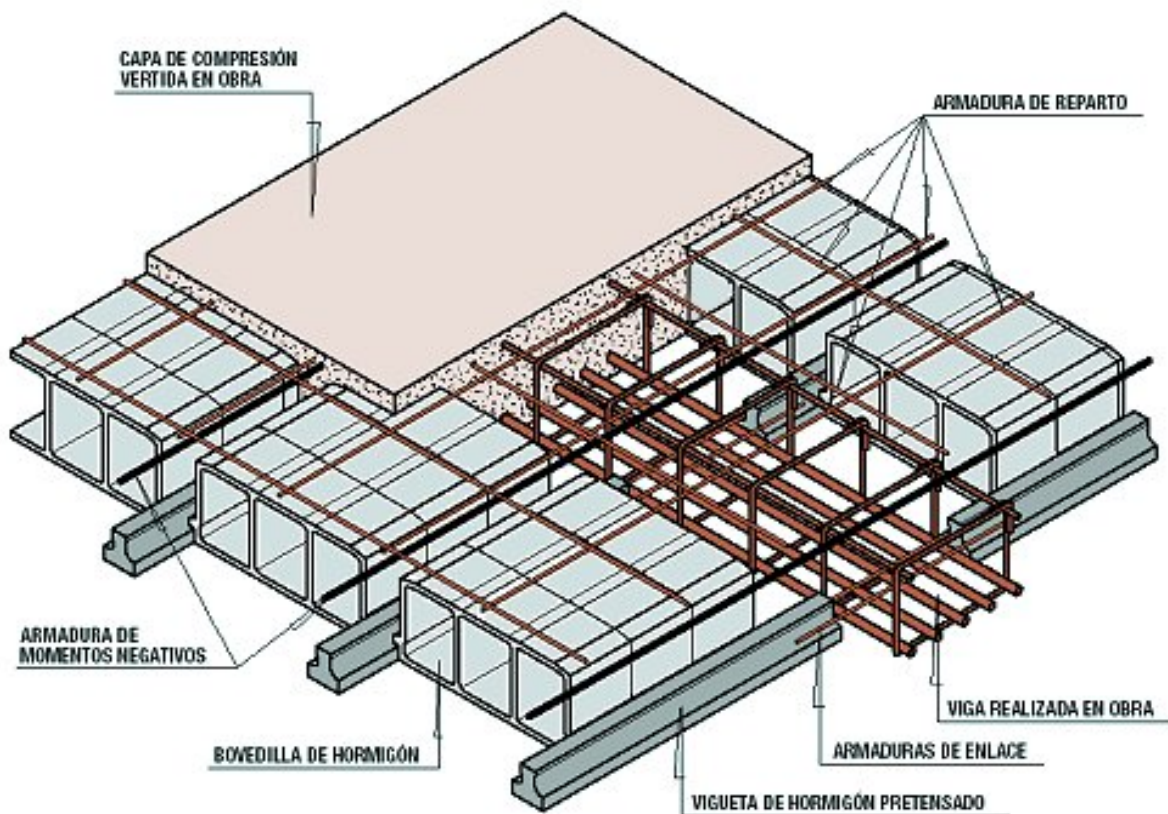
-Jácenas: viga horizontal, grande que sirve de soporte de otros elementos estructurales (vigas secundarias o viguetas).

-Bloques

-Tejas

-Adoquines

- Bordillos
- Baldosas para pavimentaciones exteriores
- Terrazos (baldosas para interior pulidas)
- Galerías de hormigón visitables para conducciones
- Tuberías de saneamiento de hormigón en masa o armado
- Accesorios para saneamiento como pozos de registro
- Muros de contención vegetalizables



Forjado vigueta bovedilla



Losa alveolar

ALBERTO VILLARINO OTERO