

ENSAYOS DE CALIDAD

REALIZADOS EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

IVÁN FOZ VIVANCOS

INDICE

0. Objetivo del proyecto.

1. Introducción al hormigón.

2. Definición de hormigón.

3. Historia del hormigón.

4. Constituyentes del hormigón.

4.1. Áridos.

4.1.1. Plantas procesadoras de áridos.

4.2. Pasta de cemento.

4.2.1 Cemento.

4.2.2 Definición.

4.2.3 Fabricación del cemento.

4.2.4 Clasificación del cemento.

4.2.4.1. Según su composición.

4.2.4.2 Según resistencia.

4.2.5 Constituyentes del cemento.

4.2.5.1 Composición porcentual de los constituyentes.

4.2.5.2. Características de los constituyentes.

4.3. Agregados pétreos.

4.3.1. Definición.

4.3.2. Propiedades.

4.3.3. Clasificación.

4.3.3.1. Según su tamaño.

4.3.3.2. Según su origen.

4.3.3.3. Según su peso.

4.3.3.4. Según las rocas.

5. Fraguado y endurecimiento del hormigón.

6. Métodos de fabricación del hormigón.

6.1. Diseño de mezclas de hormigón.

6.2. Métodos de dosificación.

6.2.1. FAURY - JOISE.

6.2.2. Sistema de dosificación A. C. I.

7. Características y comportamiento del hormigón.
 - 7.1. Propiedades del hormigón.
 - 7.2. Propiedades de un buen hormigón.
 - 7.3. Manejabilidad.
 - 7.4. Consistencia.
 - 7.5. Resistencias mecánicas.
 - 7.6. Impermeabilidad del hormigón.
 - 7.7. Durabilidad.
 - 7.8. Estado higrométrico de los áridos.
 - 7.9. Absorción.
 - 7.10. Compactación.
 - 7.11. Representación gráfica granulométrica.
 - 7.11.1 Gráfico ortogonal.
8. Ataques y esfuerzos.
 - 8.1. Ataque químicos.
 - 8.1.1. Sulfatos.
 - 8.1.2. Agua del mar.
 - 8.1.3. Ataque de los ácidos.
 - 8.1.4. Aguas puras.
 - 8.1.5. Hormigón sometido a ataques químicos.
 - 8.2. Esfuerzos mecánicos.
 - 8.2.1 Abrasión.
 - 8.2.2 Cavitación.
 - 8.3. Comportamiento ante el fuego.
 - 8.4. Reacción alcalisis agregados.
 - 8.5. Corrosión de las armaduras.
 - 8.6. Ciclos hielo-deshielo.
9. Defectos.
 - 9.1 Aluminosis.
 - 9.2 Deformaciones propias del hormigón.
 - 9.2.1. Retracción plástica.
 - 9.2.2. Retracción hidráulica.
 - 9.2.3. Retracción térmica.
10. Tipos de hormigón.

- 11. Transporte del hormigón.
 - 11.1. Equipos de transportes.
 - 11.2. Clasificación del hormigón para transporte.
 - 11.2.1. Según su densidad.
 - 11.2.2. Según resistencias mecánicas.
 - 11.2.3. Tipo.
 - 11.2.4. Especiales.
- 12. Viabilidad del reciclado.
- 13. Ensayos del hormigón.
 - 13.1. Generalidades y clasificación.
 - 13.2. Ensayos del hormigón fresco.
 - 13.2.1. Ensayos de consistencia.
 - 13.2.1.1. Cono de Abrams.
 - 13.2.1.2. Mesa de sacudidas.
 - 13.2.1.3. Consistómetro Vebe.
 - 13.2.2. Determinación de la densidad.
 - 13.2.3. Contenido de aire ocluido.
 - 13.3. Ensayos mecánicos mediante probetas enmoldadas.
 - 13.3.1. Método de ensayo a compresión.
 - 13.3.2. Método de ensayo a flexotracción.
 - 13.3.3. Método de ensayo a tracción indirecta.
 - 13.3.4. Métodos esclerométricos.
 - 13.3.5. Métodos por velocidad de propagación.
 - 13.3.6. Métodos por resonancia.
 - 13.3.7. Métodos combinados o mixtos.
 - 13.3.8. Métodos por absorción o difusión de isótopos radiactivos.
 - 13.4. Equivalencia entre distintas formas de probetas.
 - 13.5. Equivalencia entre distintas edades.
 - 13.6. Extracción y ensayo de probetas testigo.
- 14. Ensayos más comunes.
 - 14.1. Ensayo compresión.
 - 14.2. Ensayo asentamiento.
 - 14.3. Ensayo esclerométrico.
 - 14.4. Ensayo flexión.
 - 14.5. Ensayo tracción indirecta.
 - 14.6. Ensayo ultrasonidos.
 - 14.7. Ensayo Vebe.
 - 14.8. Ensayo mesa sacudidas.



Ingeniería Técnica Mecánica _ Iván Foz Vivancos

15. Informes ensayos.

15.1. Informe ensayo compresión.

15.2. Informe ensayo esclerométrico.

16. Conclusiones del proyecto.

0. Objetivo del proyecto.

El objetivo de este proyecto es estudiar los distintos ensayos de calidad que se realizan en los materiales que se utilizan en la construcción. En un principio, conoceremos de manera breve el material más común que se utiliza en la construcción, el hormigón. Después, conoceremos los ensayos más importantes que se realizan en los principales laboratorios de ensayo.

Más adelante nos centraremos en los ensayos más comunes o más utilizados en la actualidad.

Finalmente, estudiaremos diferentes resultados de ensayos más comunes realizados en un laboratorio en concreto y sacaremos las conclusiones necesarias.

1. Introducción al hormigón.

2. Definición de hormigón.

El hormigón es el material resultante de la mezcla de cemento (u otro conglomerante) con áridos (piedra, grava, gravilla y arena) y agua. La mezcla de cemento con arena y agua se denomina mortero.

La principal característica estructural del hormigón es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (tracción, flexión, cortante, etc.), por este motivo es habitual usarlo asociado al acero, recibiendo el nombre de hormigón armado, comportándose el conjunto muy favorablemente ante las diversas solicitaciones.

Además, para poder modificar algunas de sus características o comportamiento, se pueden añadir aditivos y adiciones, existiendo una gran variedad de ellos: colorantes, aceleradores, retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, fibras, etc. Cuando se proyecta una estructura de hormigón armado se establecen las dimensiones de los elementos, el tipo de hormigón, los aditivos, y el acero que hay que colocar en función de los esfuerzos que deberá soportar y de las condiciones ambientales a que estará expuesto.

Su empleo es habitual en obras de arquitectura e ingeniería, tales como edificios, puentes, diques, puertos, canales, túneles, etc. Incluso en aquellas edificaciones cuya estructura principal se realiza en acero, su utilización es imprescindible para conformar la cimentación.

3. Historia del hormigón.

Precedentes.

La historia del hormigón constituye un capítulo fundamental de la historia de la construcción. Cuando el hombre optó por levantar edificaciones utilizando materiales arcillosos o pétreos, surgió la necesidad de obtener pastas o morteros que permitieran unir dichos mampuestos para poder conformar estructuras estables. Inicialmente se emplearon pastas elaboradas con arcilla, yeso o cal, pero se deterioraban rápidamente ante las inclemencias atmosféricas. Se idearon diversas soluciones, mezclando agua con rocas y minerales triturados, para conseguir pastas que no se degradasen fácilmente. Así, en el Antiguo Egipto se utilizaron diversas pastas obtenidas con mezclas de yesos y calizas disueltas en agua, para poder unir sólidamente los sillares de piedra.

Hormigones de cementos naturales

En la Antigua Grecia, hacia el año 500 a. C., se mezclaban compuestos de caliza calcinada con agua y arena, añadiendo piedras trituradas, tejas rotas o ladrillos, dando origen al primer hormigón de la historia, usando tobas volcánicas extraídas de la isla de Santorini. Los antiguos romanos emplearon tierras o cenizas volcánicas, conocidas también como puzolana, que contienen sílice y alúmina, que al combinarse químicamente con la cal daban como resultado el denominado cemento puzolánico (obtenido en Pozzuoli, cerca del Vesubio). Añadiendo en su masa jarras cerámicas o materiales de baja densidad (piedra pómez) obtuvieron el primer hormigón aligerado. Con este material se construyeron desde tuberías a instalaciones portuarias, cuyos restos aun perduran.

Hormigón medieval

Tras la caída del Imperio romano el hormigón fue poco utilizado, posiblemente debido a la falta de medios técnicos y humanos, la mala calidad de la cocción de la cal, y la carencia o lejanía de tobas volcánicas; no se encuentran muestras de su uso en grandes obras hasta el siglo XIII. Durante el renacimiento su empleo fue escaso y muy poco significativo.

El siglo XVIII

En el siglo XVIII se reaviva el afán por la investigación. John Smeaton, un ingeniero de Leeds fue comisionado para construir por tercera vez un faro en el acantilado de Edystone, en la costa Cornwall, empleando piedras unidas con un mortero de cal calcinada para conformar una construcción monolítica que soportara la constante acción de las olas y los húmedos vientos; fue concluido en 1759 y la cimentación aún perdura.

El siglo XIX: cemento Portland y hormigón armado

El cemento Pórtland

Joseph Aspdín y James Parker patentaron en 1824 el Portland Cement, obtenido de caliza arcillosa y carbón calcinados a alta temperatura –denominado así por su color gris verdoso oscuro, muy similar a la piedra de la isla de Pórtland. Isaac Johnson obtiene en 1845 el prototipo del cemento moderno elaborado de una mezcla de caliza y arcilla calcinada a alta temperatura, hasta la formación del clinker; el proceso de industrialización y la introducción de hornos rotatorios propiciaron su uso para gran variedad de aplicaciones, hacia finales del siglo XIX.

El hormigón armado

El hormigón, por sus características pétreas, soporta bien esfuerzos de compresión, pero se fisura con otros tipos de sollicitaciones (flexión, tracción, torsión, cortante); la inclusión de varillas metálicas que soportaran dichos esfuerzos propició optimizar sus características y su empleo generalizado en múltiples obras de ingeniería y arquitectura. La invención del hormigón armado se suele atribuir al constructor William Wilkinson, quien solicitó en 1854 la patente de un sistema que incluía armaduras de hierro para «la mejora de la construcción de viviendas, almacenes y otros edificios resistentes al fuego». El francés Joseph Monier patentó varios métodos en la década de 1860, pero fue François Hennebique quien ideó un sistema convincente de hormigón armado, patentado en 1892, que utilizó en la construcción de una fábrica de hilados en Tourcoing, Lille, en 1895.

Diseño de estructuras de hormigón armado

Hennebique y sus contemporáneos basaban el diseño de sus patentes en resultados experimentales, mediante pruebas de carga; los primeros aportes teóricos los realizan prestigiosos investigadores alemanes, tales como Wilhem Ritter, quien desarrolla en 1899 la teoría del «Reticulado de Ritter-Mörsch». Los estudios teóricos fundamentales se gestarán en el siglo XX.

El siglo XX: auge de la industria del hormigón

A principios del siglo XX surge el rápido crecimiento de la industria del cemento, debido a varios factores: los experimentos de los químicos franceses Vicat y Le Chatelier y el alemán Michaélis, que logran producir cemento de calidad homogénea; la invención del horno rotatorio para calcinación y el molino tubular; y los métodos de transportar hormigón fresco ideados por Juergen Hinrich Magens que patenta entre 1903 y 1907. Con estos adelantos pudo elaborarse cemento portland en grandes cantidades y utilizarse ventajosamente en la industria de la construcción.

Maillart proyecta en 1901 un puente en arco de 38 metros de luz sobre el río Inn, en Suiza, construido con vigas cajón de hormigón armado; entre 1904 y 1906 diseña el puente de Tavanasa, sobre el río Rin, con 51 metros de luz, el mayor de Suiza. Claude A.P. Turner realiza en 1906 el edificio Bovex de Minneapolis (USA), con los primeros pilares fungiformes (de amplios capiteles).

Le Corbusier, en los años 1920, reclama en Vers une Architecture una producción lógica, funcional y constructiva, despojada de retóricas del pasado; en su diseño de Casa Domino, de 1914, la estructura está conformada con pilares y forjados de hormigón armado, posibilitando fachadas totalmente diáfanas y la libre distribución de los espacios interiores.

Los hangares de Orly (París), diseñados por Freyssinet entre 1921 y 1923, con 60 metros de luz, 9 de flecha y 300 de longitud, se construyen con láminas parabólicas de hormigón armado, eliminando la división funcional entre paredes y techo. En 1929 Frank Lloyd Wright construye el primer rascacielos en hormigón.

Hormigones de altas prestaciones

En la década de 1960 aparece el hormigón reforzado con fibras, incorporadas en el momento del amasado, dando al hormigón isotropía y aumentando sus cualidades a flexión, tracción, impacto, fisuración, etc. En los años 1970, los aditivos permiten obtener hormigones de alta resistencia, de 120 a más de 200 MPa; la incorporación de monómeros, genera hormigones casi inatacables por los agentes químicos o indestructibles por los ciclos hielo-deshielo, aportando múltiples mejoras en diversas propiedades del hormigón.

Más alto, más largo, más ancho y más bello.

Los grandes progresos en el estudio científico del comportamiento del hormigón armado y los avances tecnológicos, posibilitaron la construcción de rascacielos más altos, puentes de mayor luz, amplias cubiertas e inmensas presas. Su empleo será insustituible en edificios públicos que deban albergar multitudes: estadios, teatros, cines, etc. Muchas naciones y ciudades competirán por erigir la edificación de mayor dimensión, o más bella, como símbolo de su progreso que, normalmente, estará construida en hormigón armado.

Los edificios más altos del mundo poseen estructuras de hormigón y acero, tales como las Torres Petronas, en Kuala Lumpur, Malasia (452 metros, 1998), el edificio Taipei 101 en Taiwán (509 metros, 2004), o el Burj Dubai de la ciudad de Dubai (818 metros, 2009), en el siglo XXI.

El siglo XXI: la cultura medioambiental

El uso de materiales reciclados como ingredientes del hormigón está ganando popularidad debido a la cada vez más severa legislación medioambiental. Los más

utilizados son las cenizas volantes, un subproducto de las centrales termoeléctricas alimentadas por carbón. Su impacto es significativo pues posibilitan la reducción de canteras y vertederos, ya que actúan como sustitutos del cemento, y reducen la cantidad necesaria para obtener un buen hormigón. Como la producción de cemento genera grandes volúmenes de dióxido de carbono, la tecnología de sustitución del cemento desempeña un importante papel en los esfuerzos por aminorar las emisiones de dióxido de carbono.

4. Constituyentes del hormigón.

4.1. Áridos.

Se denomina árido al material granulado que se utiliza como materia prima en la construcción, principalmente.

El árido se diferencia de otros materiales por su estabilidad química y su resistencia mecánica, y se caracteriza por su tamaño. No se consideran como áridos aquellas sustancias minerales utilizadas como materias primas en procesos industriales debido a su composición química.

Según su origen el árido puede ser *natural*, *artificial* o *reciclado*.

El árido natural es el que procede del laboreo de un yacimiento y que ha sido sometido únicamente a procesos mecánicos.

En cuanto a su forma se distinguen en redondeados (o rodados) y procedentes de machaqueo. Este último presenta formas angulosas debido a la fracturación mecánica necesaria para su obtención.

Las rocas de las que se extraen áridos naturales son:

- Rocas calcáreas sedimentarias (caliza y dolomía)
- Arenas y gravas
- Rocas ígneas y metamórficas (granito, basalto y cuarcita)

El árido artificial es el que procede de un proceso industrial y ha sido sometido a alguna modificación físico-química o de otro tipo. (Como por ejemplo arcilla)

El árido reciclado es el que resulta del reciclaje de residuos de demoliciones o construcciones y de escombros.

Los áridos en el hormigón corresponden a los componentes inertes del hormigón y constituyen entre el 60 y 80 % del volumen del hormigón, teniendo como funciones importantes:

Proveer al hormigón de una masa de partículas capaz de resistir los esfuerzos físicos a los que va a ser sometido.

Desplazar volumen con una masa de partículas resistentes a los esfuerzos mecánicos.

Disminución de los cambios volumétricos (retracciones), como resultado de los procesos de fraguado, endurecimiento y cambios de humedad de la pasta de cemento.

Disminución de las temperaturas de fraguado



4.1.1. Plantas procesadoras de áridos.

Proceso de planta de fabricación de áridos:

- Extracción y transporte de la mezcla natural a la planta
- Triturado primario (tamaño máximo 2 1/2")
- Traslado del material por medio de cintas transportadoras
- Triturado secundario (tamaño máximo 1 1/2")
- Tamizado y lavado del árido grueso, medio y fino
- Relavado del árido fino
- Distribución y acopio de la grava, gravilla y arena.



4.2. Pasta de cemento.

Constituye la parte activa y aglomerante del hormigón, producto de una reacción química entre el cemento y el agua, en donde se requiere tiempo y condiciones favorables de humedad y temperatura.

El cemento y el agua se combinan químicamente mediante un proceso denominado hidratación, del cual resulta el fraguado del hormigón, mortero o lechada y su posterior endurecimiento.

Propiedades en estado fresco: actuando como un material lubricante, al disminuir el roce entre las partículas y brindando la cohesión a la mezcla.

Propiedades en estado endurecido: como resistencias mecánicas, durabilidad, etc.



4.2.1 Cemento.

4.2.2 Definición.

Es un conglomerante hidráulico, en forma de polvo muy fino que amasado con agua, forma una pasta capaz de fraguar y endurecer, formando una masa resistente en contacto con el aire o bajo el agua.

El cemento es una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio. Las materias primas utilizadas deben ser ricas en cal, sílice y alúmina. Estos materiales se encuentran en estado natural bajo la forma de calizas, arcillas o margas.

Es el componente mas activo del hormigón.

Los componentes del cemento son:

- Principales:

- Cal
- Sílice
- Hierro
- Alúmina

- Secundarios:

- Magnesio
- Anhídrido sulfúrico
- Cal libre
- Álcalis

4.2.3 Fabricación del cemento.

Las fases principales en la fabricación del cemento son:

- Reducción de tamaños de las materias primas (chancado primario y secundario)
 - Vía húmeda
 - Vía seca
- Formación de los constituyentes en el horno rotatorio
- Inestabilidad de los distintos componentes del clínquer
- Influencia del enfriamiento en los conglomerantes

4.2.4 Clasificación del cemento.

4.2.4.1. Según su composición.

Los cementos que se comercializan en nuestro país y de uso más común en construcción son:

- Cemento Portland
- Cemento Portland Puzolánico
- Cemento Puzolánico
- Cemento Siderúrgico
- Cemento Portland Siderúrgico.
- Cemento Portland Blanco.

Cemento Portland

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clínquer y piedra de yeso

Cemento Puzolánico

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clínker, puzolana y yeso.

- Cemento Portland Puzolánico
- Cemento Puzolánico

Cemento Siderúrgico

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clínquer, yeso y escoria de alto horno.

- Cemento Portland Siderúrgico
- Cemento Siderúrgico

Cemento Portland Blanco

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clínker y yeso al igual que un cemento Portland Gris, pero con materias primas que contengan un mínimo contenido de óxido férrico.



Cemento Portland Blanco

4.2.4.2 Según resistencia

- Cemento Corriente
- Cemento Alta Resistencia

4.2.5 Constituyentes del cemento.

Los cuatro óxidos principales forman los cuatro constituyentes principales:

- Silicato tricálcico
- Silicato bicálcico
- Aluminato tricálcico
- Ferroaluminato tetracálcico

4.2.5.1 Composición porcentual de los constituyentes.

- | | |
|-------------------------------|-----------|
| - Silicato tricálcico | 30 - 56 % |
| - Silicato bicálcico | 15 - 46 % |
| - Aluminato tricálcico | 4 - 12 % |
| - Ferroaluminato tetracálcico | 8 - 13 % |

4.2.5.2. Características de los constituyentes.

Silicato tricálcico:

- Elevadas resistencias iniciales
- Desarrolla gran calor de hidratación (117 cal / gr.)
- Tiene buena estabilidad química
- Gran calor de hidratación

Silicato bicálcico:

- Desarrolla buenas resistencias mecánicas a largo plazo
- Calor de hidratación menor que el silicato tricálcico (54 cal / gr.)
- Tiene buena estabilidad química (mayor que el silicato tricálcico)
- Velocidad de hidratación lenta.

Aluminato tricálcico:

- Desarrolla baja resistencia a corto plazo.
- Es el que tiene el mayor calor de hidratación (286 cal / gr.)
- Tiene escasa estabilidad química.
- Velocidad de hidratación casi instantánea.

Ferroaluminato tetracálcico:

- Prácticamente no contribuye a la resistencia.
- Gran velocidad de hidratación.
- Estabilidad química buena
- Desarrolla poco calor de hidratación (96 cal / gr.)

4.3. Agregados pétreos.

4.3.1 Definición.

Los agregados pétreos, son de tipo natural o artificial, compacto o poroso, y en casos especiales también metálicos con tamaños de partículas apropiados para la elaboración de hormigones y morteros.

Todos los agregados provienen de masas de mayor tamaño, las cuales se han fragmentado por procesos naturales, como son la exposición a la intemperie, la abrasión, o por sistemas artificiales, como la trituración.

Los elementos inertes poseen:

- Esqueleto rígido
- Resistencias mecánicas altas
- Durabilidad
- Menor deformación
- Menor costo (65% - 75% volumen)

4.3.2. Propiedades.

Las propiedades generales de los agregados pétreos, como las de tipo químico, densidad, dureza, la resistencia mecánica, la estabilidad física y química, etc., dependen de las características de la roca original.

Los áridos a utilizar en la confección del hormigón deben ser:

- Limpios
- Duros
- Resistentes
- Durables
- Inertes

4.3.3. Clasificación

4.3.3.1. Según su tamaño.

- Árido fino de 0,08 a 5,0 mm. (arena)
- Árido grueso mayor a 5 mm. (gravilla, grava, etc.)

Se denomina además, árido combinado, grueso y fino, en las proporciones definidas por el estudio de la dosificación.

En faenas por razones de manipulación y de tipo técnico (segregación) se subdividen en un número mayor de fracciones.

- Bolón 107,6 - 250,0 mm.
- Piedra 76,1 - 107,6 mm
- Grava 19,0 - 76,1 mm
- Gravilla 4,8 - 19,0 mm.
- Arena 0,08 - 4,8 mm.

4.3.3.2. Según su origen:

- Canto rodado
- Canto triturado

La forma de los áridos es importante e influye, en el porcentaje de huecos entre las partículas de los agregados, en su superficie específica, en la manejabilidad del hormigón y en la adherencia con la pasta de cemento.

4.3.3.3. Según su peso:

- Pesado mayor a 3,0 Kg./dm³
- Normal de 2,0 a 3,0 Kg./dm³
- Liviano menor a 2,0 Kg./dm³

4.3.3.4. Según las rocas:

- Rocas Ígneas : materiales fundidos del interior de la tierra
 - Intrusiva (plutónicas)
 - Extensivas (volcánicas)
- Rocas sedimentarias
- Rocas metamórfica

5. Fraguado y endurecimiento del hormigón

La pasta del hormigón se forma mezclando cemento artificial y agua debiendo embeber totalmente a los áridos. La principal cualidad de esta pasta es que fragua y endurece progresivamente, tanto al aire como bajo el agua.

El proceso de fraguado y endurecimiento es el resultado de reacciones químicas de hidratación entre los componentes del cemento. La fase inicial de hidratación se llama fraguado y se caracteriza por el paso de la pasta del estado fluido al estado sólido. Esto se observa de forma sencilla por simple presión con un dedo sobre la superficie del hormigón. Posteriormente continúan las reacciones de hidratación alcanzando a todos los constituyentes del cemento que provocan el endurecimiento de la masa y que se caracteriza por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas.

El fraguado y endurecimiento no son más que dos estados separados convencionalmente; en realidad solo hay un único proceso de hidratación continuo. En el cemento portland, el más frecuente empleado en los hormigones, el primer componente en reaccionar es el aluminato tricálcico con una duración rápida y corta

(hasta 7-28 días). Después el silicato tricálcico, con una aportación inicial importante y continua durante bastante tiempo. A continuación el silicato bicálcico con una aportación inicial débil y muy importante a partir de los 28 días.

El fenómeno físico de endurecimiento no tiene fases definidas. El cemento está en polvo y sus partículas o granos se hidratan progresivamente, inicialmente por contacto del agua con la superficie de los granos, formándose algunos compuestos cristalinos y una gran parte de compuestos microcristalinos asimilables a coloides que forman una película en la superficie del grano. A partir de entonces el endurecimiento continúa dominado por estas estructuras coloidales que envuelven los granos del cemento y a través de las cuales progresa la hidratación hasta el núcleo del grano.

El hecho de que pueda regularse la velocidad con que el cemento amasado pierde su fluidez y se endurece, lo hace un producto muy útil en construcción. Una reacción rápida de hidratación y endurecimiento dificultaría su transporte y una cómoda puesta en obra rellenando todos los huecos en los encofrados. Una reacción lenta aplazaría de forma importante el desarrollo de resistencias mecánicas. En las fábricas de cemento se consigue controlando la cantidad de yeso que se añade al clinker de cemento. En la planta de hormigón, donde se mezcla la pasta de cemento y agua con los áridos, también se pueden añadir productos que regulan el tiempo de fraguado.

En condiciones normales un hormigón portland normal comienza a fraguar entre 30 y 45 minutos después de que ha quedado en reposo en los moldes y termina el fraguado trascurridas sobre 10 ó 12 horas. Después comienza el endurecimiento que lleva un ritmo rápido en los primeros días hasta llegar al primer mes, para después aumentar más lentamente hasta llegar al año donde prácticamente se estabiliza. En el cuadro siguiente se observa la evolución de la resistencia a compresión de un hormigón tomando como unidad la resistencia a 28 días, siendo cifras orientativas:

Tabla 1: Evolución de resistencia.

Evolución de la Resistencia a compresión de un Hormigón Portland normal					
Edad del hormigón en días	3	7	28	90	360
Resistencia a compresión	0,40	0,65	1,00	1,20	1,35

En esta tabla se puede observar la evolución de la resistencia del hormigón portland con relación a los días de curado.

Estas son los tipos más comunes del fraguado:

- Fraguado en almacenamiento

(1) Hidratación parcial del cemento almacenado durante algún tiempo y expuesto a la humedad ambiente; (2) compactación mecánica que ocurre durante el almacenamiento.

- Fraguado instantáneo

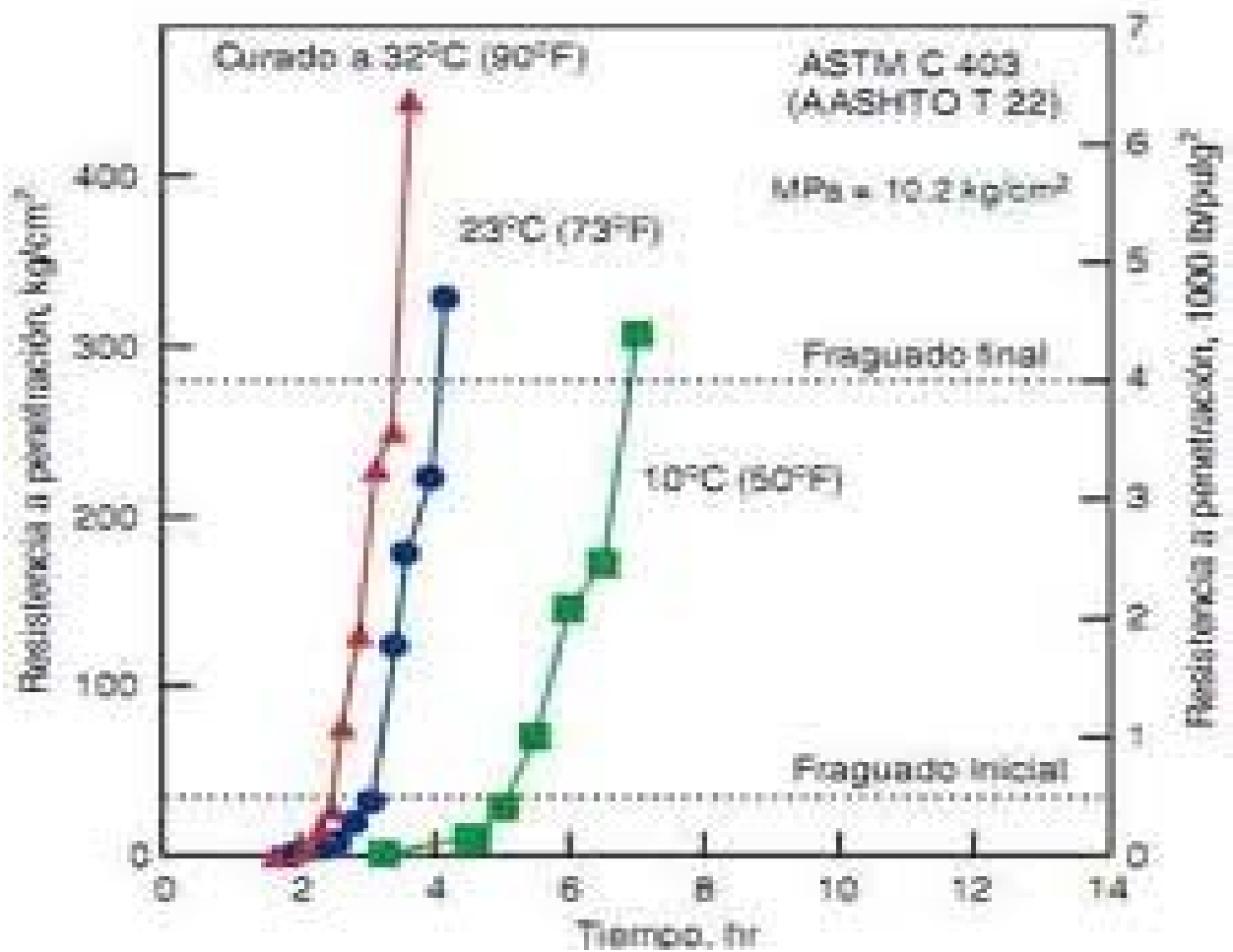
Rápido desarrollo de rigidez en una pasta de cemento portland, mortero u hormigón recién mezclado, generalmente con evolución de una considerable cantidad de calor; la rigidez no se puede eliminar ni se puede recuperar la plasticidad por mezclado adicional sin agregar agua; también se denomina endurecimiento prematuro, fraguado rápido.

- Fraguado inicial

Grado de rigidización de una mezcla de cemento y agua menor que el correspondiente al fraguado final, generalmente expresado como un valor empírico que indica el tiempo en horas y minutos necesario para que una pasta de cemento se rigidice lo suficiente como para resistir la penetración de una aguja de ensayo hasta un grado establecido; también es aplicable al hormigón o mortero, usando procedimientos de ensayo adecuados.

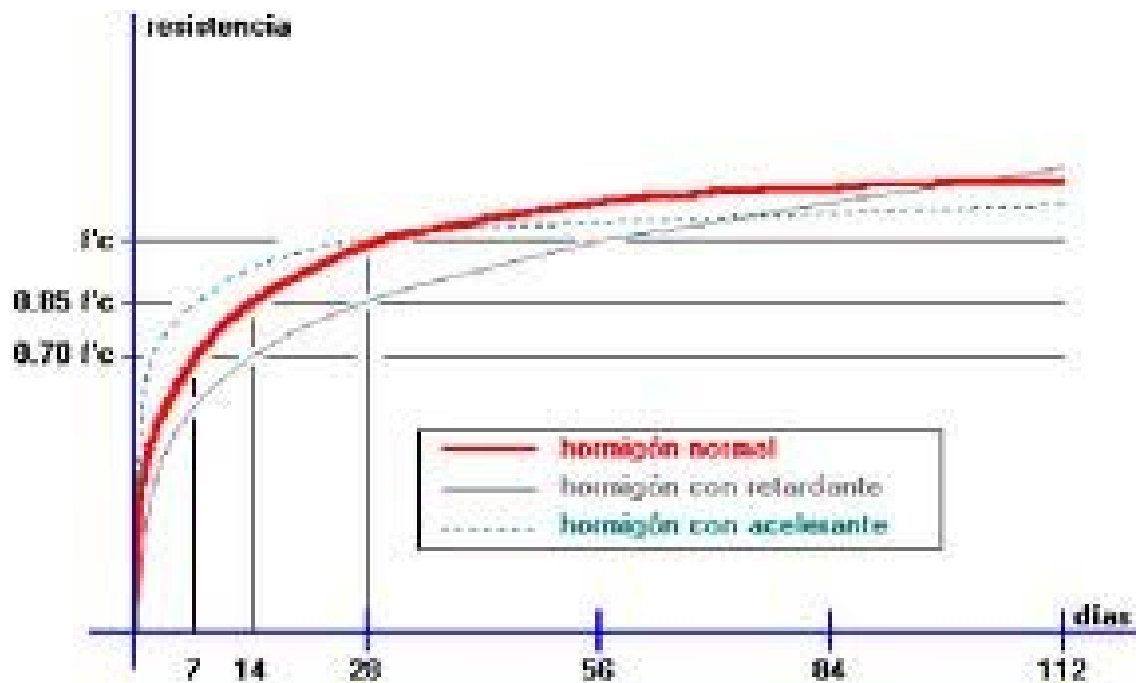
- Fraguado final

Grado de rigidización de una mezcla de cemento y agua mayor que el correspondiente al fraguado inicial, generalmente expresado como un valor empírico que indica el tiempo en horas y minutos necesario para que una pasta de cemento se rigidice lo suficiente como para resistir la penetración de una aguja de ensayo hasta un punto establecido; también se aplica a las mezclas de hormigón y mortero, usando procedimientos de ensayo adecuados.

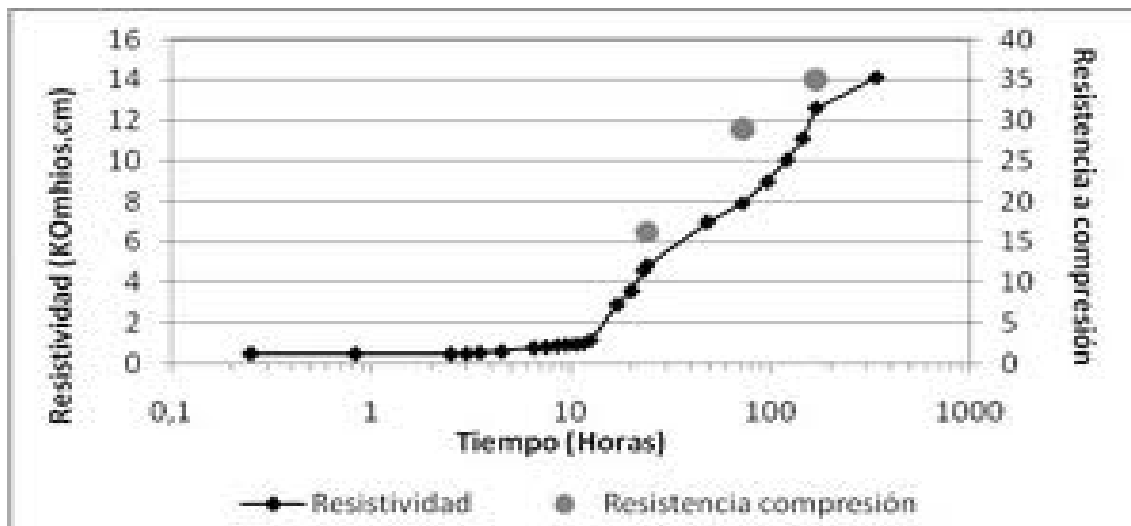


En esta gráfica puede observarse la relación entre el tiempo de fraguado a diferentes temperaturas de curado y la resistencia a penetración.

A mayor temperatura de curado aumenta la pendiente de la gráfica, aumentando más rápido la resistencia con menor tiempo.



En esta gráfica puede observarse la evolución de la resistencia frente a los días para el hormigón normal, hormigón con retardante y hormigón con acelerante



En esta gráfica puede observarse la evolución de la resistencia a compresión y la resistencia eléctrica frente a las horas de fraguado del hormigón.

6. Métodos de fabricación del hormigón.

6.1. Diseño de mezclas de hormigón.

Objetivo:

Es la determinación de las proporciones de los distintos componentes, considerando un adecuado balance entre la economía y los requerimientos de la faena, como manejabilidad, resistencias mecánicas, durabilidad, densidad y apariencia, entre otras.

Se recomienda la confección de hormigones de prueba, a nivel de laboratorio, para posteriormente evaluar las condiciones reales de terreno y sistemas de control que se adopten.

La proporción óptima de los materiales, debe considerar un balance entre:

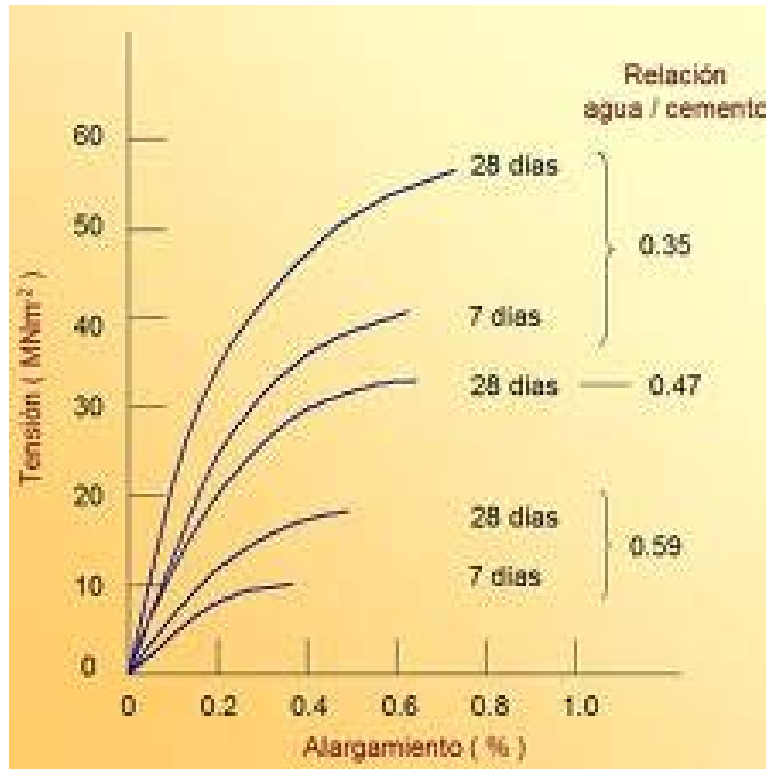
- Máxima calidad.
- Economía.

Parámetros necesarios a considerar:

- Manejabilidad.
- Propiedades del hormigón endurecido.

Antecedentes previos:

- Tamaño y forma de las estructuras.
- Resistencias mecánicas exigidas.
- Condiciones de exposición.
- Manejabilidad.
- Razón A/C.



En esta gráfica se puede observar la relación entre la tensión y el alargamiento para diferentes dosificaciones de agua y cemento y con diferentes edades de curado.

6.2. Métodos de dosificación.

6.2.1. FAURY - JOISEL

Este método determina un hormigón de referencia, considerándolo como la mezcla, en proporciones variables, de dos clases de áridos (finos y gruesos).

6.2.2. Sistema de dosificación A. C. I.

Este método de dosificación proporciona una primera aproximación de las distintas proporciones de los materiales constituyentes del hormigón, los que deben ser verificados con los hormigones de prueba en laboratorio, a fin de hacer las modificaciones que se requieren, tanto para cumplir con los requisitos tanto del hormigón fresco como endurecido.

El hormigón está compuesto por agregados pétreos, cemento, agua, aire, y aditivos, los que deben dosificarse a fin de tener un equilibrio entre aspectos económicos y los requisitos que debe cumplir, como lo son:

- Manejabilidad
- Resistencias mecánicas
- Durabilidad.
- Densidad
- Apariencia

7. Características y comportamiento del hormigón.

7.1. Propiedades del hormigón.

- Estado fresco:
 - Manejabilidad.
 - Tiempos de fraguado.
 - Mantención de la consistencia.
- Estado endurecido:
 - Resistencias mecánicas.
 - Impermeabilidad.
 - Durabilidad.
 - Cambios volumétricos.

7.2. Propiedades de un buen hormigón.

- Moldeable en estado fresco, a temperatura normal
- Resistente a los esfuerzos
- Impermeable al agua
- Durable
- Fácil de obtener el aspecto superficial deseado.
- Relación costo - beneficio favorable, los materiales constituyentes son fáciles de encontrar.
- Resistente al fuego (inferior a 400°C)

7.3. Manejabilidad.

Propiedad del hormigón de ser mezclado, transportado, vaciado, vibrado y terminado con la mínima segregación.

Es la cantidad de trabajo interno útil que se necesita para producir una compactación completa.

Los factores que afectan la manejabilidad son:

- Contenido de agua de la mezcla, que permita obtener hormigones plásticos y cohesivos.
- Característica de los áridos (tamaño, granulometría, forma, textura.) y la proporción adecuada de cada tamaño.
- Aire atrapado y/o incorporado
- Cemento
- Temperatura ambiente, humedad relativa
- Uso de aditivos plastificantes, súper plastificantes o incorporadores de aire.

La manejabilidad del hormigón, depende de:

- Consistencia.
- Compactación.
- Cohesión.
- Estabilidad.

7.4. Consistencia.

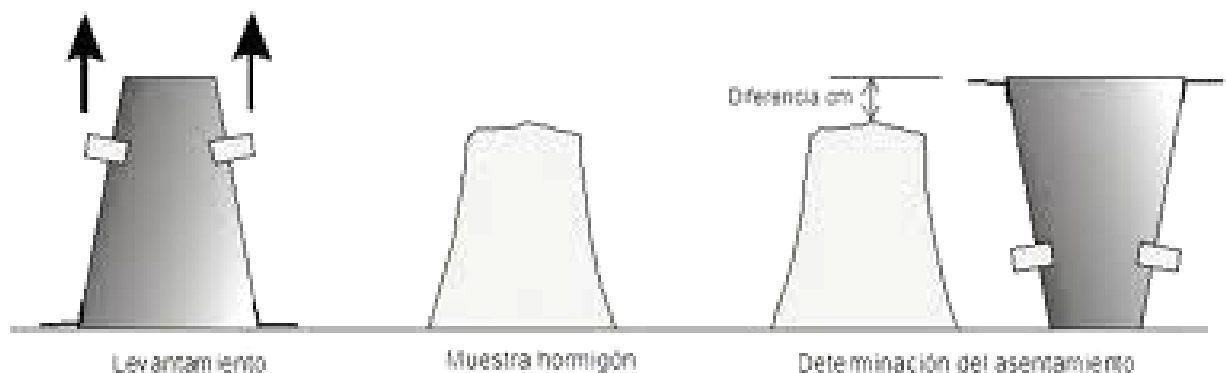
Es la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse.

Factores que influyen en la consistencia:

- Cantidad de agua.
- Tamaño máximo de agregados.
- Forma de los áridos.
- Granulometría.

<i>Consistencias</i>	<i>Asiento en cono de Abrams (cm)</i>	<i>Forma de compactación</i>
Seca	0 a 2	Vibrado enérgico en taller
Plástica	3 a 5	Vibrado enérgico en obra
Blanda	6 a 9	Vibrado o apisonado
Fluida	10 a 15	Picado con barra
Líquida	≥ 16	(No apta para elementos resistentes)

En esta tabla se puede observar las diferentes consistencias según el asiento del cono de Abrams y la forma correcta de compactación para su uso.



En este dibujo se puede observar un pequeño esquema de la realización del ensayo de consistencia mediante el cono de Abrams.

7.5. Resistencias mecánicas:

- Compresión
- Tracción
- Flexotracción

Los principales factores que influyen en las resistencias mecánicas son:

- Cemento:
 - Composición química
 - Finura
 - Dosis
- Áridos:
 - Calidad de la roca
 - Forma de los agregados
 - Composición granulométrica
- Agua
- Aditivos
- Razón A/C
- Edad del hormigón

7.6. Impermeabilidad del hormigón.

El hormigón como material, contiene siempre un cierto número de poros, comunicados o no entre sí, producidos por el aire atrapado, o por la pérdida de agua que se produce por la evaporación del agua libre durante el proceso de hidratación y endurecimiento y El método para lograr una adecuada impermeabilidad en el hormigón, depende en forma directa de la obtención de la máxima compactación, durante el proceso de vibrado La impermeabilidad en el hormigón depende de una serie de factores, entre los cuales se pueden destacar:

- Tipo y cantidad de cemento
- Contenido de agua de amasado
- Tamaño, naturaleza y granulometría de los áridos a usar.

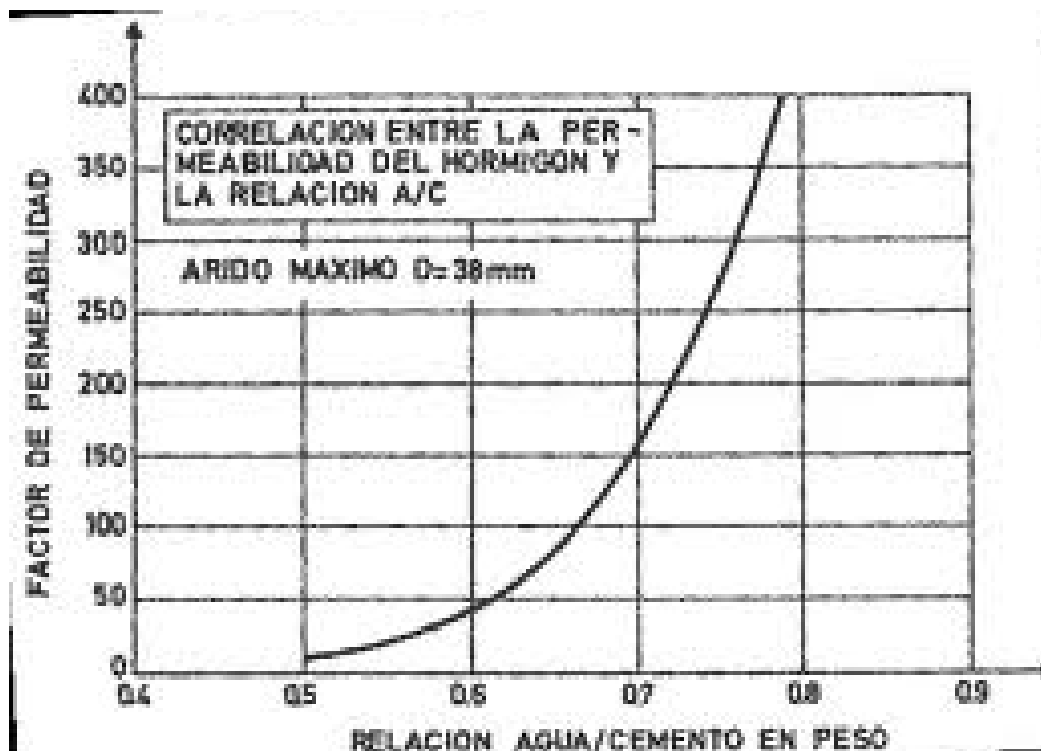
La permeabilidad en el hormigón, se define como la relativa facilidad con que se puede saturar. El movimiento de agua se puede presentar originado por:

- Carga o presión de agua
- Humedad diferencial entre ambos lados del hormigón
- Presión osmótica.

La permeabilidad del hormigón depende de:

- Áridos: granulometría, tamaño máximo
- Cemento: cantidad
- Dosificación del hormigón
- Sistemas de colocación, vibrado y curado posterior.

Generalmente la pasta de cemento es más porosa que los áridos.



En esta gráfica se puede observar la relación entre la permeabilidad y la relación de agua y cemento.

7.7. Durabilidad.

Se define durabilidad en el hormigón como la capacidad de soportar las condiciones para las cuales ha sido diseñado, sin presentar deterioro, en el tiempo para el cual fue calculado, es decir, debe mantener sus dimensiones y sus propiedades técnicas en forma inalterable.

Un hormigón durable es aquel que mantiene sus dimensiones originales, su calidad y condiciones de servicio con el tiempo.

La durabilidad depende del ambiente al que estará expuesto el hormigón o de condiciones internas de tipo físico químico.

Las causas internas son:

- Reacción álcalis agregados.
- Cambios volumétricos entre la pasta y los agregados.
- Permeabilidad del hormigón.

Las condiciones externas pueden ser de tipo:

- Físico: Exposición a la intemperie
Ciclo hielo deshielo
- Químico: Ataques ácidos
- Mecánico: Esfuerzos mecánicos

7.8. Estado higrométrico de los áridos.

Los áridos dependiendo del contenido de humedad, se pueden encontrar en terreno en distintos estados, lo que implica efectuar correcciones por humedad en el momento de elaborar el hormigón, considerando que la condición óptima es la de saturado superficialmente seco:

- Seco
- Semi-seco
- Saturado superficialmente seco
- Mojado

7.9. Absorción.

Esta característica en los áridos, además de las condiciones de humedad del medio ambiente, depende de los poros del material especialmente del tamaño, cantidad y naturaleza de ellos.

Es importante considerar la absorción de los agregados en algunas situaciones especialmente en:

- Absorción de agua y permeabilidad
- Ciclos de hielo deshielo
- Ataques químicos
- Abrasión
- Poros no saturados ----- absorción de agua de amasado
- Agua libre superficial ----- aporte de agua al hormigón

7.10. Compactación.

Es la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para lograr la máxima densidad con un mínimo de vibración.

Factores que inciden en la compactación:

- Cantidad de agua de amasado
- Cantidad de cemento
- Relación árido /pasta de cemento
- Equipos de mezclado

7.11. Representación gráfica granulométrica.

7.11.1 Gráfico ortogonal.

Representación gráfica de una granulometría en donde en las ordenadas, se representa el % que pasa y en el eje de las abscisas la abertura de tamiz (logarítmico)

8. Ataques y esfuerzos.

8.1. Ataque químicos.

8.1.1. Sulfatos.

En estado sólido no atacan al hormigón, pero reaccionan con la pasta de cemento endurecida, cuando se encuentran en solución. El sulfato reacciona con la Portlandita $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y con los hidratos de aluminato de calcio.

En el caso de la portlandita se produce una lixiviación de la portlandita.

Cuando reacciona con el hidrato de aluminato de calcio presentan un volumen superior que los compuestos que reemplazan produciendo una fuerte expansión y posterior ruptura del hormigón.

El ataque por sulfatos se puede reducir utilizando cemento con bajo contenido de C_3A o utilizando cementos con adiciones.

En laboratorio se puede evaluar el comportamiento de un hormigón a los sulfatos, almacenando probetas en soluciones de sulfato de calcio o de magnesio, o una mezcla de ambos, el efecto se puede medir por la pérdida de resistencia, por los cambios en el módulo dinámico de elasticidad, por su expansión, por pérdidas de peso, o incluso a simple vista.

Intensidad de ataque	Concentración de sulfatos		Cemento Recomendado	Relación agua/cem. máxima recomendada
	En suelo (%)	En agua (ppm)		
Débil	0,00 a 0,10	0 a 150	Cualquiera	Ninguna
Moderado	0,10 a 0,20	150 a 1500	(1)	< 0,50
Fuerte	0,20 a 2,00	1500 a 10000	(2)	< 0,45
Muy fuerte	más de 2,00	más de 10000	(3)	< 0,45



Esta fotografía es un ejemplo del ataque a la armadura del hormigón por sulfatos.

8.1.2. Agua del mar.

El agua de mar contiene sulfatos, además de este efecto debe sumarse la acción de la cristalización, dentro de los poros de hormigones producen ruptura, por el efecto expansivo de los cristales.

El hormigón expuesto a ciclos de mojado- secado, es el que sufre mayor daño.

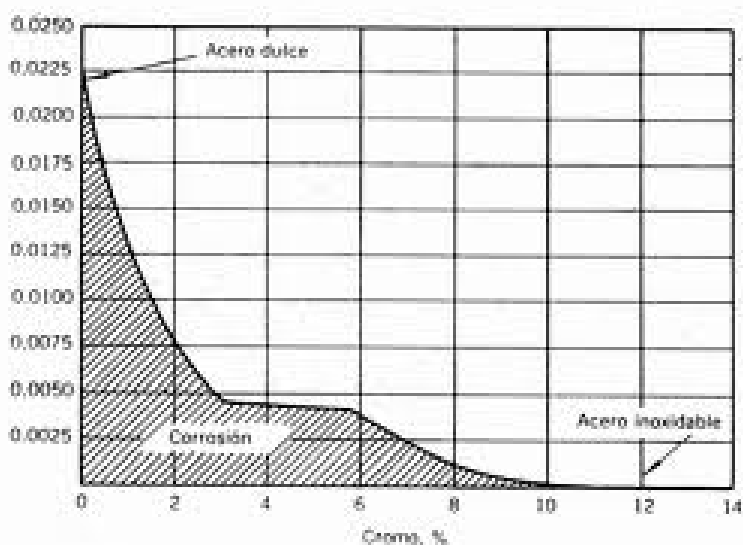
La presencia de cloruros en el agua de mar inhiben el efecto de expandir de los sulfatos, pero tienen una acción perjudicial en la corrosión de las armaduras.

8.1.3. Ataque de los ácidos.

Los vapores ácidos permanentes en la atmósfera SO_2 (Anhídrido Sulfuroso), SO_3 (Anhídrido Sulfúrico) , el CO (Monóxido de Carbono) y el CO_2 (Dióxido de Carbono) , en presencia de un hormigón húmedo, o en caso lluvia, son disueltos formando sus diferentes ácidos, los que combinados con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ forman carbonatos o sulfatos de calcio, con pH ácido o neutro, eliminando la protección que requiere la barra de acero. A éste efecto se le denomina “Carbonatación “.

El proceso de Carbonatación es un proceso continuo que al alcanzar la capa de óxido pasivo que protege la barra de refuerzo, esta se desestabiliza y la corrosión se inicia.

La profundidad de Carbonatación, se detecta efectuando un picado superficial en el hormigón y se rocía con una solución de Fenofaleína al 1 o 2 %. Las áreas con Carbonatación no cambian de color en cambio las que no presentan problemas adquieren un color rojo púrpura brillante.



En esta gráfica se puede observar la relación entre la corrosión y la composición del acero de las armaduras



En este dibujo se puede observar los dos tipos de corrosión mas típicos en las armaduras
8.1.4. Aguas puras.

La capacidad de disolución que tienen este tipo de aguas, produce una fuerte lixiviación de la Portlandita.

8.1.5. Hormigón sometido a ataques químicos.

En las estructuras de hormigón de un recinto industrial, donde se utilizan compuestos químicos en el proceso productivo, deben considerarse una serie de aspectos en todo el proceso del hormigón, desde la selección de los componentes del hormigón hasta su terminación a fin de mejorar su comportamiento a éstos compuestos químicos corrosivos.

8.2. Esfuerzos mecánicos.

8.2.1 Abrasión.

Muchas estructuras están sometidas, debido al uso, a esfuerzos de abrasión, produciéndose desgastes superficiales muchas veces de importancia, ya sea, por deslizamiento, roce, o caída de elementos.

TABLA 2.1 VALORES PROMEDIO PARA LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS TIPOS PRINCIPALES DE ROCAS

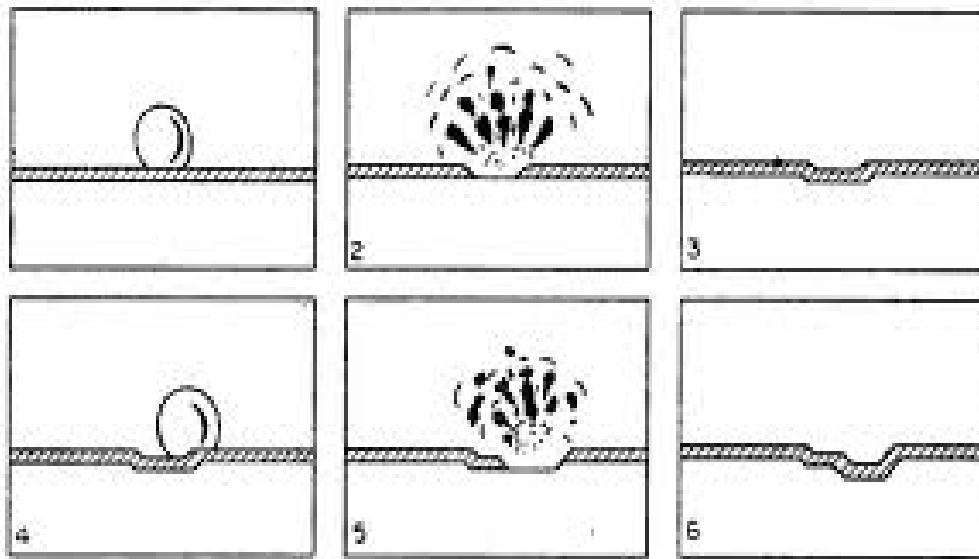
Tipo De Roca	Gravedad específica	Absorción * %	Prueba de abrasión Los Ángeles %
Igneas			
Granito	2.65	0.3	38
Sienita	2.74	0.4	24
Diorita	2.9	0.3	-
Gabro	2.96	0.3	18
Peridotita	3.31	0.3	-
Felsita	2.66	0.8	18
Basalto	2.86	0.5	14
Diabasa	2.96	0.3	18
Sedimentarias			
Piedra caliza	2.66	0.9	26
Dolomita	2.7	1.1	25
Arcilla esquistosa	1.8 - 2.5	-	-
Arenisca Chert	2.54	1.8	38
Conglomerado	2.5	1.6	26
Brecha	2.68	1.2	-
	2.57	1.8	-
Metamórficas			
Gneis	2.74	0.3	45
Esquisto	2.85	0.4	38
Anfibolita	3.02	0.4	35
Pizarra	2.74	0.5	20
Cuarcita	2.69	0.3	28
Mármol	2.63	0.2	47
Serpentina	2.62	0.9	19

*Después de inmersión en agua a la temperatura y presión atmosféricas

8.2.2 Cavitación.

Se origina por la formación de burbujas de vapor cuando la presión absoluta local desciende hasta el valor de vapor ambiental del agua a temperatura ambiente.

El daño por cavitación se produce en canales abiertos, con una velocidad mayor a 12 m/seg.



En este dibujo se puede ver un esquema del proceso de cavitación

8.3. Comportamiento ante el fuego.

A temperaturas normales de uso de una estructura de hormigón este efecto no es importante por cuanto las diferencias del coeficiente de dilatación térmica entre los agregados y la pasta de cemento no son importantes, pero en algunos casos, en elementos sometidos a altas temperaturas como lo es en hornos industriales, incendios, etc., se pueden presentar daños de importancia.

Conductividad Térmica es la relación entre el flujo de calor y la gradiente de temperatura.

El efecto del calor en el hormigón es mínima a temperaturas inferiores a 300°C , puede llegar a un 50% de pérdida de resistencia a los 500°C

- COLOR GRIS: 300°C
- COLOR ROSA O ROJO: 600°C
- COLOR GRIS: 900°C
- COLOR ANTE: 1200°C
- COLOR AMARILLO: más de 1200°C

Problema fuerte se produce por la acción del agua en la superficie al generar un choque térmico.

Ensayos no destructivos de resistencia como el esclerómetro o ultrasonido se utilizan para evaluar, en el caso de las partes con hierro se extraen testigos y se somete a los controles de rigor.

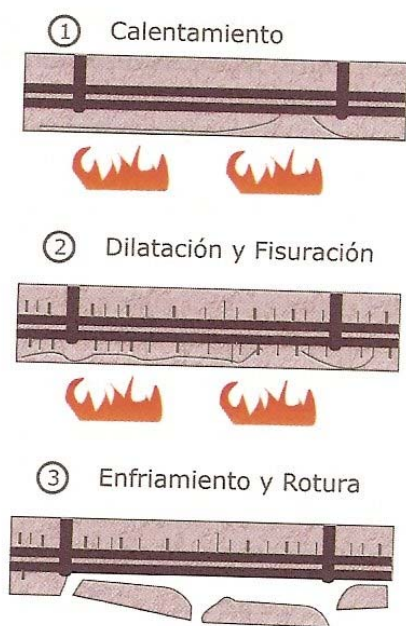
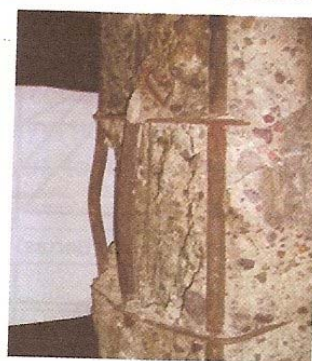
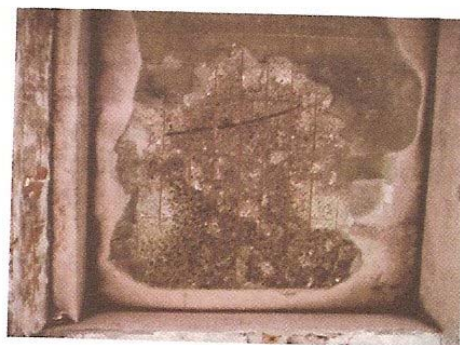


Figura 1.4.10 Alteraciones producidas en la adherencia acero-hormigón afectados por el fuego



Fotos 1.4.3.a y 1.4.3.b Estado de una losa y una columna luego de un incendio

En estos dibujos se puede observar los daños producidos por el fuego en estructuras de hormigón.

8.4. Reacción alcali-ágregado.

Una reacción química entre el cemento y los agregados pétreos, en general no es deseable, por cuanto generan compuestos expansivos, grietas, y pérdidas de resistencia. Se debe tener cuidado con la reacción entre los álcalis del cemento (Na_2O , y K_2O) y ciertos constituyentes silíceos de los agregados.

Los ensayos de laboratorio que generalmente se utilizan para determinar el grado de reactividad de los agregados son:

- Examen petrográfico (ASTM C 295)
- Reactividad potencial del mortero (ASTM C 227)

8.5. Corrosión de las armaduras.

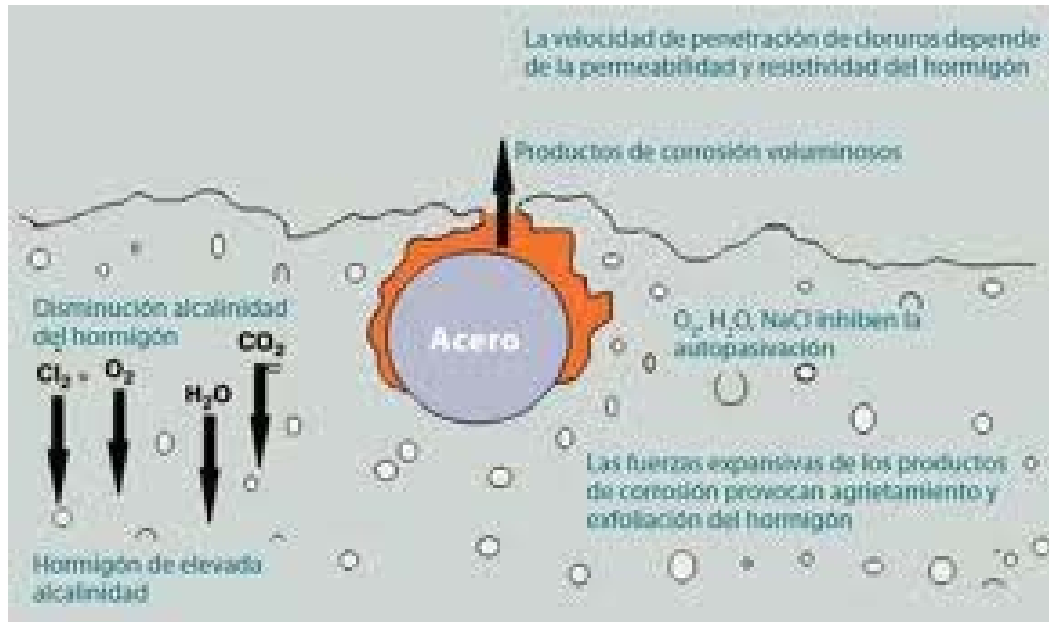
La corrosión de armaduras en el hormigón armado es el proceso por el cual el metal vuelve a su estado natural y representa el deterioro paulatino del acero y del hormigón que la rodea.

Cuando la corrosión metálica tiene lugar en un medio acuoso o húmedo, es un fenómeno de carácter electroquímico cuyo principio es la formación de una pila electroquímica.

Para la formación de la pila se requiere de la presencia de un electrólito (agua con sustancias disueltas), diferencias de potencial eléctrico y la presencia de oxígeno. La diferencia de potencial ocurre en el hormigón como consecuencia de diferentes grados de humedad en el mismo material, distinta concentración de sales en disolución, heterogeneidad en la superficie del metal, etc.

El proceso se inicia con la liberación de iones ferrosos (Fe^{2+}) perdiendo electrones en la zona que se convierte en ánodo, polo positivo de la pila. Los electrones liberados migran a través de la armadura hacia la zona que actúa como cátodo, polo negativo de la pila.

Durante la hidratación del cemento se libera hidróxido de calcio, también llamado portlandita.



En este esquema se puede observar el proceso de corrosión que sufren las armaduras del hormigón.



En estas fotografías se pueden observar los efectos de corrosión sufridos por las armaduras del hormigón.

8.6. Ciclos hielo-deshielo.

El efecto de congelación del agua, en el proceso de hormigonado se puede producir:

Antes del inicio de fraguado

En caso de presentarse antes del inicio de fraguado puede vibrarse nuevamente el hormigón y lograrse la densidad requerida, si se presenta la congelación del agua después de iniciado el fraguado y antes de tener las resistencias mecánicas necesarias se producirán grietas y daños permanentes.

Endurecido

En el hormigón endurecido, que por razones de uso debe estar sometido a bajas temperaturas, con el objeto de eliminar el problema de durabilidad que implica el aumento de volumen del agua intersticial al congelarse debe considerarse el uso de un aditivo incorporador de aire.

Tipos de estructuras	Dañadas en %
Puentes	6
Edificios	4
Estructuras hidráulicas Grandes	17
Pequeñas	20
Estructuras marinas	10
Losas de parkings	17
Otras	17
Media	10

En esta tabla se puede observar los porcentajes de los tipos de estructuras que son dañadas por los ciclos de hielo-deshielo del hormigón.

9. Defectos

9.1 Aluminosis.

Se denomina Aluminosis a la alteración progresiva del hormigón en cuya fabricación se ha empleado Cemento Aluminoso, que provoca la pérdida de firmeza en las estructuras en que se ha utilizado.

El uso de Cemento Aluminoso era muy frecuente, principalmente en países europeos, entre los años 1950 y 1980. Después de unos años, los edificios de determinadas zonas geográficas o características medioambientales en los que se empleó pusieron de manifiesto daños graves, localizados principalmente en los forjados, ya que fueron las viguetas pretensadas los elementos en los que se generalizó la utilización de este cemento.

Actualmente, y debido a la pérdida de resistencia mecánica en determinadas situaciones medioambientales, el uso de Cemento Aluminoso está prohibido para elementos estructurales.

Daños Producidos

El daño más importante es la oxidación o corrosión de las armaduras, lo que provoca en los elementos afectados, tales como viguetas, manchas de óxido, fisuras, flechas o deformaciones, desprendimiento de recubrimientos, pérdidas de sección del acero, etc. En forjados, debido a la corrosión de la armadura de las viguetas, pueden producirse también la rotura por cortante cerca de los apoyos y rotura a flexión. Ello puede provocar el colapso de la estructura.

Siendo la humedad un factor que interviene directamente en el fenómeno de corrosión, las patologías van a presentarse en los elementos que estén más expuestos a la misma: baños y cocinas, donde existe mayor condensación, en elementos a la intemperie en zonas costeras, donde además la presencia de cloruros de la sal aceleran el proceso de corrosión de la armadura, forjados sanitarios no ventilados u otros afectados por roturas de bajantes, o tuberías, filtraciones, etc.



En estas fotografías se pueden observar diferentes daños sufridos en estructuras de hormigón por aluminosis.

Diagnóstico

Identificar si el cemento empleado es aluminoso, mediante una inspección visual detallada del color: el hormigón de cemento aluminoso es ocre o marrón muy oscuro. También deberán efectuarse ensayos cualitativos, ensayos químicos y ensayos de difracción de rayos X, mediante los cuales se analizará la presencia o no de distintos elementos o compuestos propios del cemento aluminoso.

Evaluar la seguridad residual de la estructura, analizando si aparecen grietas, manchas de óxido, deformaciones, flechas excesivas o pérdidas de sección, pudiendo realizar alguna cala para observar directamente la armadura.

Comprobar si el hormigón está o no carbonatado (método de la fenolftaleína), aunque pueden existir estructuras que estén en un ambiente de humedad permanente y no estén carbonatadas, por lo que sus armaduras no presentan signos de corrosión.

También puede darse el caso de que el hormigón esté carbonatado pero en el ambiente en el que se encuentra expuesto no exista una humedad que provoque la corrosión, no estando en peligro la estructura al no haberse producido una pérdida de sección de la armadura.

Medición de la velocidad de corrosión con la que, junto con la pérdida de sección de la armadura, se podría llegar a calcular la vida residual del elemento afectado. Ésta dependerá de la resistencia mecánica del hormigón, la sección de las armaduras y el grado de fisuración, que puede haber afectado a la adherencia del acero y el hormigón.

Tratamiento

Si no se encuentran indicios de que exista corrosión y el hormigón se encuentra transformado, habrá que evitar que las condiciones de humedad varíen para que no se facilite el proceso.

Si las armaduras están limpias de óxidos pero el hormigón no está completamente transformado, habrá que considerar que la oxidación va a aparecer, por lo que habría que mantener el ambiente siempre seco (humedades inferiores al 60%).

Si en cambio se detectan fisuras en el recubrimiento o manchas de óxido, se ha de comprobar si la corrosión es parcial o generalizada.

Analizado el estado de la estructura se estudiará la solución final de reparación, bien reforzando la misma, sustituyendo los elementos dañados, o llevando a cabo su demolición, en cualquier caso previo apuntalado del edificio, ya que el colapso podría ser inmediato.

9.2 Deformaciones propias del hormigón.

Externas:

- Retracción Plástica
- Retracción Hidráulica
- Retracción Térmica

Cargas:

- Deformación instantánea bajo carga
- Deformación permanente bajo carga

9.2.1. Retracción plástica.

El hormigón en estado fresco tiene generalmente una tendencia a sedimentar, es decir, se presenta en mayor o menor grado una segregación y por consiguiente una exudación y pérdida de volumen por evaporación del agua resultante.

La pérdida de agua se origina por tres factores como son:

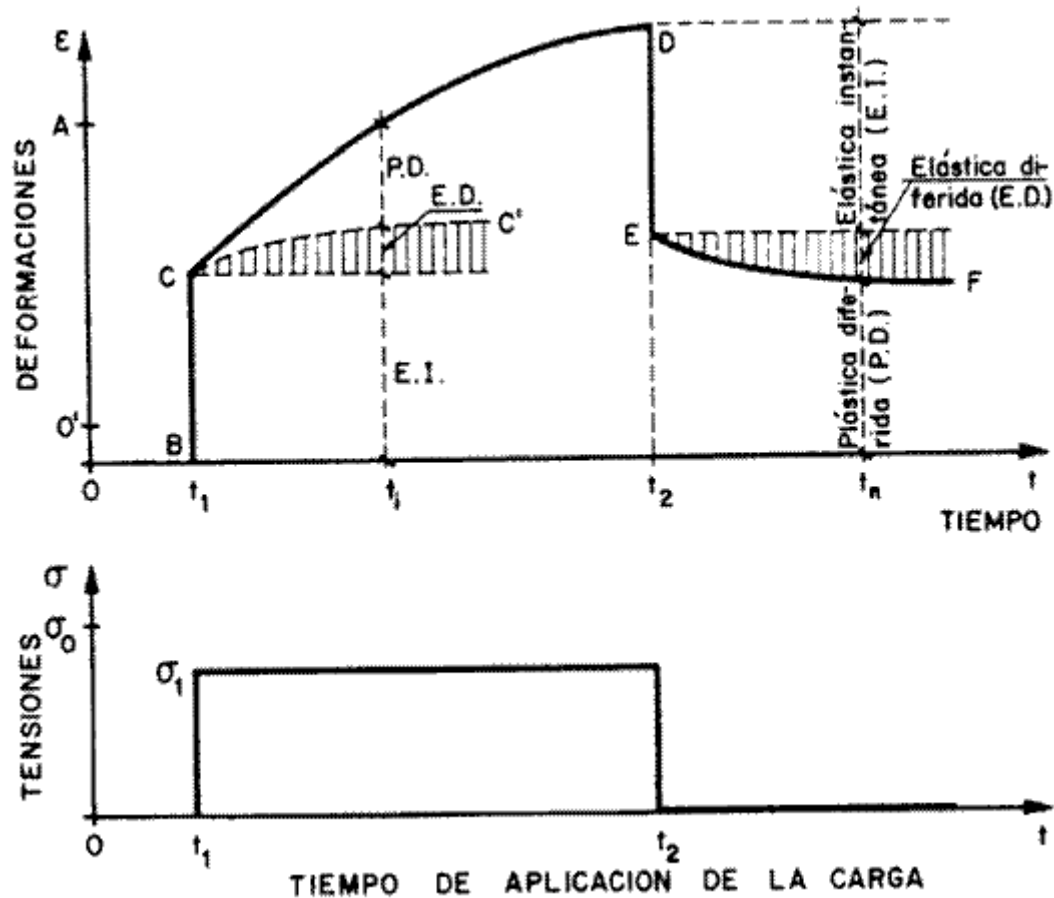
- Temperatura
- Humedad Relativa
- Velocidad del Viento

Se ha determinado que cuando un hormigón presenta una pérdida de agua superior a $1,0 \text{ Kg} / \text{m}^2 / \text{h}$, el hormigón se microfisura superficialmente.

A fin de eliminar los riesgos de fisuración por pérdida de agua en el hormigón, especialmente a temprana edad, se debe proteger el hormigón una vez concluidas las faenas de terminación.

Los métodos preferidos de curado son:

- Rociado continuo
- Agua corriente o empozada
- Arpillera u otro material absorbente, continuamente saturados
- Compuestos químicos de curado.



En estas gráficas se puede observar las relaciones entre las tensiones y deformaciones con el tiempo de aplicación de carga

9.2.2. Retracción hidráulica.

En el caso de retracción hidráulica, debe diferenciarse la que se produce, antes y durante el periodo de fraguado y endurecimiento.

La pérdida de agua superficial antes de fraguado se considera irreversible y generalmente, origina fisuras y grietas de tipo superficial

La retracción hidráulica depende de los siguientes factores:

- Dosis de cemento
- Cantidad de agregados
- Cantidad de agua
- Medio ambiente (temperatura, humedad relativa, viento)
- Edad del hormigón

9.2.3. Retracción térmica.

Se produce por las variaciones de temperatura en el medio ambiente, lo que genera contracciones o expansiones, de una magnitud proporcional al incremento de ella.

Coefficientes de dilatación térmica:

Hormigón de cemento - Cuarzita	$1,2 \text{ a } 1,3 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
Hormigón de cemento - arena de piedra	$0,9 \text{ a } 1,2 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
Hormigón de cemento – Granito	$0,7 \text{ a } 0,95 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
Hormigón de cemento – Basalto	$0,8 \text{ a } 0,95 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
Hormigón de cemento - piedra caliza	$0,6 \text{ a } 0,90 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

La retracción térmica produce una deformación inferior a la producida por la retracción hidráulica.

10. Tipos de hormigón.

En la Instrucción española (EHE), publicada en 1998, los hormigones están tipificados según el siguiente formato siendo obligatorio referirse de esta forma en los planos y demás documentos de proyecto, así como en la fabricación y puesta en obra:

Hormigón **T – R / C / TM / A**

T: se denominará HM cuando sea hormigón en masa, HA cuando sea hormigón armado y HP cuando sea hormigón pretensado.

R: resistencia característica del hormigón expresada en N/mm².

C: letra inicial del tipo de consistencia: S Seca, P plástica, B Blanda, F Fluida y L Líquida.

TM: tamaño máximo del árido expresado en milímetros.

A: designación del ambiente a que estará expuesto el hormigón.

Tabla 2: Tipos de hormigón.

Tipos de Hormigón	
Hormigón ordinario	También se suele referir a él denominándolo simplemente hormigón. Es el material obtenido al mezclar cemento portland, agua y áridos de varios tamaños, superiores e inferiores a 5 mm, es decir, con grava y arena
Hormigón en masa	Es el hormigón que no contiene en su interior armaduras de acero. Este hormigón solo es apto para resistir esfuerzos de compresión.
Hormigón armado	Es el hormigón que en su interior tiene armaduras de acero, debidamente calculadas y situadas. Este hormigón es apto para resistir esfuerzos de compresión y tracción. Los esfuerzos de tracción los resisten las armaduras de acero. Es el hormigón más habitual.
Hormigón pretensado	Es el hormigón que tiene en su interior una armadura de acero especial sometida a tracción. Puede ser pre-tensado si la armadura se ha tensado antes de colocar el hormigón fresco o post-tensado si la armadura se tensa cuando el hormigón ha adquirido su resistencia.
Mortero	Es una mezcla de cemento, agua y arena (árido fino), es decir, un hormigón normal sin árido grueso.
Hormigón ciclópeo	Es el hormigón que tiene embebidos en su interior grandes piedras de dimensión no inferior a 30 cm.
Hormigón sin finos	Es aquel que sólo tiene árido grueso, es decir, no tiene arena (árido menor de 5 mm).
Hormigón aireado o celular	Se obtiene incorporando a la mezcla aire u otros gases derivados de reacciones químicas, resultando un hormigón baja densidad.
Hormigón de alta densidad	Fabricados con áridos de densidades superiores a los habituales (normalmente barita, magnetita, hematita...) El hormigón pesado se utiliza para blindar estructuras y proteger frente a la radiación.

Hormigón ciclópeo:



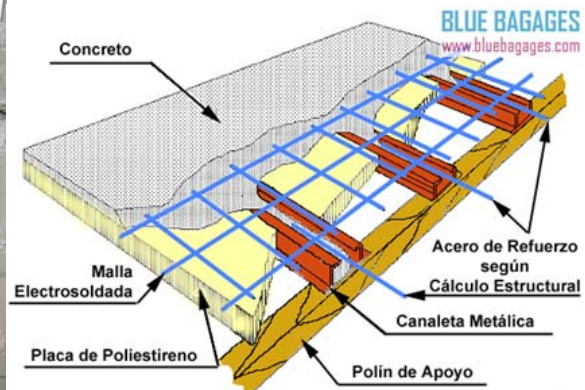
Hormigón aireado o celular:



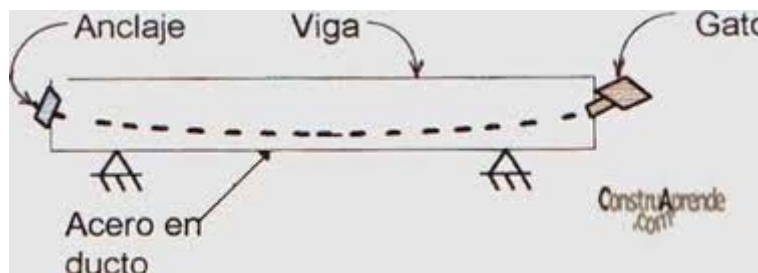
Hormigón de alta densidad:



Hormigón armado:



Hormigón pretensado:



11. Transporte del hormigón.

Se debe efectuar con los equipos adecuados y procedimientos necesarios, a fin de mantener la homogeneidad obtenida durante el mezclado. Deben evitar las pérdidas de material, segregaciones y contaminaciones.

El hormigón debe ser transportado desde la salida de la betonera a su lugar de colocación definitiva en un tiempo inferior a 30 minutos. Se pueden aceptar tiempos superiores, si se mantiene la docilidad sin agregarle cantidades adicionales de agua, ya sea mediante el uso de aditivos de efecto retardador, condiciones ambientales u otros métodos eficientes.

Capacidad (m ³)	Ángulo Tambor (°)	Volumen Geométrico del Tambor (m ³)	Volumen de Agua DIN 459		Tasa de Relleno (%) DIN 1045	Altura Embudo sin chasis (mm)	Peso (kg)
			(m ³)	(%)			
6	14	11	6.78	13	54.5	2600	3900
7	13	12.34	7.6	8.5	56.7	2625	4100
8	12	14.29	9.1	13.75	55.9	2600	4600
9	11	15.96	10.22	13.5	56.3	2600	4850
10	10	17.96	11.05	10.5	56.7	2600	5100

11.1. Equipos de transportes.

- Canoas o canaletas

Deben tener una longitud máxima de 7 m., terminando con un buzón que produzca una caída vertical del hormigón. Se debe mantener un flujo continuo y una velocidad uniforme de hormigón.

Pendientes máximas:

Cono 3 a 8	1/2 (vertical/horizontal)
Cono 8 a 12	1/3

- Carretillas

- Cintas transportadoras



- Camiones tolvas – mixer



11.2. Clasificación del hormigón para transporte.

11.2.1. Según su densidad:

- Hormigones livianos 300 - 1800 Kg./m³
- Corrientes 2000 - 2500 Kg./m³
- Pesados 3000 - 4500 Kg./m³

11.2.2. Según resistencias mecánicas:

- A Compresión:
 - H-30
 - H-40
 - H-50
- A flexotracción:
 - HF - 3
 - HF - 4

11.2.3. Tipo:

- Hormigón simple
- Hormigón armado

11.2.4. Especiales:

- Hormigón con fibras hormigones fluidos
- Hormigón polimérico hormigón bombeado

12. Viabilidad del reciclado.

Reciclaje de cemento

Cuando ciertas estructuras hechas de cemento son demolidas o renovadas, el reciclaje de cemento es un método cada vez más común para reutilizar los escombros resultantes. El cemento solía ser transportado hasta vertederos para deshacerse de él, pero su reciclaje tiene un número de beneficios que lo ha hecho una opción más atractiva en esta época de conciencia medioambiental, leyes medioambientales, y el deseo de mantener los costes de las construcciones lo más bajos posibles.

El árido de cemento recolectado tras la demolición se introduce en una moledora. Las unidades de molido aceptan únicamente trozos de cemento sin contaminar, es decir, que deben estar libres de basura, madera, papel, y otros materiales similares. Los metales como los usados en el forjado son aceptables, ya que pueden ser eliminados gracias a electroimanes y otros sistemas de separación, tras lo que son fundidos para su reciclaje en otras instalaciones. Los remanentes de los bloques de cemento se ordenan por tamaño. Los trozos más grandes pueden ser reconducidos a la máquina. Tras llevar a cabo del molido, las partículas son filtradas por varios métodos distintos, incluyendo la selección a mano y la flotación.

El molido en el mismo lugar de la construcción usando maquinaria de molido transportable reduce el coste de la construcción y la contaminación generada cuando se compara el material desde y hasta una cantera. Existen grandes máquinas portátiles por carretera que pueden moler cemento y asfalto a un ritmo de hasta 600 toneladas por hora. Estos sistemas normalmente consisten en una picadora de escombros, una cinta transportadora de descarga por el lateral, unidad de filtrado y una cinta transportadora para devolver a la picadora los trozos más grandes. Otras máquinas más pequeñas también están disponibles, que pueden manejar hasta 150 toneladas en una hora y puede instalarse en zonas más reducidas. Con la ventaja de contar con otras máquinas auxiliares, como excavadoras, la tendencia del reciclado en el mismo lugar de su extracción en pequeños volúmenes está creciendo rápidamente. Estos conjuntos permiten el reciclado de volúmenes inferiores a 100 toneladas a la hora.



Usos del hormigón reciclado

Los trozos más pequeños de cemento se usan como gravilla para nuevos proyectos de construcción. La gravilla de base se coloca como la capa más baja de las carreteras, vertiendo tras ello más cemento o asfalto. La Federal Highway Administration puede usar técnicas como esta para construir nuevas autovías hechas del material de las viejas carreteras. El hormigón reciclado también puede ser usado como árido seco para hacer hormigón fresco si está libre de contaminantes.

Los trozos más grandes de cemento, como el rip-rap, puede ser usado para el control de la erosión.

Con un control de calidad adecuado en las instalaciones de molido, se puede suministrar ciertos materiales de calidad y estéticamente atractivos como un sustituto del estuco y del acolchado.

Los gaviones pueden ser rellenos con hormigón molido y se pueden apilar para crear muros de contención económicos. Los gaviones apilados también son usados para aumentar la privacidad de un lugar, en lugar de usar una valla.

Beneficios

Existe una variedad de beneficios en el reciclaje del cemento en lugar de su vertido o enterramiento en un vertedero.

Mantener el hormigón alejado de los vertederos permite ahorrar espacio en estos lugares. Usar material reciclado como gravilla reduce la necesidad de construcción de minas a cielo abierto.

Usar cemento reciclado como material base para carreteras reduce la contaminación creada por su transporte a otros lugares.

Contras

Han existido una serie de contras en el tema del reciclaje del hormigón cuando se encuentra pintado debido al posible contenido en plomo de la pintura. El laboratorio de investigación de ingeniería de la construcción del Army Corps of Engineers y otros han llevado a cabo varios estudios para comprobar si la pintura basada en plomo en el cemento reciclado realmente supone un riesgo para el ambiente. Los resultados demostraron que el cemento con pintura al plomo podría ser usado como un relleno seguro sin necesidad de tomar precauciones, pero siempre y cuando se colocara sobre ciertos tipos de suelo.

13. Ensayos del hormigón

13.1. Generalidades y clasificación.

El ensayo del hormigón se realiza en sus dos estados; fresco para conocer sus características y endurecido para determinar sus cualidades y resistencia. El comportamiento de un hormigón frente a los distintos esfuerzos es variable y complejo.

Clasificación:

1) Según su naturaleza:

Destructivos: determinan la resistencia mediante la rotura de probetas o piezas de hormigón.

No destructivos: determinan la calidad sin destruir la estructura.

2) Según su finalidad:

Ensayos previos: determinan la dosificación del material de acuerdo con las condiciones de ejecución. Se realizan antes de comenzar las obras.

Ensayos característicos: comprueban que la resistencia y dispersión del hormigón en obra se encuentran dentro de los límites del proyecto.

Ensayos de control: con probetas moldeadas en obra para comprobar que la resistencia del hormigón se mantiene igual o mayor que la exigida.

Ensayos de información: pretenden conocer la resistencia del hormigón correspondiente a una parte de la obra y a una edad determinada.

13.2. Ensayos del hormigón fresco.

Toma de muestras del hormigón fresco:

- Las muestras han de ser representativas y de volumen 1,25 – 1,50 veces el volumen de las probetas.
- En camiones hormigonera tenemos que vigilar la segregación y tomar una muestra uniforme del contenido de la hormigonera.
- Para comprobar la homogeneidad de un vertido; las muestras se tomarán a $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ de la descarga y entre estos para los distintos ensayos.
- Cuando no se puedan tomar muestras durante la descarga, tomaremos 5 porciones aleatorias de la descarga completa, no cercanas a los bordes donde puede haberse producido segregación.
- La muestra debe protegerse del sol, lluvia, viento y desecación, y no exceder los 15 min. antes de su utilización.

13.2.1. Ensayos de consistencia.

13.2.1.1. Cono de Abrams.

Se utiliza un molde sin fondo de forma troncocónica, provisto de dos asas para manipularlo, con unas dimensiones interiores específicas.

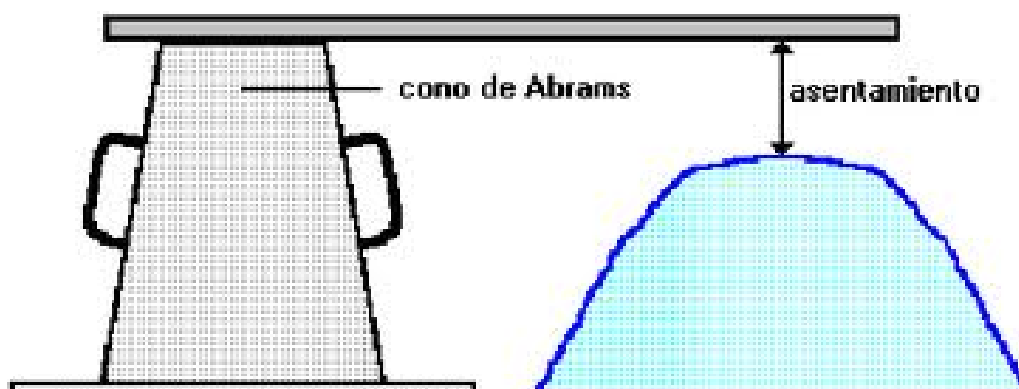
Se coloca el molde sobre una superficie plana, rígida e impermeable. Se humedece el interior del molde y la superficie. Se introduce el hormigón y enrasa la superficie.

Se desmoldea inmediatamente, levantando el cono despacio y en dirección vertical sin sacudidas y medimos el punto más alto de la masa asentada.

El ensayo no se aplica con áridos > 40 mm.

Clasificación del hormigón según su consistencia:

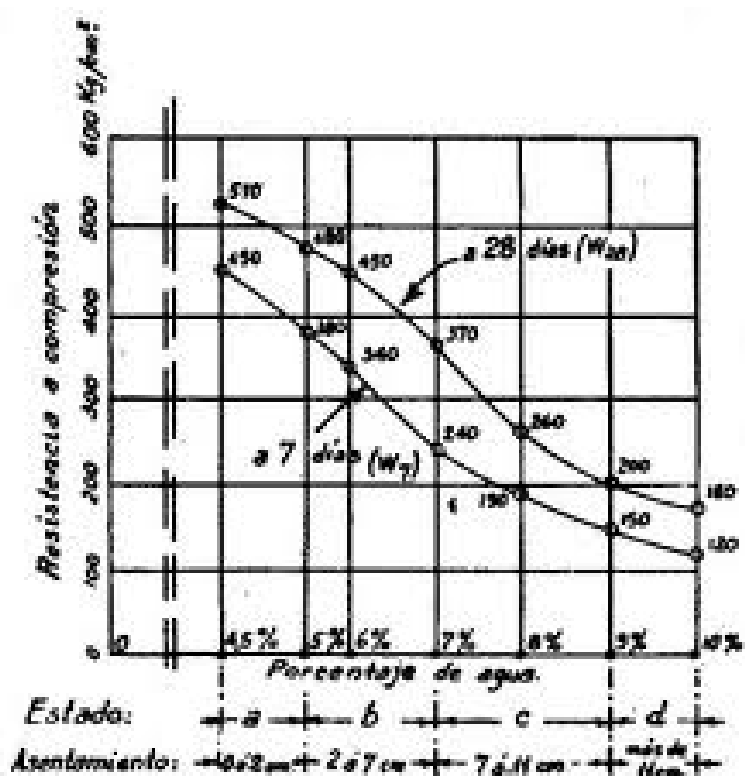
- | | |
|-------------|--------|
| - Secos | < 2 |
| - Plásticos | 3 - 5 |
| - Blandos | 6 - 9 |
| - Fluidos | > 10 |



En este dibujo se puede observar como se calcula el asentamiento con el cono de Abrams.



En estas fotografías se puede observar la realización del ensayo de consistencia mediante el cono de Abrams.

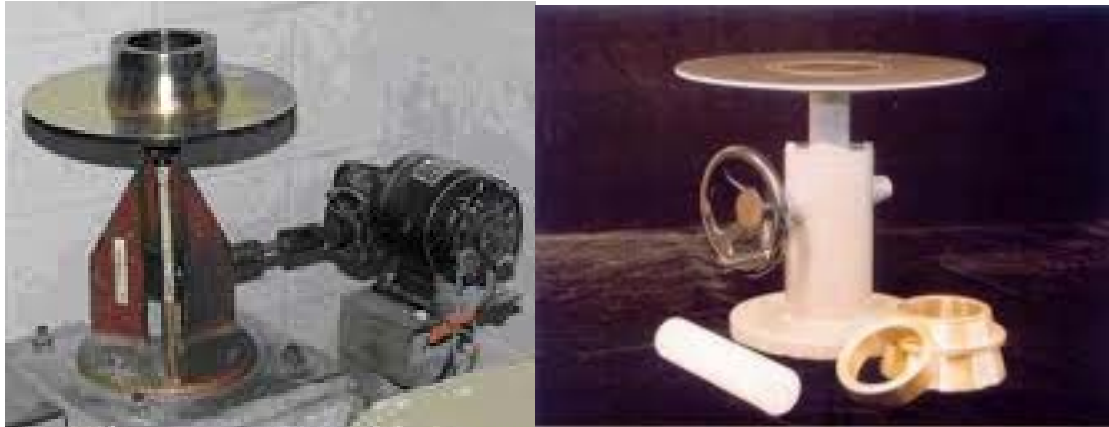


En esta gráfica se puede observar la relación entre la resistencia a compresión frente al porcentaje de agua y el asentamiento con dos diferentes edades de del hormigón.

13.2.1.2. Mesa de sacudidas.

Se realizan las mismas operaciones que con el Cono de Abrams pero situando el molde sobre una mesa limpia que lo somete a 16 sacudidas o golpes en caída libre.

La consistencia se expresa en % de aumento del diámetro de la base inferior del cono.

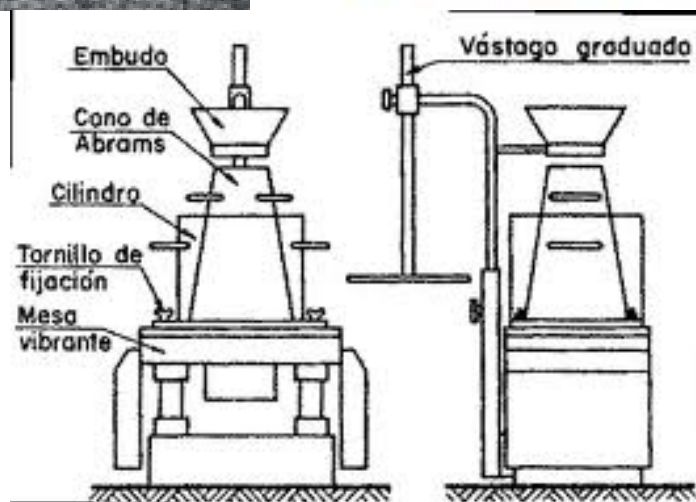


En estas fotografías se puede observar dos ejemplos de mesa de sacudidas.

13.2.1.3. Consistómetro Vebe.

Trata de medir en segundos el tiempo que tarda el hormigón en extenderse totalmente sobre una placa de vidrio con la ayuda de una mesa vibrante.

Si el resultado es inferior a 5 segundos, el ensayo es poco significativo.



En estas fotografías se puede observar diferentes ejemplos de consistómetros Vebe.

13.2.2. Determinación de la densidad.

Se utiliza un molde rígido que se rellena y compacta. Se determina la masa de hormigón restando, de la masa total, la del molde. Dividiendo por el volumen del molde se obtiene la densidad.

13.2.3. Contenido de aire ocluido:


Consiste en determinar la deformación elástica que experimenta el hormigón fresco bajo una presión dada y en condiciones definidas, y compararla con la de un volumen conocido de aire sometido a la misma presión.

13.3. Ensayos mecánicos mediante probetas enmoldadas.

Definición de las probetas y moldes:

La forma y dimensiones de las probetas deben ser proporcionales al tamaño del árido. Los moldes deben ser rígidos y no absorbentes. Se untan con aceite mineral u otra sustancia que no ataque al cemento y evite la adherencia.

Preparación de las probetas:

Si el asiento en el Cono de Abrams		$< 4 \text{ cm}$ $\geq 4 \text{ cm}$	Compactación por vibrado Compactación por picado
------------------------------------	---	---	---

Una vez compactado el hormigón debe ser enrasada con pasta de cemento la parte superior de la probeta.

Las probetas se manipularán lo mínimo posible y se cubrirán para evitar la desecación.

Conservación:

Hemos de tener mucho cuidado en el transporte y conservación y se debe hacer en un lugar adecuado, con una humedad y temperatura determinados.

Cuando se trata de hormigón en obra debe conservarse con unas condiciones lo más parecidas a las de la estructura de ensayo.

Refrentado de las probetas cilíndricas con mortero de azufre:

Las caras planas de probetas destinadas a rotura por compresión con imperfecciones deben ser refrentadas mediante un tratamiento térmico, con una mezcla de azufre, arena y eventualmente un fundente.

Métodos de ensayo de probetas de hormigón:

Durante el ensayo la carga debe aplicarse de una manera continua y sin saltos.

Las dimensiones de las probetas deben medirse con un error < 1 mm.

Las superficies de los platos no han de presentar.

El diámetro de la esfera de rotura no debe ser \gg que la dimensión de la probeta, y el centro de la esfera debe estar situado en la vertical de centro de la carga.



En estas fotografías se puede observar diferentes probetas refrentadas con azufre.

13.3.1. Método de ensayo a compresión:

Se limpiaran tanto las superficies de carga de los dos platos como las caras de la probeta.

Los cubos deben ensayarse sobre las caras laterales que corresponden al molde.

La carga debe aplicarse de una manera continua sin saltos y a una velocidad constante.

No debe introducirse ninguna corrección a los mandos de la maquina de ensayo cuando la probeta se deforma rápidamente momentos antes de la rotura.



En estas fotografías se puede observar la realización del ensayo de compresión en probetas cilíndricas.



En esta fotografía se puede observar la realización del ensayo de compresión en una probeta rectangular.

13.3.2. Método de ensayo a flexotracción:

Las probetas se rompen a flexión mediante la aplicación de dos cargas iguales y simétricas. Las probetas se apoyan y reciben la carga sobre las dos caras laterales que estuvieron en contacto con el molde.

La resistencia a flexotracción se calcula:

$$f_{ctf} = \frac{M_r}{W} = \frac{6 M_r}{a^3} = \frac{3F}{a^2}$$

M = momento de rotura

W = módulo resistente a flexión

F = carga total aplicada



En estas tres fotografías se puede observar tres etapas en la realización de un ensayo de flexotracción.

13.3.3. Método de ensayo a tracción indirecta:

Consiste en la rotura de la probeta, generalmente cilíndrica, mediante la aplicación de una carga de compresión en dos generatrices diametralmente opuestas.

La resistencia a tracción indirecta se calcula:

$$f_{cti} = \frac{2 F}{\pi \cdot a \cdot l}$$

F = carga de rotura

A = diámetro de la probeta

L = longitud de la probeta



En estas fotografías se puede observar los elementos para la realización del ensayo de tracción indirecta.

13.3.4. Métodos esclerométricos:

Constituyen ensayos elementales que determinan la dureza superficial del hormigón, bien mediante la energía residual de un impacto sobre la superficie del hormigón.

El martillo Schmidt: es el más utilizado por su sencillez y bajo coste, mide la dureza superficial del hormigón en función del rechazo de un martillo ligero. Debe obtenerse el rechazo medio de varias determinaciones, limpiando y alisando previamente la superficie que se ensaya. Útil para determinar la marcha del endurecimiento del hormigón, o para comparar su calidad entre distintas zonas de una misma obra. Los resultados que se obtienen vienen afectados x varias variable y por ello en manos inexpertas conduce a conclusiones erróneas.



El martillo Frank: mide la dureza superficial del hormigón por el diámetro de la huella que deja impresa una bola de acero sobre la que se da un golpe.

El esclerómetro Windsor: se basa en aplicar a la superficie del hormigón una especie de clavo de acero extraduro, que se introduce en el material por medio de una carga explosiva. Lo que se mide es la profundidad de penetración, que viene relacionada con la resistencia a compresión del hormigón. El ensayo es aplicable a superficies planas y curvas, losas de pequeño espesor, etc.



13.3.5. Métodos por velocidad de propagación:

Se fundan en la relación que existe entre la velocidad de propagación de una onda progresiva o impulso, a través de un medio homogéneo e isótropo, y las constantes elásticas del material, que a su vez están ligadas con la resistencia del mismo. La más rápida de estas ondas, es la longitudinal, que corresponde a las deformaciones de tracción-compresión.

$$V_l = \sqrt{\frac{E_d \cdot g}{\gamma} \cdot \frac{1 - \nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}}$$

E_d = Módulo de elasticidad longitudinal dinámico del hormigón.

g = Aceleración de la gravedad.

γ = Peso específico del hormigón.

ν = Coeficiente de Poisson.

La otra onda es transversal, que corresponde a las deformaciones de esfuerzo cortante

$$V_t = \sqrt{\frac{G_d \cdot g}{\gamma}} = \sqrt{\frac{E_d \cdot g}{\gamma} \cdot \frac{1}{(1 - 2\nu)}}$$

G_d = Módulo de elasticidad transversal dinámico.

El equipo más corriente y conocido se compone de un generador de impulsos eléctricos, un osciloscopio, un marcador de tiempos, un excitador de vibraciones piezoeléctrico y un captador del mismo.

Tabla 3: Calidad de los hormigones con cemento Portland.

Velocidad v_l (m/s)	Calidad del hormigón
> 4500	Excelente
3600 – 4500	Bueno
3000 – 3600	Aceptable
2100 – 3000	Malo
< 2100	Muy malo

13.3.6. Métodos por resonancia:

Están basados en la relación existente entre la frecuencia de resonancia de una pieza y las constantes elásticas del material. El inconveniente es que se han de efectuar los ensayos sobre probetas o piezas de pequeñas dimensiones.

Si en una probeta o pieza de hormigón se logra excitar una vibración, cuya frecuencia coincida con su frecuencia propia o de resonancia, pueden determinarse las constantes elásticas del material mediante las relaciones:

$$\begin{aligned}E_d &= K_1 \cdot P \cdot f_1^2 \\E_d &= K_2 \cdot P \cdot f_2^2 \\G_d &= K_3 \cdot P \cdot f_3^2\end{aligned}$$

P = Peso d la probeta.

E_d = Módulo d elasticidad dinámico.

G_d = Módulo de rigidez dinámico.

f_1 = Frecuencia de resonancia transversal.

f_2 = Frecuencia de resonancia longitudinal.

f_3 = Frecuencia de resonancia por torsión.

13.3.7. Métodos combinados o mixtos:

Cada uno de los métodos que acaban de ser expuestos posee sus propias limitaciones.

Ello ha dado lugar a que se desarrollen métodos mixtos.

Como método combinado se recomienda relacionar el índice de rebote esclerométrico, la velocidad del impulso ultrasónico y la resistencia a compresión del hormigón obtenida mediante extracción de probetas testigo.

13.3.8. Métodos por absorción o difusión de isótopos radiactivos:

Estos métodos de ensayo están aún en vía de experimentación, pueden ser de bastante interés para efectuar un control de la homogeneidad del hormigón. El control de la calidad del hormigón puede efectuarse, bien midiendo su densidad, o bien mediante la determinación del contenido de agua.

La densidad del hormigón puede determinarse basándose en la absorción de rayos gamma, a su paso a través de la masa del mismo.

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

I = Radiación que atraviesa el espesor x.

I_0 = Radiación incidente.

μ = Coeficiente de absorción.

x = Espesor del material.

El método resulta útil para detectar algún defecto del hormigón endurecido, o bien, para controlar la homogeneidad del hormigón fresco.

La calidad del hormigón puede también determinarse midiendo su contenido en agua, mediante la retrodifusión de los neutrones rápidos de los átomos de hidrógeno de la misma.

13.4. Equivalencia entre distintas formas de probetas.

Para la utilización de la tabla posterior citamos un ejemplo;

En los ensayos de resistencia a compresión, cuando se utilizan probetas diferentes de la cilíndrica 15x30, los resultados deben multiplicarse por el coeficiente de conversión dado en la tabla 4 para obtener el valor que correspondería a la probeta cilíndrica 15x30.

Tabla 4: coeficientes de conversión respecto a la probeta cilíndrica de 15 x 30 cm

Tipo de probeta (Con caras refrentadas)	Dimensiones (cm)	Coeficiente de conversión	
		Valores límites	Medio
Cilindro	15x30	—	1.00
Cilindro	10x20	0.94 a 1.00	0.97
Cilindro	25x50	a 1.10	1.05
Cubo	10	0.70 a 0.90	0.80
Cubo	15	0.70 a 0.90	0.80
Cubo	20	0.75 a 0.90	0.83
Cubo	30	0.80 a 1.00	0.90
Prisma	15x15x45	0.90 a 1.20	1.05
Prisma	20x20x60	0.90 a 1.20	1.05

13.5. Equivalencia entre distintas edades.

a) En los ensayos de resistencia a compresión puede admitirse que la relación entre la resistencia a j días de edad y la de 28 días, es la dada en la tabla 5.

Tabla 5: valores de la relación f_{cj}/f_{c28}

Edad de hormigón, en días	3	7	28	90	360
Cemento Portland normal	0.40	0.65	1.00	1.20	1.35
Cemento Portland de alta resistencia inicial	0.55	0.75	1.00	1.15	1.20

b) En los ensayos de resistencia a tracción, la relación citada puede tomarse de la tabla 6

Tabla 6: coeficientes de conversión respecto a 28 días de edad, en los ensayos de resistencia a tracción.

Edad de hormigón en días	3	7	28	90
Tracción directa	0.58	0.74	1.00	1.22
Ensayo brasileño	0.65	0.78	1.00	1.08
Ensayo de flexotracción	0.58	0.75	1.00	1.20

Equivalencias entre distintas resistencias:

Entre las distintas resistencias a tracción y las resistencias a compresión pueden establecerse unas relaciones medias de tipo orientativo.

13.6. Extracción y ensayo de probetas testigo.

Generalidades:

Cuando sea necesario determinar la resistencia del hormigón correspondiente a una obra ya ejecutada, pueden obtenerse probetas talladas directamente de la obra.

Las probetas se extraen mediante perforadoras tubulares, con las que se obtienen testigos cilíndricos cuyas caras extremas se cortan posteriormente con disco. Cuando se trata de pilares, conviene muestrear en el tercio superior de los mismos.

El detector magnético de armaduras, aplicado a la superficie del hormigón permite localizar la presencia y el trazado de las armaduras hasta profundidades del orden de los 10 cm.

Dimensiones de las probetas:

Las probetas cilíndricas destinadas al ensayo de compresión tendrán un diámetro ≥ 10 cm y su altura como mínimo el doble del diámetro. El diámetro no debe ser inferior al triple del tamaño máximo del árido.

Es conveniente que las probetas no se extraigan antes de los 28 días. Sus bases de ensayo no deben tener irregularidades grandes y deben ser perpendiculares al eje de la probeta.

Preparación y conservación de las probetas:

En el caso en que la obra o estructura de la que se han extraído las probetas vaya a estar sometido a humedad continuamente, o a saturación de agua, las probetas talladas y refrentadas deben mantenerse antes del ensayo durante 40 a 48 horas en agua.

Evaluación de la resistencia:

La influencia de la edad, está ligada fundamentalmente al tipo de cemento y al grado de maduración del hormigón. Si se deseara estimar la resistencia a otra edad distinta de la ensayada, habría que utilizar correlaciones específicas para cada cemento; en su defecto, pueden emplearse valores medios como los indicados en la tabla 5 o en la 7.

Tabla 7: Influencia de la edad en la resistencia a compresión de probetas testigo

Tipo de cemento	Resistencia relativa					
	7 días	14 días	28 días	3 meses	1 año	2 años
Normal	0.70	0.88	1	1.12	1.18	1.20
De alta resistencia inicial	0.80	0.92	1	1.10	1.15	1.15
De endurecimiento lento	—	0.70	1	1.40	1.60	1.70

Ensayos de control de la calidad del hormigón

Según su finalidad (ya descritos anteriormente).

Ensayos posteriores a la terminación de la obra:

Cuando debemos estimar la calidad del hormigón de una estructura ya terminada, puede recurrirse a la extracción de probetas testigo, a la realización de ensayos no destructivos, de prueba de carga o de otras determinaciones directas o indirectas de la calidad del hormigón. En la tabla 8 se presenta un resumen de los procedimientos comúnmente empleados. En general, la estimación final de la calidad de hormigón requiere el empleo combinado de diversos métodos.

Tabla 8: procedimientos para estimar la calidad del hormigón de una estructura.

Procedimiento	Forma de trabajo	Características que se determina
Análisis químico	<ul style="list-style-type: none"> - Determinación del contenido en cal fosilice sobre muestras de 5 Kg de hormigón - Otros métodos 	<ul style="list-style-type: none"> - Contenido en cemento por m³ de hormigón - Dosis de los componentes - Relación agua/cemento
Extracción de probetas testigo	-Sonda rotatoria y ensayos posteriores	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia - Peso específico - Porosidad - Modelo de elasticidad dinámica - Las del caso anterior
Exploración esclerométrica	- Estimación de la dureza superficial(índice esclerométrico)	- Resistencia
Exploración con ultrasonidos	- Medida de la velocidad de propagación de ondas ultrasónicas	<ul style="list-style-type: none"> - Módulo de elasticidad - Resistencia - Presencia de fisuras
Detección magnética de armaduras	- Medición de variaciones en campos magnéticos	<ul style="list-style-type: none"> - Posición de las armaduras - Espesor del recubrimiento
Rayos X	- Inspección radiográfica	- Posición de las armaduras
Isótopos radioactivos	- Medición de la absorción, difusión o presencia de radio-isótopos	<ul style="list-style-type: none"> - Peso específico - Porosidad - Coqueras - Contenido en agua - Posición y diámetro de las armaduras
Examen al microscopio	- Sobre el propio elemento	- Presencia de fisuras
Análisis petrográfico	- Sobre muestras extraídas	- Posibles alteraciones (precipitación, carbonatación, etc.)
Recuento microscópico	- Método de las líneas transversales sobre muestra preparada	- Aire ocluido
Pruebas de carga	- Medición de deformaciones y fisuras	- Comprobación del comportamiento elástico

14. Ensayos más comunes.

14.1. Ensayo compresión.

Objetivo

La determinación de la resistencia a compresión de probetas de ensayo de hormigón endurecido.

Probetas de ensayo

Las probetas deben ser cúbicas, cilíndricas o testigos que cumplan las especificaciones de las Normas EN 12350-1, EN 12390-2, o EN 12504-1. En nuestro caso utilizaremos probetas cúbicas que las cumplen.

Procedimiento

Tomamos las probetas según la norma UNE EN 12350-1.

Limpiamos los platos de carga de la máquina y la superficie de la probeta, eliminando cualquier resto.

Eliminamos la humedad de la probeta y la colocamos centrada en el plato inferior.

Seleccionamos en la máquina las condiciones de velocidad de carga constante, aplicamos una carga inicial y comenzamos a aplicar la carga continuamente hasta la rotura.

Registramos la carga máxima indicada por la máquina en kN.



Expresión de los resultados

La resistencia a compresión es igual a la carga máxima de rotura dividida entre la superficie o área transversal de la probeta.

14.2. Ensayo asentamiento

Objetivo y campo de aplicación

Determinar la consistencia de un hormigón fresco mediante el ensayo de asentamiento.

El ensayo de asentamiento es sensible a los cambios en la consistencia del hormigón cuando la medida del asentamiento se sitúa entre 10 mm y 210 mm. Más allá de estos valores extremos, la medición del asentamiento puede ser inadecuada y deberían considerarse otros métodos de medida de la consistencia.

Este ensayo no es apropiado si el asentamiento continúa produciéndose después de un periodo de 1 min. después del desmoldeo.

Este ensayo no es aplicable cuando el tamaño máximo del árido en el hormigón es mayor que 40 mm.

Fundamento

El hormigón fresco se compacta en un molde con forma de tronco de cono. Cuando el molde se levanta en dirección vertical, el descenso producido por el asiento del hormigón da una medida de su consistencia.

Aparatos

Molde para conformar la probeta de ensayo, fabricado con metal que no sea fácilmente atacable por la pasta de cemento y de un espesor no inferior a 1,5 mm. El interior del molde debe ser liso y libre de protuberancias tales como cabezas de remaches, y tampoco debe presentar ningún tipo de abolladuras. El molde debe tener forma de tronco de cono con las siguientes dimensiones interiores:

Diámetro de la base: (200 ± 2) mm;

Diámetro de la parte superior: (100 ± 2) mm;

Altura: (300 ± 2) mm.

La base y la parte superior deben estar abiertas y deben ser paralelas entre sí, formando ángulo recto con el eje del cono. El molde debe estar provisto, en la parte superior, de dos asas, y en la parte inferior de dos grapas de fijación o piezas fijas de pie para sostenerlo firmemente. Es aceptable un molde que pueda sujetarse en la base, siempre que el dispositivo de sujeción pueda liberarse completamente sin movimiento del molde y sin interferir en el asentamiento del hormigón.

Barra compactadora, de sección transversal circular, recta, fabricada con acero, con un diámetro de (16 ± 1) mm, y de (600 ± 5) mm de longitud, y con sus extremos redondeado.

Regla, graduada desde 0 mm a 300 mm, con divisiones no superiores a 5 mm, con el punto cercen uno de los extremos de la regla.

Bandeja/chapa de base, una placa rígida, plana, no absorbente, u otra superficie en la cual se pueda colocar el molde.

Recipiente de reamasado, una bandeja plana de construcción rígida y fabricada con materiales no absorbentes ni fácilmente atacable por la pasta de cemento. Deben tenerlas dimensiones apropiadas para que el hormigón pueda homogeneizarse perfectamente, empleando la pala cuadrada o el cogedor.

Pala, con la boca cuadrada.

Cogedor, de 100 mm de anchura aproximadamente.

Cronometro o reloj que permita la apreciación de 1 s.

Procedimiento

Se humedece el molde y la bandeja base y se coloca el molde sobre la bandeja base en una superficie horizontal. Durante el proceso de llenado se agarra o sujeta el molde firmemente contra la bandeja base, bien anclándolo perfectamente o bien pisando en las dos piezas de pie.

Se llena el molde en tres capas, de modo que cada una ocupe aproximadamente un tercio de la altura del molde una vez compactado el hormigón. Se compacta cada capa con 25 golpes con la barra compactadora. Se distribuyen uniformemente los golpes en la sección transversal de cada capa. Para la capa inferior, se necesitará inclinar ligeramente la barra compactadora y posicionar la mitad de los golpes aproximadamente en forma de espiral hacia el centro. Se compacta la segunda y la ultima capa a lo largo de toda su altura, de forma que la barra penetre ligeramente en la capa inferior. En el llenado y compactado de la ultima capa, se procurara que el hormigón rebose antes de comenzar el proceso de compactado.

Si como consecuencia del proceso de compactad de la ultima capa resultase que falta hormigón y que por tanto está por debajo del nivel superior del molde, se añade más hormigón para que siempre haya exceso sobre el nivel superior del molde. Después de compactar la ultima capa, se retira el hormigón sobrante por medio de una acción de corte y rodillo de la barra compactadora.

Se retira el molde levantándolo con cuidado en dirección vertical. La operación de levantar el molde debe realizarse en un tiempo de 2s a 5 s, de una manera uniforme, sin causar al hormigón ningún movimiento lateral o de torsión.

La operación completa, desde el comienzo del llenado del molde hasta la retirada del mismo, será realizada sin interrupción y debe completarse en un tiempo no superior a 150 s.

Inmediatamente después de retirar el molde, se mide el asentamiento h determinando la diferencia entre la altura del molde y la del punto más alto de la probeta de hormigón asentada, redondeado a los 10 mm.

Resultado del ensayo

El ensayo solamente es válido si se produce un correcto asentamiento de la masa de hormigón, es decir, un asentamiento en el cual el hormigón permanece sustancialmente intacto y de forma simétrica.

14.3. Ensayo esclerométrico.

Objetivo

Determinar el índice de rebote de una zona de hormigón endurecido usando un esclerómetro.

Fundamento

Una masa proyectada, por un muelle, golpea a un vástago en contacto con la superficie del hormigón y el resultado del ensayo expresa en términos de la medida de la distancia de rebote de la masa.

Aparatos

Esclerómetro: Consta de una masa de acero impulsada por un muelle el cual, cuando es liberado, golpea un vástago de acero en contacto con la superficie de hormigón. La distancia de rebote del martillo de acero se medirá en una escala lineal acoplada al instrumento.

Yunque de tarado: Yunque de acero para la verificación del esclerómetro, definido por una dureza mínima de 52 HRC y una masa de (16 ± 1) Kg. y un diámetro de aproximadamente 150 mm.



Zona de ensayo

Los elementos de hormigón a ensayar deberán tener un espesor mínimo de 100 mm y estar solidariamente fijos a una estructura. Se pueden ensayar probetas más pequeñas con la condición de estar firmemente sujetadas. Se deben evitar las zonas que presenten coqueras, exfoliaciones, textura rugosa o alta porosidad.

Para la selección de la zona de ensayo se tendrán en cuenta los siguientes factores:

- La resistencia del hormigón;
- Tipo de superficie;
- Tipo de hormigón;
- Humedad de la superficie;
- Carbonatación;
- Movimiento del hormigón bajo ensayo.

Las superficies texturadas en exceso, con presencia de polvo o con pérdida de mortero, se alisarán usando una piedra abrasiva, hasta que presenten un aspecto liso. Las superficies obtenidas con encofrados lisos o alisadas pueden ensayarse sin pulido.

Procedimiento

El esclerómetro se usará a una temperatura dentro del rango de 10 °C a 35 °C. Antes de una secuencia de ensayo sobre una superficie de hormigón, se realizarán y registrarán lecturas sobre el yunque de tarado para asegurar que se encuentran dentro del rango recomendado por el fabricante. Si no lo están, el esclerómetro se limpiará y/o ajustará.

El esclerómetro se sujetará firmemente en una posición que permita transmitir mediante el vástago un impacto perpendicular a la superficie de ensayo.

Después del impacto, se anota el valor del índice de rebote.

Se han de tomar, al menos, nueve lecturas con el fin de disponer de una estimación fiable del índice de rebote de la zona de ensayo.

Se anotará la posición y la orientación del esclerómetro para cada conjunto de lecturas.

No se deben elegir dos puntos de impacto a una distancia inferior a 25 mm entre ellos, ni a 25 mm del borde de la pieza.

Se examina cada huella efectuada en la superficie después del choque y si el impacto aplasta o rompe huecos próximos a la superficie, el resultado obtenido será desestimado.

Después de los ensayos, se realizarán lecturas usando el yunque de tarado, registrándolos y comparándolos con los efectuados actuados con anterioridad a los ensayos. Si los resultados difieren, el esclerómetro se limpiará y/o ajustará y se repetirán los ensayos.

Resultado del ensayo

El resultado se tomará como la mediana de todas las lecturas corregidas, si es necesario, teniendo en cuenta la orientación del esclerómetro de acuerdo con las instrucciones del fabricante y expresado como un número entero.

Si más del 20 % de todas las lecturas difieren de la mediana en más de seis unidades, se descartarán la totalidad de las lecturas.

14.4. Ensayo flexión.

Objetivo

Determinar la resistencia a flexión de probetas de hormigón endurecido.

Fundamento

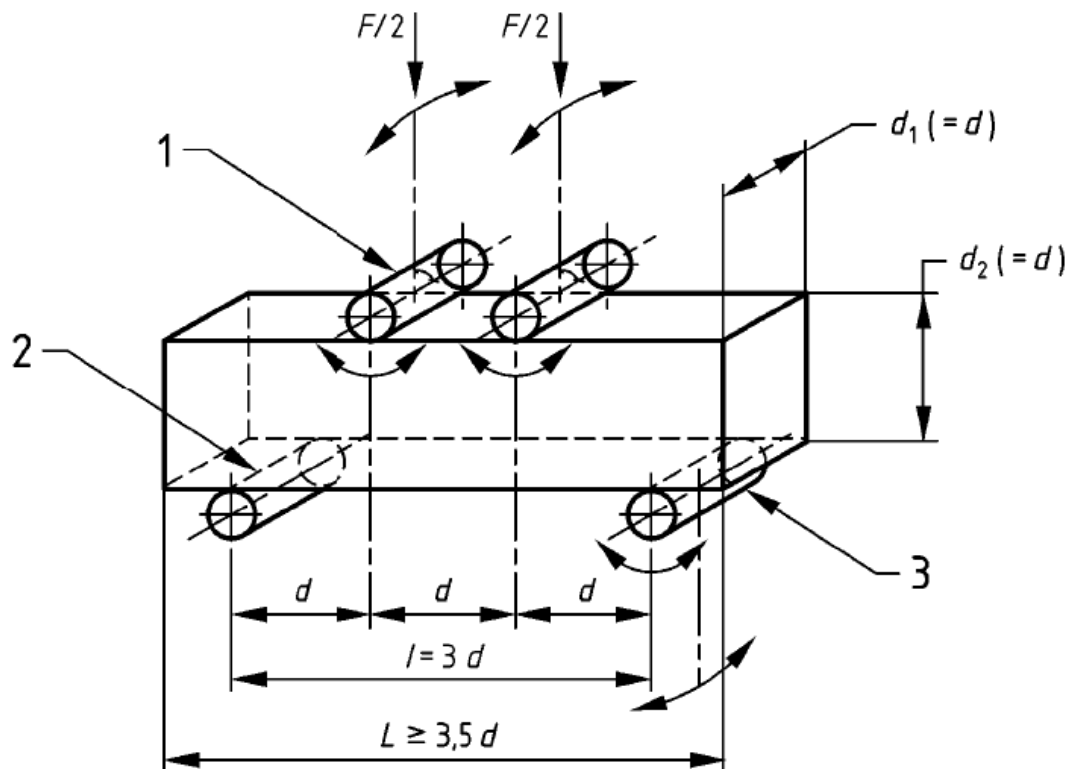
Someter a una probeta prismática a un momento flector mediante la aplicación de una carga a través de rodillos superiores e inferiores. Se registrara la carga máxima alcanzada y se calculara la resistencia a flexión.

Aparatos

Maquina de ensayo: La maquina debe cumplir las especificaciones de la Norma EN 12390-4.

Aplicación de la fuerza: El dispositivo para la aplicación de cargas debe consistir en:

- Dos rodillos soportes.
- Dos rodillos superiores soportados por una placa articulada, que reparte la carga aplicada por la prensa entre los dos rodillos por igual.





Procedimiento

Se limpian todas las superficies de los soportes del dispositivo de ensayo, y se eliminan de las caras de la probeta que van a estar en contacto con los rodillos todo el polvo u otros materiales extraños.

Se coloca la probeta en el dispositivo de ensayo, correctamente centrada con su eje longitudinal en ángulo recto con los ejes longitudinales de los rodillos superiores e inferiores.

Se comprueba que la dirección de referencia de la carga es perpendicular a la dirección de hormigonado de la probeta.

La carga no se comienza a aplicar hasta que los rodillos de carga y los de apoyo descansen firmemente sobre la probeta.

Se selecciona un incremento de tensión constante entre 0.04 y 0.06 MPa/s

Tras aplicarse la carga inicial, que no debe exceder aproximadamente el 20 % de la carga de rotura, se aplica la carga de forma continua y sin brusquedades con el incremento hasta que la probeta no soporte una carga mayor.

La velocidad de carga requerida en la maquina se calcula mediante la formula:

$$R = \frac{s \times d_1 \times d_2^2}{l}$$

Donde

R es el incremento de carga requerido, en N/s;
s es el incremento de tensión, en MPa/s (N/mm² · s);
d1 y d2 son las dimensiones laterales de la probeta, en mm;
l es la distancia entre los rodillos inferiores, en mm.

Se debe anotar la carga máxima alcanzada.

Si la rotura se produce fuera de los rodillos de carga, se debe anotar.

Expresión de resultados

La resistencia a flexión viene dada por la formula:

$$f_{cf} = \frac{F \times l}{d_1 \times d_2^2}$$

Donde

f_{cf} es la resistencia a flexión, en MPa (N/mm²);
F es la carga máxima, en N;
l es la distancia entre los rodillos inferiores, en mm;
d1 y d2 son las dimensiones laterales de la probeta, en mm.

La resistencia a flexión se expresa con una aproximación de 0.1 MPa (N/mm²).

14.5. Ensayo tracción indirecta.

Objetivo y campo de aplicación

Determinar la resistencia a tracción indirecta sobre probetas prismáticas de hormigón endurecido.

Fundamento

Se somete una probeta a una fuerza de compresión aplicada en una banda estrecha en toda su longitud. El resultado de la fuerza de tracción ortogonal provoca que la probeta rompa a tracción.

Aparatos

Maquina de ensayo de acuerdo con la Norma EN 12390-4. Pueden utilizarse piezas de acero curvas en lugar de los platos convencionales, cuando los ensayos se realicen sobre probetas cúbicas o prismáticas.

Dispositivo (opcional), para alinear las probetas y las bandas de apoyo. El dispositivo no debe impedir la deformación de la probeta durante el ensayo.

Bandas de apoyo, de fibras prensadas, de acuerdo con la Norma EN 316, de densidad igual o mayor que 900 Kg/m^3 y dimensiones, ancho = $(15 \pm 1) \text{ mm}$, espesor = $(4 \pm 1) \text{ mm}$ y una longitud superior a la línea de contacto de la probeta.



Procedimiento

Se limpian todas las superficies de los soportes del dispositivo de ensayo, bandas, piezas de carga y platos. Se limpian y eliminan de la superficie de la probeta que vaya a estar en contacto con las bandas de apoyo la arena suelta u otros materiales extraños.

Se coloca la probeta centrada en la prensa, si se desea utilizando el dispositivo opcional. Se sitúan con cuidado las bandas de apoyo y, si fuera necesario, las piezas de carga, a lo largo de la parte superior e inferior del plano de carga de la probeta.

Asegurarse durante la carga que el plato superior es paralelo al inferior y que la probeta permanece centrada cuando comienza la carga, bien sea por medio del dispositivo o mediante soportes temporales.

Se selecciona un incremento de tensión constante entre 0.04 y 0.06 MPa/s. Después de la aplicación de la carga inicial, que no debe de sobrepasar aproximadamente el 20 % de la carga de rotura, la carga se aplica sin brusquedades y se incrementa continuamente, a la velocidad seleccionada ± 10 %, hasta que no soporte una carga mayor.

La velocidad de carga requerida se calcula mediante la fórmula:

$$R = \frac{s \times \pi \times L \times d}{2}$$

Donde

- R es la velocidad de carga requerida (N/s).
- L es la longitud de la probeta (mm).
- d es la dimensión de la sección transversal de la probeta (mm).
- s es el incremento de tensión (MPa/s o N/mm²·s).

Se anota la máxima carga alcanzada.

Se examina la rotura de la probeta y el aspecto del hormigón y se anota cualquier anomalía.

Resultado del ensayo

La resistencia a tracción indirecta viene dada por la fórmula:

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d}$$

Donde

- f_{ct} es la resistencia a tracción indirecta (MPa o N/mm²).
- F es la carga máxima (N).
- L es la longitud de la línea de contacto de la probeta (mm).
- d es la dimensión de la sección transversal de la probeta (mm).

La resistencia a tracción indirecta se expresa con una aproximación de 0.05 MPa.

14.6. Ensayo ultrasonidos.

Objetivo y campo de aplicación

Determinación de la velocidad de propagación de ondas longitudinales de ultrasonidos en el hormigón endurecido, lo que se utiliza en diversas aplicaciones.

Términos y definiciones

Tiempo de propagación: Tiempo invertido por el impulso ultrasónico para pasar desde el palpador transmisor hasta el palpador receptor, circulando a través del hormigón interpuesto.

Inicio: Frente del impulso detectado por el aparato de medida.

Tiempo de formación: Tiempo que tarda el frente del primer impulso en pasar del 10 % al 90 % de su máxima amplitud.

Principio

Un palpador electroacústico mantenido en contacto con la superficie del hormigón en ensayo emite impulsos de vibraciones longitudinales. Después de atravesar en el hormigón una trayectoria de longitud conocida, el impulso de vibraciones se convierte en una señal eléctrica por un segundo palpador, mientras que circuitos electrónicos de temporización miden el tiempo de tránsito del impulso.

Aparatos

El aparato consiste en un generador de impulsos eléctricos, un par de palpadores, un amplificador y un temporizador electrónico para la medida del intervalo de tiempo transcurrido entre el comienzo de la onda del impulso generado en el palpador transmisor y el comienzo de la onda a su llegada al palpador receptor.

Existen dos tipos de aparatos electrónicos para la medida del tiempo:

El osciloscopio donde se muestra el primer frente del impulso respecto a una escala de tiempo adecuada.

El cronometro de intervalos de lectura digital directa.

Palpadores: Deben tener la frecuencia natural dentro del rango de 20 kHz a 150 kHz.



Procedimiento

Colocación del palpador. Aunque la dirección en la que se propaga la energía máxima es en ángulo recto respecto a la cara del palpador transmisor, es factible la detección de impulsos que circulen a través del hormigón en cualquier otra dirección. Es por tanto posible efectuar medidas de velocidad de impulso situando los dos palpadores en caras opuestas (trasmisión directa), o en caras adyacentes (trasmisión semidirecta), o en la misma cara (trasmisión indirecta o superficial) de la estructura de hormigón o de la probeta.

Medida de la longitud de la trayectoria:

En transmisión directa, la longitud de la trayectoria es la distancia más corta entre los palpadores. La precisión de la medida de la longitud de la trayectoria debe registrarse con una exactitud del ± 1 %.

En transmisión semidirecta, generalmente es suficiente preciso tomar como longitud de trayectoria la distancia medida entre los centros de las caras de los palpadores. La precisión de la longitud depende del tamaño del palpador comparado con la distancia entre centros.

Con la transmisión indirecta, no se determina la longitud de la trayectoria, sino que se realiza series de medidas colocando los palpadores a distancias diferentes.

Acoplamiento de los palpadores sobre el hormigón. Debe haber un adecuado acoplamiento acústico entre el hormigón y la cara del palpador. Muchos hormigones presentan un acabado suficientemente liso para asegurar un buen contacto acústico usando un medio de acoplamiento tal y como vaselina, grasa, y presionando el palpador contra la superficie del hormigón.

Cuando la superficie del hormigón es muy rugosa y desigual, la zona debería alisarse y nivelarse por pulido o mediante una resina epoxi de endurecimiento rápido.

Medida del tiempo de propagación. Utilizando el dispositivo electrónico se debe determinar el intervalo de tiempo indicado de acuerdo con la instrucción del fabricante

Resultado del ensayo

En transmisiones directas y semidirectas la velocidad del impulso se debe calcular mediante la fórmula:

$$V = \frac{L}{T}$$

Donde

- V es la velocidad del impulso (km/s).
- L es la longitud de la trayectoria (mm).
- T es el tiempo que tarda el impulso en su trayectoria (μs).

La determinación resultante de la velocidad del impulso se debe expresar con una aproximación de 0.01 km/s.

14.7. Ensayo Vebe.

Objetivo y campo de aplicación

Determinar la consistencia de un hormigón fresco por medio del tiempo Vebe

No es aplicable cuando el tamaño del árido es mayor de 63 mm.

Si el tiempo Vebe es inferior a 5 s o superior a 30 s, el hormigón tiene una consistencia para la cual el ensayo Vebe no es adecuado.

Fundamento

El hormigón fresco se compacta dentro de un molde para medir asentamientos. El molde se levanta verticalmente, limpio de hormigón, y se coloca un disco transparente sobre la parte superior del hormigón y con cuidado se baja hasta que entra en contacto con el hormigón. Se registra el asentamiento del hormigón. Se pone en marcha la mesa vibratoria y se mide el tiempo que tarda la cara inferior del disco transparente en cubrirse con la pasta (tiempo Vebe).

Aparatos

- Contenedor, fabricado con metal no atacable fácilmente por la pasta de cemento, de forma cilíndrica (A), con un diámetro interior de (240 ± 5) mm y una altura de (200 ± 2) mm. El espesor de la pared debe de ser de aproximadamente 3 mm y el de la base de aproximadamente 7,5 mm. El contenedor debe ser estanco al agua y de rigidez suficiente para mantener su forma con un uso continuo. Debe disponer de asas y abrazaderas de refuerzo, permitiendo estas últimas asegurar la fijación en la parte superior de la mesa vibratoria (G) mediante palomillas (H).
- Molde para conformar la probeta de ensayo, fabricado con metal que no sea fácilmente atacable por la pasta de cemento y de un espesor no inferior a 1,5 mm. El interior del molde debe ser liso y libre de protuberancias tales como cabezas de remaches, y tampoco debe presentar ningún tipo de abolladuras. El molde debe tener forma de tronco de cono con las siguientes dimensiones interiores:
 - Diámetro de la base: (200 ± 2) mm;
 - Diámetro de la parte superior: (100 ± 2) mm;
 - Altura: (300 ± 2) mm.
- La base y la parte superior deben estar abiertas y deben ser paralelas entre sí, formando ángulo recto con el eje del cono. El molde debe estar provisto, en la parte superior, de dos asas situadas aproximadamente a dos tercios de la altura, para facilitar su levantamiento en dirección vertical cuando la probeta de ensayo de hormigón ha sido moldeada, como requiere el ensayo.

- Disco, transparente, horizontal (C), unido a una barra (J) la cual desliza verticalmente a través de una guía (E) montada en un brazo giratorio (N) y el cual puede fijarse en posición con un tornillo (Q). El brazo giratorio también sostiene un embudo (D) cuya base coincide con la base superior del molde cónico, cuando éste se coloca concéntricamente con el contenedor. El brazo giratorio se sitúa en un tubo hueco (M) y puede fijarse por un tornillo de presión (F). Cuando la posición es la adecuada, los ejes de la barra y del embudo deben coincidir con el eje del contenedor. El disco transparente debe tener un diámetro de (230 ± 2) mm y un espesor de (10 ± 2) mm. Debe disponer un peso (P) colocado directamente sobre el disco de tal forma que el conjunto móvil que consta de disco, barra y peso tenga una masa de (2750 ± 50) gramos. La barra debe estar provista de una escala graduada con intervalos de 5 mm para leer el asentamiento del hormigón.
- Mesa vibratoria (G), de (380 ± 3) mm de longitud y de (200 ± 2) mm de anchura y soportada por cuatro amortiguadores de caucho alojados en la base hueca (K), que a su vez descansa sobre tres pies de caucho. La unidad vibratoria (L) se fija correctamente en el fondo de la mesa, con el contenedor colocado en su parte superior y vacío, debe ser aproximadamente $\pm 0,5$ mm.
- Barra compactadora, de sección transversal circular, recta, fabricada con acero, con un diámetro de (16 ± 1) mm, y de (600 ± 5) mm de longitud, y con sus extremos redondeado.
- Cronometro o reloj que permita la apreciación de 0,5 s.
- Recipiente de reamasado, una bandeja plana de construcción rígida y fabricada con materiales no absorbentes ni fácilmente atacable por la pasta de cemento. Deben tenerlas dimensiones apropiadas para que el hormigón pueda homogeneizarse perfectamente, empleando la pala cuadrada.
- Pala, con la boca cuadrada.
- Trapo húmedo.
- Cogedor, de 100 mm de anchura aproximadamente.

Procedimiento

Se coloca el consistómetro Vebe en una base rígida y horizontal, asegurándose que el contenedor (A) está firmemente sujeto por medio de las palomillas (H). Se humedece el molde (B) y se coloca en el contenedor. Se sitúa el embudo (D) en su posición sobre el molde y se baja sobre el mismo. Se aprieta el tornillo (F) para que el molde no pueda levantarse del fondo del contenedor.

Se llena el molde en tres capas, de modo que cada una ocupe aproximadamente un tercio de la altura del molde una vez compactado el hormigón. Se compacta cada capa con 25 golpes con la barra compactadora. Se distribuyen uniformemente los golpes en la sección transversal de cada capa. Para la capa inferior, se necesitará inclinar ligeramente la barra compactadora y posicionar la mitad de los golpes aproximadamente en forma de espiral hacia el centro. Se compacta la segunda y la última capa a lo largo de toda su altura, de forma que la barra penetre ligeramente en la capa inferior. En el llenado y compactado de la última capa, se procurará que el hormigón rebose antes de comenzar el proceso de compactado.

Si como consecuencia del proceso de compactado de la última capa resultase que falta hormigón y que por tanto está por debajo del nivel superior del molde, se añade más hormigón para que siempre haya exceso sobre el nivel superior del molde.

Después de compactar la última capa, se afloja el tornillo (F), se levanta el embudo (D) y se gira apartándolo y se vuelve a apretar el tornillo (F) en la nueva posición. Asegurarse que el molde (B) no se levante o se mueva prematuramente, y que no caiga hormigón en el contenedor (A).

Se retira el hormigón sobrante por medio de una acción de corte y rodillo de la barra compactadora. Se retira el molde (B) del hormigón levantándolo cuidadosamente en vertical, usando las asas. La operación de elevación del molde tendrá una duración comprendida entre 2 s y 5 s, y se ejecutará de una manera firme y vertical hacia arriba, sin que cause al hormigón ningún movimiento lateral o de torsión.

Si el hormigón se asienta de forma sesgada, se colapsa o se asienta hasta el punto que toca la pared del contenedor (A) se registra esta circunstancia. Se debe registrar si el hormigón se asienta sin ponerse en contacto con la pared del contenedor (A).

Se gira el disco transparente (C) sobre la parte superior del hormigón, se afloja el tornillo (Q) y con cuidado se baja el disco hasta que justo entre en contacto con el hormigón.

Siempre que haya habido un asentamiento correcto, cuando el disco (C) toca el punto más alto del hormigón, se aprieta el tornillo (Q). Se lee y anota el valor del asentamiento en la escala (J). Se afloja el tornillo (Q) para permitir que el disco (C) deslice fácilmente en el contenedor y se apoye totalmente en el hormigón.

Si no se ha producido un asentamiento correcto, asegurarse que el tornillo (Q) se afloja para permitir que el disco (C) deslice fácilmente en el contenedor para apoyarse en el hormigón.

Se pone en marcha la mesa vibratoria y el cronómetro simultáneamente. Se observa a través del disco transparente (C) cómo se va remoldeando el hormigón. Tan pronto como la superficie inferior del disco (C) esté completamente en contacto con la pasta de cemento, se para el cronómetro y la mesa vibratoria. Se registra el tiempo con una aproximación de 1 s.

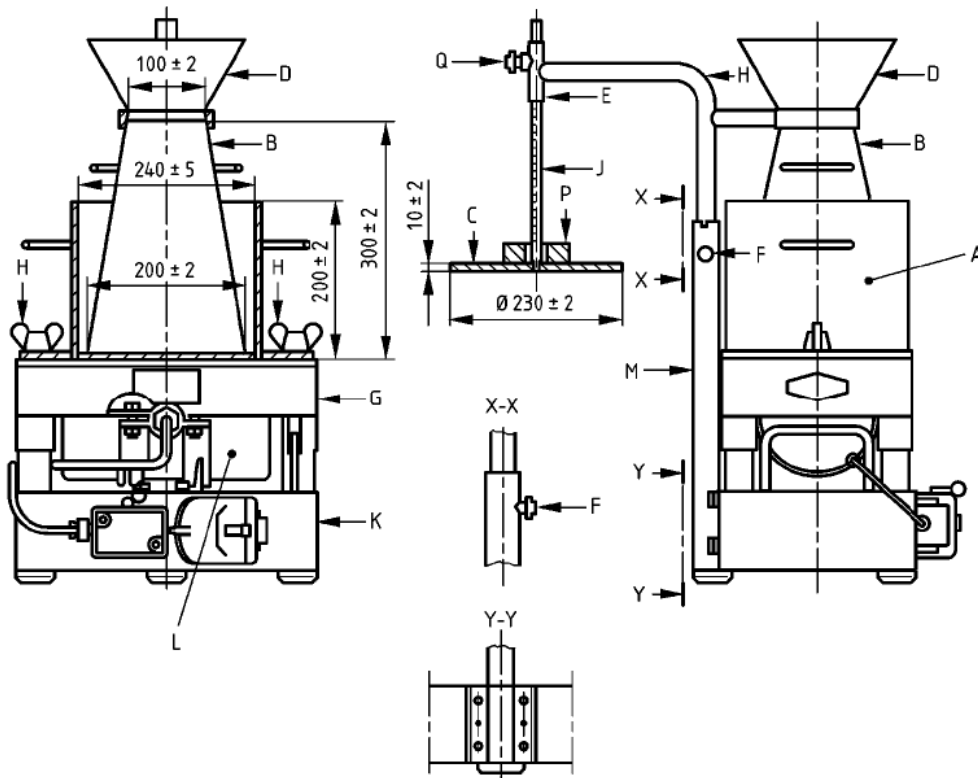
El proceso total, desde el comienzo de llenado del molde, se completa sin interrupción en un tiempo máximo de 5 min.

Resultado del ensayo

Se registra el tiempo con una aproximación de 1 s. Éste es el tiempo Vebe, que expresa la consistencia de la amasada bajo ensayo.

Consistómetro típico (Medidor Vebe)

Medidas en milímetros



Leyenda

- | | | | |
|---|--------------------|-----|-------------------|
| A | Contenedor | J | Barra/Escala |
| B | Molde | K | Base hueca |
| C | Disco transparente | L | Unidad vibratoria |
| D | Embudo | M | Tubo hueco |
| E | Guía | N | Brazo giratorio |
| F | Tornillo | P | Peso |
| G | Mesa vibratoria | Q | Tornillo |
| H | Palomillas | Y-Y | Detalle |
| | | X-X | Detalle |

14.8. Ensayo mesa sacudidas.

Objetivo y campo de aplicación

Determinar el escurrimiento del hormigón fresco. No es aplicable a hormigones autocompactantes, hormigones celulares u hormigones exentos de finos, ni a hormigones cuyo tamaño máximo de árido sea mayor de 63 mm.

Fundamento

El ensayo de la mesa de sacudidas determina la consistencia del hormigón fresco mediante la medida del esparcimiento del hormigón sobre un plato plano sometido a sacudidas.

Aparatos

- Mesa de sacudidas compuesta por: una mesa móvil consistente en un plato liso con una superficie plana de (700 ± 2) mm x (700 ± 2) mm en la cual puede colocarse el hormigón, unida a una base rígida sobre la que puede caer desde una altura determinada.

La parte superior de la mesa de sacudidas (tapa) debe tener una superficie metálica plana de 2 mm de espesor mínimo. La superficie metálica no debe ser fácilmente atacable por la pasta de cemento, ni fácilmente oxidable. La parte superior de la mesa debe tener una masa de $(16\pm 0,5)$ Kg y puede separarse utilizando un pasador a fin de permitir la comprobación del peso. La construcción del plato debe ser la adecuada para prevenir la deformación de la superficie superior. La parte superior de la mesa debe fijarse a la base de forma que ningún árido pueda quedar retenido fácilmente entre las superficies abisagradas.

El centro de la mesa debe grabarse con una cruz, cuyas líneas sean paralelas a los bordes del plato y con un círculo central de (210 ± 1) mm de diámetro.

En las esquinas frontales del plato se deben fijar firmemente a la parte inferior dos bloques duros y rígidos. No deberían deformarse con la humedad, ni ser absorbentes. Estos topes deben transmitir la carga de la parte superior de la mesa a la base sin deformar la mesa. El marco de la base de la mesa debe construirse de manera tal que esta carga se transmita directamente a la superficie sobre la que se coloca el aparato. Esto minimiza la tendencia de la tapa a saltar cuando se produzca la caída libre.

Debe disponerse de apoyos para permitir la estabilización de la mesa durante su uso.

La altura de caída de la tapa de la mesa, medida en el centro de la línea del borde frontal de la zona superior del plato, debe limitarse a (40 ± 1) mm mediante la colocación de uno o más topes.

La elevación de la tapa de la mesa debe efectuarse manualmente o mediante un mecanismo, asegurando que la tapa es elevada sin sacudidas y permitiendo la caída libre en toda la altura de elevación.

- Molde para conformar la probeta de ensayo, fabricado con metal que no sea fácilmente atacable por la pasta de cemento y de un espesor no inferior a 1,5 mm. El interior del molde debe ser liso y libre de protuberancias tales como cabezas de remaches, y tampoco debe presentar ningún tipo de abolladuras. El molde debe tener forma de tronco de cono con las siguientes dimensiones interiores:
 - Diámetro de la base: (200 ± 2) mm;
 - Diámetro de la parte superior: (100 ± 2) mm;
 - Altura: (300 ± 2) mm.

La base y la parte superior deben estar abiertas y deben ser paralelas entre sí, formando ángulo recto con el eje del cono. El molde debe estar provisto, en la parte superior, de dos asas, y en la parte inferior de dos grapas de fijación o piezas fijas de pie para sostenerlo firmemente. Es aceptable un molde que pueda sujetarse en la base, siempre que el dispositivo de sujeción pueda liberarse completamente sin movimiento del molde y sin interferir en el asentamiento del hormigón.

- Maza de apisonar, fabricada en material duro, de sección cuadrada de (40 ± 1) mm de lado y una longitud de 200 mm aproximadamente. Puede añadirse una longitud adicional de 120 mm a 150 mm con sección circular para facilitar su manejo.
- Regla o cinta de medir de 700 mm de longitud mínima y con subdivisiones no mayores de 5 mm en toda su longitud.
- Recipiente de reamasado, una bandeja plana de construcción rígida y fabricada con materiales no absorbentes ni fácilmente atacable por la pasta de cemento. Deben tenerlas dimensiones apropiadas para que el hormigón pueda homogeneizarse perfectamente, empleando la pala cuadrada o el cogedor.
- Pala con la boca cuadrada.
- Trapo húmedo.

- Cogedor de 100 mm de ancho aproximadamente.
- Cronometro o reloj que permita la apreciación de 1 s.

Procedimiento

Se coloca la mesa de sacudidas sobre una superficie plana y horizontal libre de vibraciones o sacudidas externas. Se asegura que la tapa móvil de la mesa puede levantarse hasta el límite adecuado de su recorrido y queda libre la caída hasta el tope inferior. Se apoya de tal forma que cuando la tapa caiga hasta el tope inferior se minimice la tendencia al salto de la misma.

Se limpian la mesa y el molde y se humedecen inmediatamente antes del ensayo, pero manteniéndolos libres de una humedad excesiva.

Se mantienen los bloques en contacto limpios. Se sitúa el molde centrado sobre la tapa de la mesa y se mantiene en posición mediante las dos piezas de pie, o mediante el uso de imanes.

Se llena el molde con hormigón en dos capas iguales usando el cogedor, nivelando cada capa mediante 10 ligeros golpes con la maza de apisonar. Si es necesario, se añade más hormigón a la segunda capa con objeto de mantener un sobrante sobre la parte superior del molde. Utilizando la maza, se enrasa el hormigón con el borde superior del molde limpiando la zona libre de la tapa de la mesa de cualquier resto de hormigón.

Después de 30 s de haber nivelado el hormigón, se eleva despacio el molde verticalmente mediante las asas en un intervalo de 1 s a 3 s. Se estabiliza la mesa de sacudidas pisando la tabla de pie situada en el frente de la mesa y se eleva lentamente la tapa hasta alcanzar el tope inferior. Se repite este proceso 15 veces, empleando entre 1 s y 3 s en cada ciclo. Se mide con la regla la dimensión máxima del hormigón esparcido en las dos direcciones paralelas a los bordes de la mesa, registrando las dos medidas a los 10 mm más próximos.

En el esparcimiento del hormigón se comprueba también la segregación. La pasta de cemento puede segregarse del árido grueso formando un anillo de pasta que se extiende varios milímetros más allá del árido grueso. Se anota si se ha producido segregación y si es así que, por consiguiente, el ensayo no es satisfactorio.

Tras 15 ciclos, si el esparcimiento no se ha estabilizado, se espera hasta la estabilización antes de medir y se registra el tiempo transcurrido entre el fin de los ciclos y la medición. En el informe debe mencionarse este tiempo.

Resultado del ensayo

El valor del escurrimiento, f , viene dado por la fórmula:

$$f = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Donde

- d1 es la dimensión máxima del esparcimiento del hormigón, paralelo a un borde de la tabla
- d2 es la dimensión máxima del esparcimiento del hormigón, paralelo al otro borde de la tabla

Se debe informar del resultado con una aproximación de 10 mm.

15. Informes ensayos.

15.1. Informe ensayo compresión.

Elaboración, curado, refrentado y determinación de la resistencia a compresión de probetas de hormigón siguiendo las indicaciones de las normas UNE 12350-1, 12350-2, 12390-1, 12390-3

Fabricación y curado (UNE 12390-2)

Fecha: 13/12/2010

Hora toma: 11:50

Temperatura ambiente: 5 ° C

Temperatura hormigón: 11 ° C

ENTREGA

Fecha: 14/12/2010

Temperatura ambiente: 5 ° C

Datos del suministro

Designación: HA/30/L22/Ia

Aditivo: 0.8 % GLENIUM ACE 425

Cemento: I/52.5 R Landfort

Marca: BASF

Marca cemento: UNILAND

Análisis de consistencia (UNE 12350-2)

Cono: 23.0

Consistencia: Líquida

Resistencia a compresión (UNE 12390-3) – Máquina de ensayo clase 1

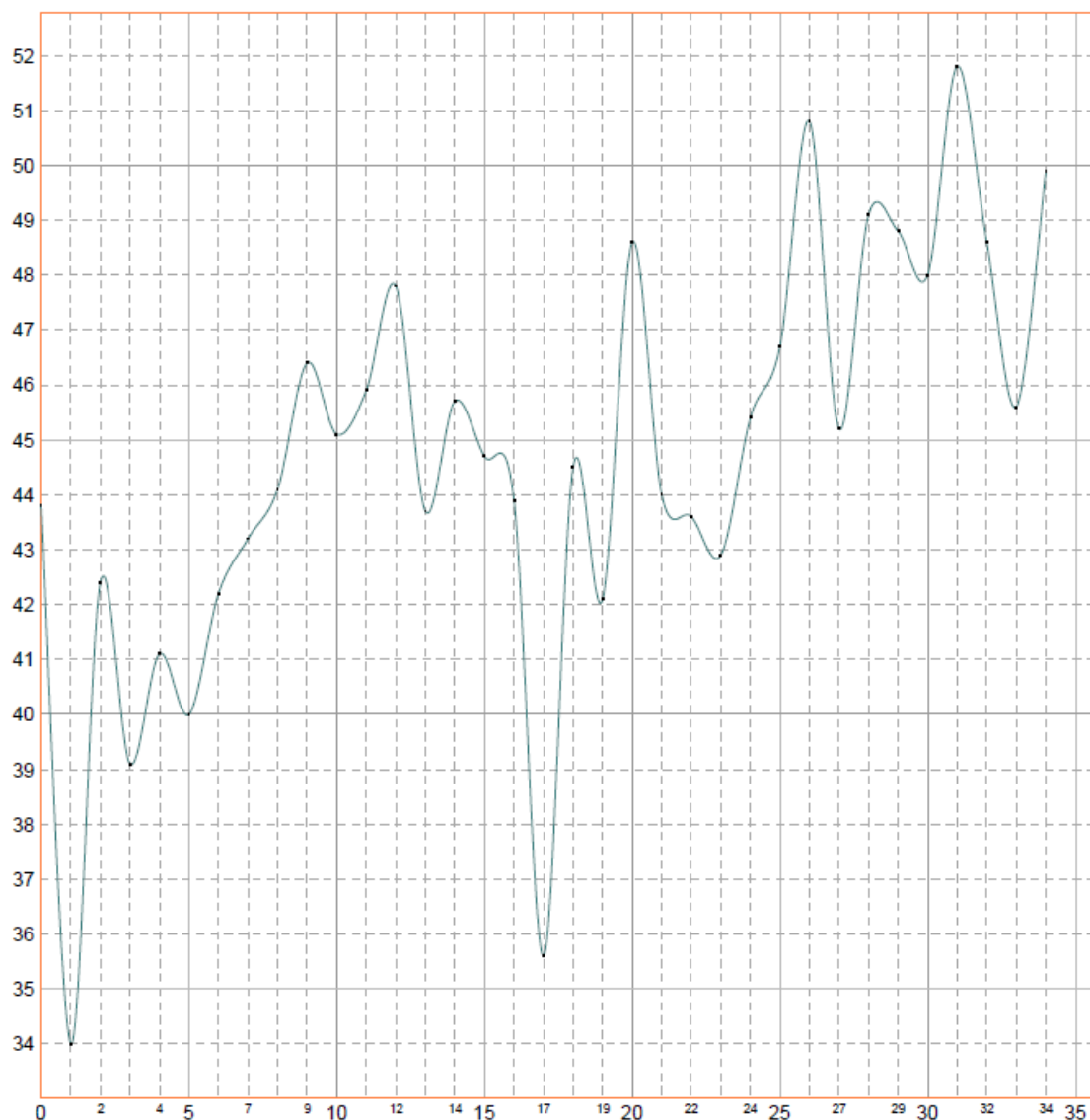
Edad hormigón (días)	Fecha de ensayo	Carga de rotura (kN)	Tensión de rotura (N/mm ²)	Tensión media (N/mm ²)	Recorrido
1	14/12/2010	829.64	33.2	33.2	0%
7	20/12/2010	1109.87	44.4	44.4	0%
28	10/01/2011	1500.42	60.0	58.7	5%
28	10/01/2011	1476.15	59.1		
28	10/01/2011	1420.98	56.9		

GRAFICO DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON A 28 DIAS SIGUIENDO LAS INDICACIONES DE LAS NORMAS UNE: 12350-2, 12390-1, 12390-2 Y 12390-3

Gráfica de resultados de: Amasadas del 09/12/2010 al 31/01/2011

Designación del tipo de hormigón: HA/30/L/22/1a

Validación de la resistencia del hormigón según EHE-08, art 86.9.2.2



Media: 44.69 +/- 3.85, Varianza: 14.85, Coef. Variación: 0.09

15.2. Informe ensayo esclerométrico.

Determinación del índice de rebote siguiendo las indicaciones de la norma UNE-EN 12504-2

Fecha muestreo: 15/11/2010

Fecha registro: 15/11/2010

Inicio/Fin de ensayos: 18/11/2010 / 18/11/2010

Fecha de toma de la muestra: 16/11/10 , Hora: 10:45

Referencia del esclerómetro: A.03.01.0016. Marca Schmidt

$$F_{ck} = 250,00 + I_r * 1,00 \pm 0,00$$

LOCALIZACION	Ang.	VALORES OBTENIDOS (I _r)										I _r medio	Resistencia	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		Media	Mínima
Pilares planta baja	0°	43	44	44	43	42	43	43	42	42	43	42,9	292,9	292,9
Forjado techo planta sótano	-90°	37	37	38	38	38	37	37	38	38	38	41,4	291,4	291,4
Forjado techo planta baja	-90°	38	39	40	41	41	41	42	41	41	41	44,6	294,6	294,6
Forjado techo planta 1ª	90°	47	47	46	46	46	46	47	47	47	46	41,4	291,4	291,4
Pilares 1ª planta	0°	40	41	41	42	41	41	42	41	40	41	41	291	291

16. Conclusiones

Las conclusiones principales de este proyecto son varias y las enumerare a continuación.

Una de las primeras conclusiones es que el hormigón es el material más usado en la construcción pero cada hormigón es diferente, a raíz de esto, también podemos concluir que el mundo del hormigón es muy extenso y es muy difícil dominar perfectamente todos los aspectos relacionados con él.

La siguiente conclusión sería que el hormigón como material de construcción es un material poco reciclable o reutilizable por su alto coste y la poca infraestructura necesaria para ello, a parte de la poca innovación que existe en este ámbito.

Otra conclusión relacionada con los ensayos sería que aunque la cantidad de ensayos que existen para controlar la calidad del hormigón es muy extensa, la realidad es que sólo se utilizan unos pocos de ellos. Dicho esto, quería puntualizar que en la actualidad se realizan básicamente los ensayos de consistencia (Cono de Abrams), ensayos de compresión y ensayos esclerométricos.