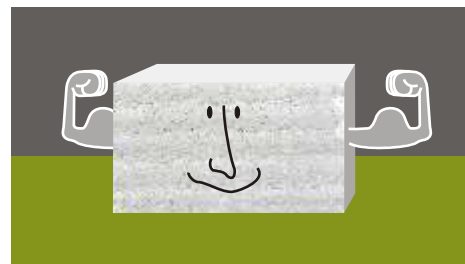


El hormigón elaborado de buena calidad es aquél que une a la resistencia mecánica solicitada, la durabilidad que lo mantenga en buenas condiciones durante el tiempo de la obra en servicio, y es obtenido a un precio razonable de modo que no pueda ser reemplazado por otro material.



Se le reconocen dos estados físicos:

- El de Hormigón Fresco, que es mientras se mantiene en estado plástico cuando aún no ha iniciado el proceso de fraguado. Este proceso se puede graficar con el ensayo UNE 83311 (se mide el fraguado del hormigón y su resistencia a la penetración). Si esta resistencia no supera los 3,4 MPa (35 kg/cm²) se dice que no se inició el fraguado, y es lo que se llama el período o momento reológico del hormigón, caracterizado porque en él se produce un verdadero acomodamiento de las partículas que lo constituyen, en ese medio semilíquido en que se están gestando las reacciones químicas producidas por la hidratación del cemento Pórtland. Un hormigón con los mismos materiales constituyentes, con un período reológico más prolongado, tendrá mayor resistencia y en general mejores atributos de calidad.

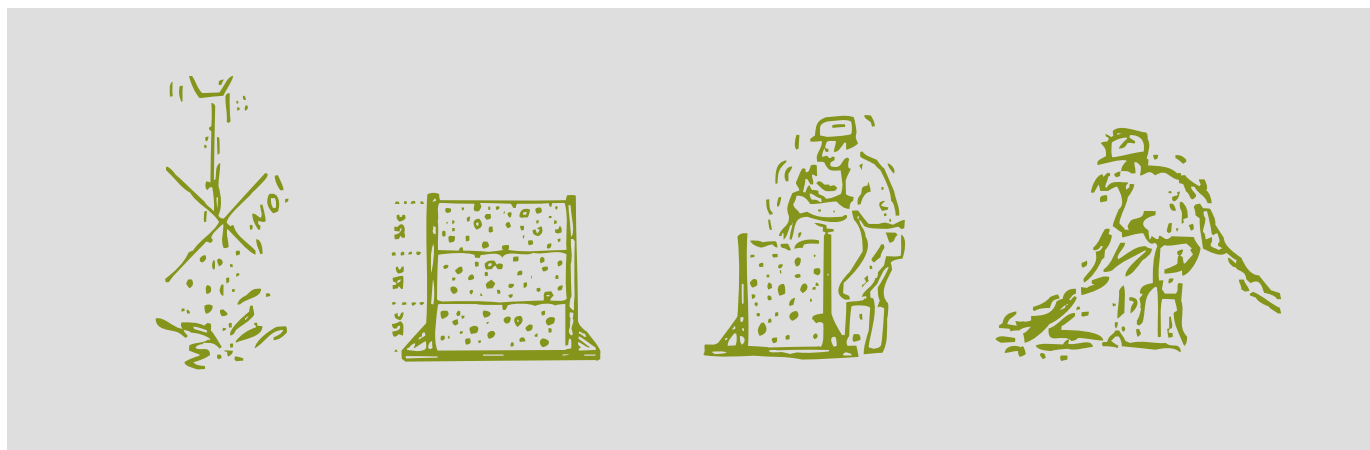
- El Hormigón Endurecido se caracteriza por su dureza y rigidez, que se produce cuando termina el fraguado, momento que se puede medir con el ensayo ya mencionado, y que está fijado por la misma Norma en 27.4 MPa (280 kg/cm²) de resistencia a la penetración, a partir de la cual el conjunto de materiales granulares, pulverulentos y aguas se ha convertido en una verdadera piedra artificial.

En estos dos estados, el hormigón elaborado debe cumplir, aparte de las características básicas indicadas al principio, las siguientes:

Trabajabilidad del hormigón fresco

El hormigón fresco debe ser adecuado a las características particulares de cada obra, su trabajabilidad debe permitir recibirlo, transportarlo, colocarlo en los encofrados, compactarlo y terminarlo correctamente con los medios disponibles sin segregación de los materiales componentes. De ese modo el hormigón elaborado llenará totalmente los encofrados, sin dejar oquedades o nidos de abeja y recubrirá totalmente las armaduras de refuerzo, tanto en pro de la resistencia estructural como para la pasivación del hierro lograda con la lechada de cemento, y quedará con la terminación prevista para la obra.

Es importante señalar que la trabajabilidad es una propiedad de definición algo compleja, pues abarca propiedades de la mezcla fresca que califican la "facilidad de colocación" y "la resistencia a la segregación" como la consistencia y la cohesión respectivamente, medidas con técnicas de laboratorio, y además es una propiedad relativa al tipo y condiciones de obra, dado que una determinada mezcla puede ser trabajable para ciertas condiciones y otras no.



Consistencia del hormigón

La determinación de la de consistencia de la mezcla no mide directamente la trabajabilidad pero es de gran ayuda en obra. Mediante los ensayos correspondientes permite calificar la facilidad con que el hormigón fresco puede fluir y clasificarlo entre rangos de consistencia muy definidos.

La medida de la consistencia del hormigón se hace normalmente con el ensayo UNE 83313 que utiliza el Cono de Abrams, se denomina asentamiento, y es la diferencia entre la altura del cono que sirvió de molde y la del cono de hormigón que se forma al retirar el molde.

Para hormigones fluidos se realiza el "Ensayo de Extendido en la Mesa de Graf " que nos indica la consistencia y su tendencia a la segregación, midiendo el extendido de una masa de hormigón, desmoldado de un cono similar al de Abrams pero más pequeño, sobre una mesa especial, y sometido a sacudidas normalizadas. Este ensayo UNE 83314 es adecuado para hormigones con asentamiento mayor de 15 que no pueden ser estimados con precisión con el método de asentamiento del cono.

Cohesión de la mezcla

Es otra condición indispensable para un buen comportamiento del hormigón elaborado fresco. trabajabilidad resulta difícil de medir, pero el ojo avezado permite advertir, durante el desarrollo de los ensayos arriba mencionados, que en las mezclas sin cohesión hay una cierta facilidad para la segregación de los materiales al quedar en libertad el cono de hormigón, en especial en la forma como se separan los agregados gruesos y el agua, que son los componentes más afectados por este fenómeno.

Como ya hemos expresado Los medios tecnológicos actuales, permiten entregar en obra con consistencias muy variadas que van desde el semiseco hasta el fluido, pero estos últimos para mantener la cohesión requieren el empleo de un aditivo químico superfluidificante (especificados en norma UNE). Hay modernos superfluidificantes que permiten llegar a hormigones autonivelantes sin segregación de los materiales constituyentes.

Factores que afectan la trabajabilidad

Luego del análisis de los conceptos anteriores podemos concluir que para cada tipo o tarea de obra existe una trabajabilidad adecuada y que esta dependerá de la correcta valoración del tamaño-forma de los encofrados, disposición-cantidad de armadura, método de colocación-compactación y de las relativas a la mezcla consistencia-cohesión.

En el cuadro siguiente buscamos relacionar la trabajabilidad, los rangos consistencia y discrepancia durante la entrega, denominaciones para los asentamientos típicos del hormigón fresco con métodos de compactación y vibrado.

TRABAJABILIDAD	RANGO DE CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO A [cm]	DISCREPANCIA [cm]	COMPACTACIÓN	VIBRACIÓN
MUY BAJA	SECA	$A \leq 2$ (semiseco)	± 0	COMPACTADO A RODILLO PARA USO VIAL (H.C.R.V.)	
BAJA	PLÁSTICA	$2 < A \leq 5$ (plástico)		APISONADO ENÉRGICO	INTENSO DE SUPERFICIE O INMERSIÓN
MEDIA	BLANDA	$6 < A \leq 9$ (blando)	± 1	VARILLADO O APISONADO NORMAL	NORMAL DE INMERSIÓN
ALTA	FLUIDA	$10 < A \leq 15$ (fluido)	± 2	VARILLADO	LEVE DE INMERSIÓN
	MUY FLUIDA	$15 \leq A$ (liquido)	± 2	VARILLADO	NO DEBEN VIBRARSE

Puede destacarse como factores que afectan la trabajabilidad del hormigón -en una enunciación no taxativa, los siguientes:

- Insuficiente cantidad de cemento, lo que quita plasticidad a la mezcla.
- Agregados con granulometrías discontinuas exigen más agua para una misma trabajabilidad.
- Agregados gruesos con formas alargadas (elongadas) y angulosas (lajosos), que pueden medirse con los ensayos de Norma IRAM 1687 partes I y II, también son contraproducentes, dado que se incrementa la cantidad de pasta requerida y la fricción entre partículas cuando es moldeado. Se deduce entonces que los agregados angulosos y lajosos también requieren mayor cantidad de agua para la misma trabajabilidad que los lisos y redondeados.
- Las mezclas con canto rodado son siempre más trabajables que mezclas similares con piedra partida.
- El agregado fino con partículas de formas angulosas, afecta proporcionalmente más la trabajabilidad del hormigón que piedras lajosas en el agregado grueso.
- Si en la obra sólo se dispone de agregados lajosos, se recomienda usar mezclas con mayor proporción de arena y cemento, es especial de este último.
- El uso de aditivos fluidificantes o incorporadores de aire puede mejorar la trabajabilidad de las mezclas, pero hay que cuidar la incorporación de aire en exceso, pues disminuye la resistencia mecánica.
- Un exceso de tiempo de transporte en los motohormigoneros, o un mezclado prolongado, aún con el tambor mezclador en velocidad de agitación (alrededor de 2 rpm) pueden influir negativamente en la trabajabilidad, ya que el hormigón pierde "fluidez" por el aumento de la proporción de finos en la mezcla y de la superficie específica, demandando entonces una mayor cantidad de agua que la dosificada.
- No debe agregarse agua en exceso para hacer más trabajable la mezcla, llevándola a asentamientos en el Cono de Abrams superiores a 15 cm. Esto no sólo facilita la segregación de la mezcla, sino que, una vez colocado el hormigón, el agua en demasía busca escapar siembre hacia arriba, formando una gran cantidad de canales capilares que dejan las estructuras débiles, porosas y no durables, en especial la parte superior de vigas y columnas.
- Hormigón con aire incorporado: al hormigón elaborado en estado fresco se le puede incorporar aire deliberadamente, a pedido del usuario, y en cantidades medibles, agregando a la mezcla determinadas dosis de aditivos químicos incorporadores de aire. El contenido de aire intencionalmente incorporado puede medirse -al descargar en obra-, como un porcentaje sobre la masa.

Puesta en obra del hormigón fresco

Una vez terminada la colocación en los encofrados, el hormigón debe ser homogéneo, compacto y uniforme.

Hormigón homogéneo

Se designa así al hormigón que una vez descargado y endurecido no presenta "juntas frías"; es decir capas adyacentes o superpuestas del material que han sido colocadas con una separación tal de tiempo, que al hormigón que se colocó antes le faltó plasticidad suficiente como para que se "soldase" con el colocado a continuación, y por esa falta de adherencia no se ha obtenido el monolitismo, indispensable en una estructura donde el hormigón debe actuar como una sola pieza.

Para evitar estas situaciones, que pueden comprometer seriamente el comportamiento de la estructura, deben tomarse algunas precauciones básicas, tales como las siguientes:

- Evitar las caídas libres del hormigón desde más de un metro de altura, lo que provoca la segregación del material y corrimientos laterales de la masa, que forman rampas y desacomodan a la mezcla que se coloca a continuación.
- La hormigonada debe hacerse por tongadas horizontales que completen la superficie a llenar entre encofrados, y cuyo espesor dependerá de los medios de compactación disponibles, pero nunca deberá superar los 50 ó 60 cm.
- Cada tongada deberá ir compactándose de inmediato, y debe calcularse el tiempo de modo que al colocarse la siguiente, la anterior deberá conservar un estado plástico suficiente como para permitir la perfecta adherencia entre ambas. El constructor debe estar seguro que -al colocarse la capa superior-, en la capa inferior no se ha iniciado el proceso de fraguado.

Hormigón compactado

Es el que al consolidarse ha llenado totalmente los encofrados y recubierto íntegramente las armaduras, dando a éstas buena protección y adherencia.

No deberá tener agua en exceso con lo cual la exudación será mínima. La compactación de los hormigones duros deberá hacerse con vibradores de mesa, de superficie o que actúen directamente sobre los encofrados. Los hormigones plásticos deben ser compactados con vibradores de inmersión, y los hormigones blandos o fluidos se compactarán manualmente con varillas de madera o de hierro.

Hay que recordar que los vibradores de inmersión deben introducirse en el hormigón con el vástago vibrador colocado verticalmente, ya que existe una mala práctica de colocarlo acostado, inclusive para hacer correr la masa de hormigón. Con esta forma de trabajo, las fuerzas que origina la acción vibratoria producen una fuerte segregación de la mezcla en la masa del hormigón.

Debe recordarse también que un exceso de vibración hace subir los finos, es decir la lechada de cemento, hacia la superficie y envía los agregados gruesos hacia abajo, lo que convierte al hormigón en heterogéneo y con distintas características, inclusive de resistencia, en diferentes alturas de la estructura.



Hormigón de resistencia uniforme

Pueden cumplirse perfectamente las cualidades mencionadas en los dos párrafos anteriores, pero ellas sólo quedan completas con un buen curado, es decir evitando que se pierda la humedad que es indispensable para la hidratación del cemento, que lleva a su fraguado y endurecimiento. Sin humedad no hay fraguado ni endurecimiento en el tiempo.

Se inicia el curado con un buen humedecimiento de las bases si se trata de pavimentos de estructuras en contacto con el terreno, y de los encofrados para estructuras en elevación. Con estas últimas hay que tener especial cuidado cuando son absorbentes, en especial fenólicos o maderas nuevas, que se quedan con parte del agua de mezclado que corresponde al hormigón. Porque es muy importante que el agua de mezclado sea retenida en la mayor cantidad posible dentro de la masa del hormigón, para el desarrollo de la resistencia inicial. Para evitar su pérdida, debe cuidarse inicialmente la estanqueidad de los encofrados para impedir la salida de lechada por sus uniones y zonas defectuosas. Una vez colocado y ejecutado la terminación superficial del hormigón, debe evitarse la evaporación del agua de mezclado, impidiendo el escape de la humedad por medio de membranas de curado, tapando las estructuras con polietileno o reponiendo el agua, una vez terminado el fraguado del cemento, por medio de llovizna fina que no lastime la superficie. Después de varias horas de hormigonado (lo que dependerá de las condiciones particulares de cada obra) puede ser usado inclusive el sistema de inundación recubriendo totalmente la estructura con agua.

El período mínimo aconsejado para el curado de estructuras a temperatura normal (no más de 28° centígrados) y movimiento de aire moderado es de 7 días, el que debe prolongarse con más calor en especial si sopla viento o es un período de baja humedad atmosférica.

La falta total de curado, en el mejor de los casos hará perder a 28 días un 35% de la resistencia que el mismo hormigón daría con curado húmedo, y en condiciones extremas de sequedad, calor y viento la pérdida puede ser superior al 50%.

Hormigón endurecido

Es el estado final del hormigón una vez terminado su fraguado. Las características del hormigón al llegar a este estado, y que resultan de interés desde el punto de vista estructural, son las siguientes:

La resistencia mecánica deberá estar acorde con las necesidades de la estructura. El hormigón elaborado, de acuerdo a la Norma IRAM 1666, se controla por su resistencia a compresión simple en probetas cilíndricas normalizadas (curado húmedo) ensayadas a 28 días.

Los resultados de estos ensayos son la base para determinar la calidad del hormigón, ya que a medida que su valor tiende a aumentar también aumentan otras cualidades muy importantes propias de este material, tales como la Durabilidad, la Impermeabilidad y la Terminación superficial, como las más destacadas.

Por acuerdo previo entre el usuario y el productor, puede cambiarse la edad de los ensayos, y si necesidades de obra así lo indican pueden emplearse otras técnicas de ensayo para determinar resistencia a tracción por flexión (carga en los tercios de la luz) o resistencia a tracción simple por compresión diametral.

Durabilidad del hormigón

Expresa el comportamiento del material para oponerse a la acción agresiva del medio ambiente u otros factores como el desgaste, asegurando su integridad y la de las armaduras de refuerzo durante el período de construcción y después, a lo largo de toda la vida en servicio de la estructura.



Impermeabilidad

Es una característica estrechamente ligada a la durabilidad y la que más colabora con ésta. La impermeabilidad es el resultado de disponer de un hormigón compacto y uniforme, con la suficiente cantidad de cemento, agregados de buena calidad y granulometría continua, dosificación racional, relación agua/cemento lo más baja posible dentro de las condiciones de obra para permitir un excelente llenado de encofrados y recubrimiento de armadura, eliminando toda posibilidad de que queden en la masa bolsones de aire o nidos de abeja a fin de impedir que ingresen a la masa del hormigón los elementos agresivos.

Si la impermeabilidad es condición muy importante para el correcto funcionamiento y durabilidad de la estructura, el productor de hormigón elaborado puede agregar a pedido del usuario un aditivo químico para incorporar intencionalmente la cantidad de aire -se mide en porciento sobre la masa total- que sea necesaria.

Constancia de largo

Antes llamada Constancia de Volumen, las exigencias de la normalización internacional han hecho cambiar Volumen por Largo.

Se considera así toda retracción o hinchamiento anormales que puedan producirse en el hormigón endurecido. Estas se eliminan usando materiales que cumplan con las normas de calidad correspondiente, dosificadas racionalmente, con relación agua/cemento controlada, cuidando las operaciones desde la recepción hasta la terminación del hormigón colocado en las estructuras -en especial-, el curado final correcto.