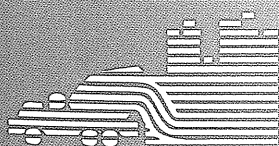
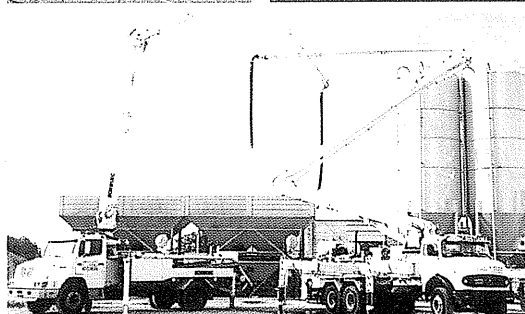
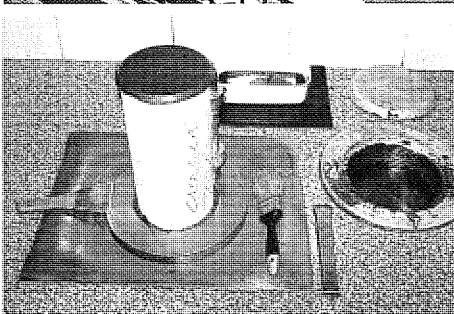
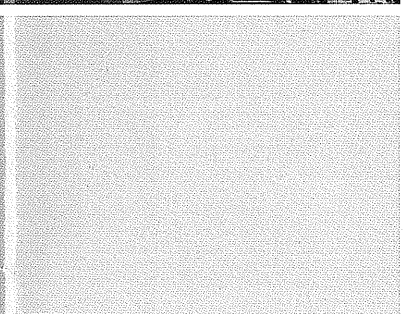
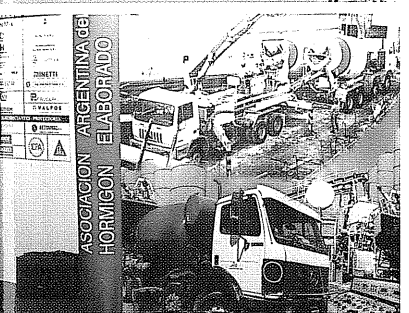
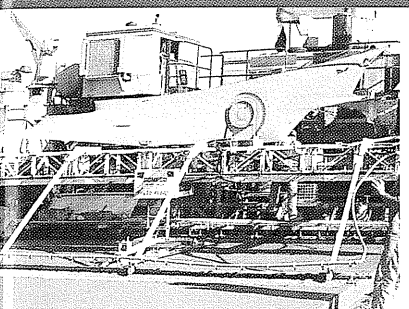


Manual de uso del Hormigón Elaborado



ASOCIACION
ARGENTINA del
HORMIGON
ELABORADO

Las siguientes empresas son Miembros de la AAHE







EMPRESAS ELABORADORAS DE HORMIGON

Miembros Activos

 AreMix	 CEMAX HORMIGON ELABORADO	 HORMIGONES AVELLANEDA	 CEMEX READYMIX ARGENTINA S.A.
 CONAR INGENIERIA S.R.L.	 CONCRETO ROCA HORMIGONES	 CONFLUENCIA DE STEKLI SARITA	 DE VITO y CIA SA MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION
 GOTTI S.A.	 HORCRISA S.A. www.hormigonhorcrisa.com.ar	 HORMIGON ELABORADO HORLIT S.R.L.	 HORMISA HORMIGON ELABORADO
 HORMICEN Hormigón Elaborado	 HORMIGONERA DEL INTERIOR	 HORMIGONERA EL NOCHERO S.A.	 HME HORMIGONERA MARTIN COCCO SRL
 Hormigonera Patagónica	 HORMIGONERA PLATENSE	 HORMIGONERA VALFOS	 Hormigones MELMIX
 Hormimaq	 Hormi Roka S.A. HORMIGON ELABORADO	 HORMI WAI MIGUEL WAIGEL Y CIA S.A.	 Ing. José María Casas S.R.L.
 JALFA Juan Adolfo Laffeuillade e Hijos S.A.	 KORVIAL	 HORMIGONERA La Marchesina S.R.L.	 HORMIGONES LOMAX
 MARKAL S.A. HORMIGON ELABORADO	 NORCON CONSTRUCCIONES	 IP PAVISUR S.A.	 SHAP
 TANMIX HORMIGON ELABORADO	 TRANSIR HORMIGON ELABORADO	 VIALVE S.A.	 VICOLI S.R.L.

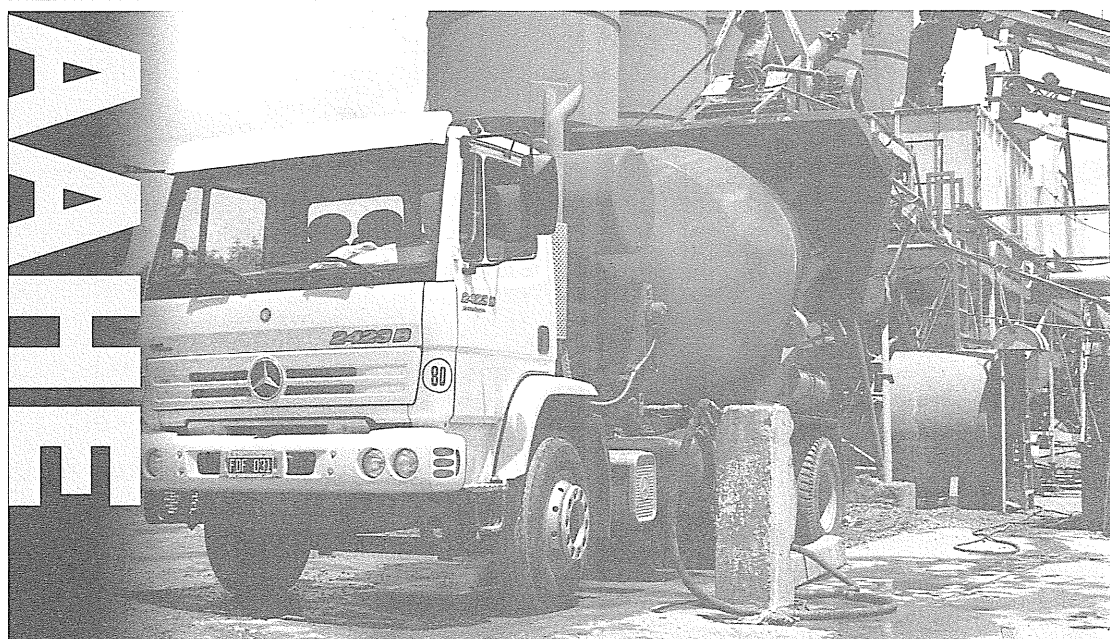
EMPRESAS PROVEEDORAS DE INSUMOS PARA HORMIGON ELABORADO

Miembros Auspiciantes

 ALEIN ALEIN INTERNATIONAL	 BETONMAC S.A. EQUIPOS PARA LA CONSTRUCCION Y TRANSPORTE	 CEMENTOS MINETTI TRANSMIX S.A.	 degussa. creating essentials
 GRACE Construction Products	 ICPA INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO	 PROKRETE PROKRETE ARGENTINA S.A.	 Sika

MANUAL DE USO DEL

HORMIGON ELABORADO



EL POR QUE DEL HORMIGON ELABORADO

Una obra realizada con **hormigón elaborado** brinda eficiencia en los tiempos de su elaboración y colocación, permitiendo así que el material alcance altos valores de resistencia y calidad, tal como lo requieren las actuales condiciones de las construcciones modernas. Además, al reducir sensiblemente los tiempos de hormigonado, se aminoran los costos de construcción y las molestias que ocasionan a la comunidad, al tránsito y a los vecinos cercanos a la obra.

Evita los trastornos que se suscitarían en el tránsito vehicular, con el abastecimiento de arena, cemento y piedra, que se tendrían que entregar en las obras para elaborar el hormigón "in situ". Así también, regula el enorme impacto ambiental que provoca la alternativa del hormigón realizado en obra, que alcanza altos niveles contaminantes.

Debido a ello la **elaboración del hormigón en plantas hormigoneras**, se ha adoptado mundialmente, tecnificándose continuamente con el avance de la problemática ambiental. Por todo

ello las empresas agrupadas en la Asociación Argentina del Hormigón Elaborado, vienen realizando mejoras en sus instalaciones y regímenes de trabajo en pro de dichos logros, evidenciando así su preocupación constante por el tema.

El hormigón elaborado es la opción ecológica para la construcción. Es importante entonces que cada uno de los profesionales de obra, tomen conciencia de ello y contribuyan con su conocimiento a fomentar el desarrollo tecnológico de nuestra actividad la que, día a día, procura ponerse a tono, con las más desarrolladas del mundo.

Hacia esos objetivos estamos encaminados y, con el esfuerzo de todos, procuraremos ver concretadas nuestras aspiraciones.

Consejo Directivo Nacional.



**ASOCIACION
ARGENTINA del
HORMIGON
ELABORADO**



INTRODUCCION

La **Asociación Argentina del Hormigón Elaborado** decidió concretar la publicación de este Manual, en base al conocido **Manual de Consejos Prácticos Sobre Hormigón**, que viene publicando la **Asociación Española de Fabricantes de Hormigón Preparado (ANEFHOP)**.

Corresponde, por tanto, dejar constancia de nuestro reconocimiento por permitírnosnos adaptar tan importante obra.

Esta edición constituye una versión local que, siguiendo la línea temática del documento español, ha sido adecuada a nuestra terminología, usos y costumbres de obra, y fundamentalmente, a la normativa **IRAM** (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales), y a las reglamentaciones del **CIRSOC** (Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles) actualmente en vigencia en nuestro medio; recoge además, experiencias propias de la Argentina actual.

Con la entrega de esta publicación, la **Asociación Argentina del Hormigón Elaborado** pone a disposición de profesionales, usuarios y público en general interesado en el tema, un documento actualizado, práctico y con elevado respaldo conceptual.

Es nuestro deseo que el presente se constituya en un **Manual** de consulta permanente, para facilitar la tarea de todos aquellos que intervienen en una obra, particularmente Directores, Constructores y Proveedores de Hormigón Elaborado.

EMPRESAS INTEGRANTES



ASOCIACION
ARGENTINA del
HORMIGON
ELABORADO

de la ASOCIACION ARGENTINA del HORMIGON ELABORADO

MIEMBROS ACTIVOS

AREMIX - Tel: 4222-5032/8354 - gf-aremix@sinectis.com.ar
CEMAX S.A. - Tel: 02322-496296 - info@cemaxsa.com.ar
CEMENTOS AVELLANEDA S.A. - DIV H° E° - Tel: 4466-0935/4614 - ventas@havellaneda.com.ar
CEMEX - READYMIX ARG S.A. - Tel: 4919-4582 4918-0023/0106 - oparedes@readymix.com.ar
CONAR INGENIERIA S.R.L. - Tel: 02284-431194 - conaring@speedy.com.ar
CONCRETO ROCA S.A. - Tel: 02941-426564 - concretoroca@arnet.com.ar
CONFLUENCIA de Stekli Sarita - Tel: 0299-4434696 - tconfluencia@speedy.com.ar
DE VITO Y CIA - Tel: 02254-483115 - devitocompras@telpin.com.ar
GOTTI SA - Tel: 02966-442497/442504 - info@gottisa.com.ar
HORCRISA SA - Tel: 4457-0723 4626-9742 - horcrisa@speedy.com.ar
HORLIT S.R.L. - Tel: 03329-424411 - crhidalgo@sanpedro.com.ar
HORMI S.A. - Tel: 03752-481110 - hormisa@arnet.com.ar
HORMICEN S.R.L. - Tel: 0341-4350643 - info@hormicen.com
HORMIGONERA DEL INTERIOR S.R.L. - Tel: 02941-436400/4276664 - epili@infovia.com.ar
HORMIGONERA EL NOCHERO SA - Tel: 03752-454200/3583 - hormigoneraelnocherosa@arnet.com.ar
HORMIGONERA MARTIN COCCO SRL - Tel: 4303-3883/4462 - hor.ma.co.srl@web-mail.com.ar
HORMIGONERA PATAGONICA SH - Tel: 0299-4413592 - hormigonerapatagonica@hotmail.com
HORMIGONERA PLATENSE S.A. - Tel: 0221-4612423/4640022 - hplatense@netverk.com.ar
HORMIGONES MELMIX - De Nelson Melli Const SA - Tel: 03722-463570 - nmelliconst@arnet.com.ar
HORMI-MAQ S.A. - Tel: 4295-7500/01 - hormimaq@speedy.com.ar
HORMI-RAP S.A. - Tel: 0261- 4312619/16042 - hormirapsa@speedy.com.ar
ING. JOSE MARIA CASAS S.R.L. - Tel: 4768-1618 - ingcasas@ingcasas.com.ar
J.A. LAFEUILLADE e Hijos S.A. - Tel: 0297-4481133 - juan_lafeuillade@speedy.com.ar
KORVIAL S.R.L. - Tel: 02281-429100/2800 - korvialazul@copetel.com.ar
LA MARCHESINA SA - Tel: 0353-4530967/38408 - lamarchesina@arnet.com.ar
LOMAX - COMPAÑIA DE SERV A LA CONST S.A. - Tel: 4303-1650/6 - lomax@lomax.com.ar
MARKAL S.A. - Tel: 02293-440372/440315 - markal_sa@yahoo.com.ar
MIGUEL WAIGEL y CIA S.A. - Tel: 0343-4951712 - mwaigel@infovia.com.ar
NORCON CONSTRUCCIONES SRL - Tel: 03783-430020/427357 - hormigon@norconsrl.com.ar
PAVISUR S.A. - Tel: 4250-9995 - pavisur@speedy.com.ar
SHAP SA - Tel: 0800-444-7427 - www.shap.com.ar
TANMIX - Tel: 02293-450444 - tanmix@ciudad.com.ar
TRANSIR SRL - Tel: 03487-435438 - transir_srl@s5.coopenet.com.ar
VALFOS S.A. - Tel: 4242-8198/8824 - info@valfos.com.ar
VIALVE S.A. - Tel: 0223-4650964/3400 - vialvesa@uolsinectis.com.ar
VICOLI S.R.L. - Tel: 02262-426060 - vicolisrl@xigma.com.ar

MIEMBROS AUSPICIANTES

ALEIN INTERNATIONAL S.A. - Tel: 4544-2884/6168 - alein@ciudad.com.ar
BETONMAC S.A. - Tel: 0351-4642863/107 - betonmac@betonmac.com
CEMENTOS MINETTI - Tel: 4510-4800 - servicio@grupominetti.com.ar
INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO - Tel: 4576-7690/7695 - biblos@icpa.com.ar
DEGUSSA CHEMICALS CONSTRUCTION ARG S.A. - Tel: 03488-433000/430300 - mbtarg@degussa.com
PROKRETE ARGENTINA S.A. - Tel: 4756-7770 - prokrete@arnet.com.ar
SIKA ARGENTINA S.A. - Tel: 4734-3500 - info.gral@ar.sika.com
W.R. GRACE ARGENTINA S.A. - Tel: 4229-5303 - gcp.argentina@grace.com

Reconocimiento

La Asociación Argentina del Hormigón Elaborado y sus empresas integrantes, agradecen a su Comisión de Tecnología por su cooperación para la revisión de esta nueva edición.

CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN ELABORADO

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 IRAM 1662 (se mide la resistencia del hormigón 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 semi-líquido 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 agua 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:

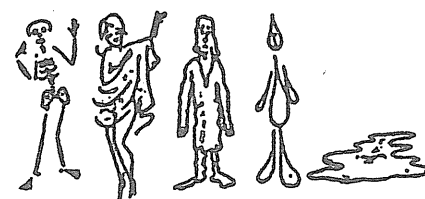
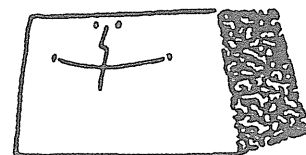
Trabajabilidad del hormigón fresco

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.

TEMA

1





Consistencia del hormigón

La determinación de la 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 IRAM 1536 que utiliza el tronco de Cono de Abrams, se denomina asentamiento, y es la diferencia entre la altura del tronco del cono que sirvió de molde y la del tronco 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 IRAM 1690 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, que 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 semi-seco hasta el fluido, pero estos últimos para mantener la cohesión requieren el empleo de un aditivo químico superfluidificante (especificados en norma IRAM 1663). 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 ésta 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	$A \leq 2$ (semi-seco)	$\pm 1,5$	Compactado a rodillo para uso vial (H.C.R.V.)	
Baja	Semi-seca	$2 < A \leq 5$ (duro)		Apisonado Enérgico	Intenso de Superficie o Inmersión
Media	Plástica	$5 < A \leq 10$ (plástico)	$\pm 2,5$	Varillado o Apisonado Normal	Normal de Inmersión
Alta	Fluida	$10 < A \leq 15$ (blando)	$\pm 3,0$	Varillado	Leve de Inmersión
	Muy Fluida	$15 \leq A$ (fluido)	$\pm 3,5$	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 lajosos 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 tronco de 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 siempre 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

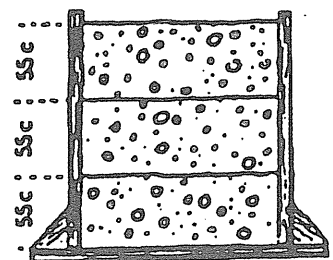
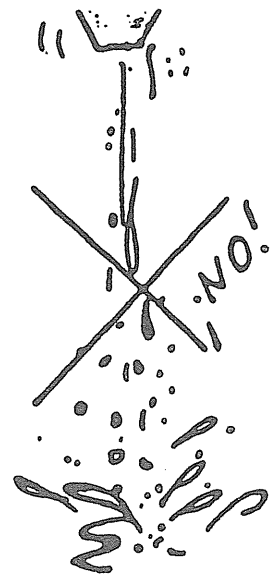
Una vez terminada la colocación en los encofrados, el hormigón debe ser homogéneo, compacto y uniforme.

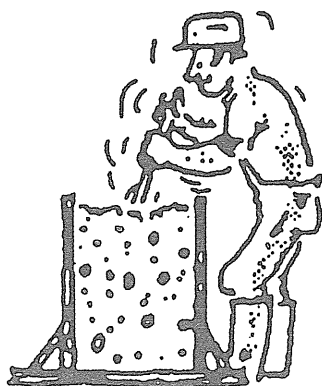
Hormigón homogéneo

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 °C 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 con 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 las 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.

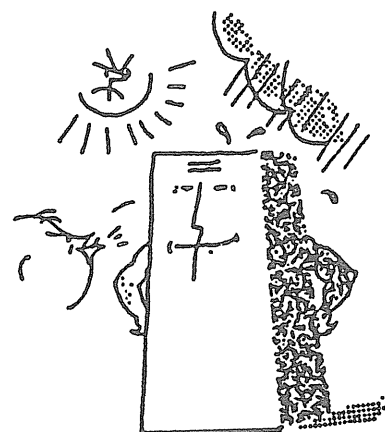
Si la impermeabilidad es condición muy importante para el correcto funcionamiento y durabilidad de la estructura, el productor de hormigón elaborado puede agregar a pedido del usuario un aditivo químico para incorporar intencionalmente la cantidad de aire, se mide en porcentaje sobre la masa total, que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

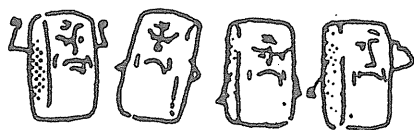
Constancia de largo

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.





CARACTERÍSTICAS Y USOS PRACTICOS DE LOS CEMENTOS NORMALIZADOS EN LA ARGENTINA

Cuidados y limitaciones de cada uno de ellos

Los cementos son conglomerados o ligantes hidráulicos, de aspecto pulverulento, llamados así porque sus partículas tienen la propiedad de producir una reacción química en presencia de agua, que se manifiesta por el aumento de la temperatura y endurecimiento de la masa hasta convertirse en una piedra artificial de características estables.

La composición química y algunas características físicas pueden dar al cemento propiedades diferentes. En la Argentina, las fábricas de cemento disponen de varios tipos de cemento con los cuales cubren las necesidades del mercado de la construcción en el país.

Los diferentes tipos de cemento han sido normalizados por el Instituto Argentino de Normalización (IRAM) y son sometidos a constantes controles de calidad en las fábricas de origen antes de ser despachados para su consumo

CEMENTOS NORMALIZADOS EN LA ARGENTINA

Cementos de Uso General

Son aquellos cementos utilizados en la elaboración de hormigones que serán colocados en elementos estructurales simples o armados donde **no se requieran propiedades especiales** del cemento debido a cuestiones de durabilidad. En cuanto a su designación, los cementos para uso general se identifican con tres letras que indican el tipo de cemento referido a su composición (**véase tabla 1**) y dos dígitos que indican la categoría de resistencia a la que pertenece (**véase tabla 2**).

TABLA 1 /

Tipos de cementos y composición (Fuente: Norma IRAM 50.000)

Tipo de cemento	Nomenclatura	Composición [g/100g]			
		Clinker + Sulfato de calcio	Puzolana (P)	Escoria (E)	"Filler" Calcáreo (F)
CEMENTO PORTLAND NORMAL	CPN	100-90		0-10	
CEMENTO PORTLAND CON "FILLER" CALCAREO	CPF	99-80			1-20
CEMENTO PORTLAND CON ESCORIA	CPE	89-65		11-35	
CEMENTO PORTLAND COMPUESTO	CPC	98-65	2 o más, con P + E + F ≤ 35		
CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO	CPP	85-50	15-50		
CEMENTO DE ALTO HORNO	CAH	65-25		35-75	

TABLA 2 / Clasificación por nivel de resistencia

(Fuente: Norma IRAM 50.000)

Categoría de Cemento	Resistencia de Compresión				Método de Ensayo
	2 días	7 días	28 días		
CP 30	-	≥ 16 MPa	≥ 30 MPa	≤ 50 MPa	IRAM 1622
CP 40	≥ 10 MPa	-	≥ 40 MPa	≤ 60 MPa	
CP 50	≥ 20 MPa	-	≥ 50 MPa	-	

Adicionalmente, en las tablas 3 y 4 se muestran los requisitos químicos y físicos, respectivamente, de los cementos para uso general.

TABLA 3 / Propiedades químicas de los cementos

(Fuente: Norma IRAM 50.000)

Característica	Unidad	Tipo de cemento					
		CPN	CPE	CPP	CAH	CPF	CPC
Pérdida por calcinación	g/100 g	≤ 4,0	≤ 4,0	≤ 4,0	≤ 4,0	≤ 12,0	-
Residuo insoluble	g/100 g	≤ 2,0	≤ 2,0	-	≤ 2,0	≤ 5,0	-
Trióxido de Azufre (SO ₃)	g/100 g	≤ 3,5	≤ 3,5	≤ 3,5	≤ 3,5	≤ 3,5	≤ 3,5
Óxido de Magnesio (MgO)	g/100 g	≤ 5,0	-	≤ 5,0	-	≤ 6,0	-
Cloruros (Cl ⁻)	g/100 g	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10
Sulfuros (S ²⁻)	g/100 g	≤ 0,10	≤ 0,50	≤ 0,10	≤ 1,0	≤ 0,10	≤ 0,50
Coefficiente Puzolánico	-	-	-	≤ 1,0	-	-	-

TABLA 4 / Propiedades físicas de los cementos

(Fuente: Norma IRAM 50.000)

Requisito		Unidad	Mín.	Máx.	Método de ensayo
Finura	Material retenido sobre el tamiz IRAM 75μm	g/100 g	-	15,0	IRAM 1621
	Superficie específica	Promedio Individual	250,0 225,0	-	IRAM 1623
Constancia de volumen	Expansión en autoclave	%	-	1,0	IRAM 1620
Tiempo de fraguado	inicial	Min	45	-	IRAM 1619
	final	H	-	10	
Contracción por secado (*)	a los 28 días de la lectura inicial	%	-	0,15	IRAM 1651-2
Requerimiento de agua, por ciento por masa de cemento (**)		g/100 g	-	64,0	IRAM 1651-2

(*) Sólo se aplica para los cementos tipo CPP

(**) Sólo se aplica para los cementos tipo CPP y CPC.

CPN - Cemento Portland NORMAL

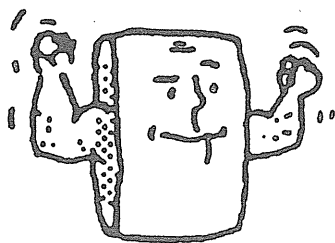
Puede decirse que este cemento portland es apto para todo tipo de construcción que no requiere propiedades especiales por cuestiones de resistencia y/o durabilidad.

CPF - Cemento Portland con "filler" calcáreo

Al igual que el cemento portland normal, este material es utilizado en la construcción cuando el hormigón no presenta requerimientos especiales. La característica más valorada de este material es la buena trabajabilidad que le confiere a los morteros y hormigones cuando se trabajan en estado fresco. Como contrapartida, al estar fabricado con adiciones no activas, la resistencia final de los hormigones elaborados con este material suele ser menor a la que se obtendría con otros tipos de cemento.

CPE - Cemento portland con escoria

Es un cemento con contenido de escoria "moderado" ya que presenta mayor contenido que el cemento portland normal y menor que el cemento de escoria de alto horno.



Puede utilizarse para cualquier tipo de construcción y, es especialmente recomendado, cuando se tiene ataque moderado de sulfatos, posibilidad de utilización de agregados reactivos (previo ensayo) o se requieren buenas condiciones de impermeabilidad del hormigón.

CPC - Cemento Portland Compuesto

Es un cemento que combina los efectos benéficos del "filler" calcáreo de excelente trabajabilidad en estado fresco, con la mayor resistencia final y durabilidad de los cementos con adiciones activas. Esta combinación hace que se obtengan cementos de muy buenas características técnicas a costos razonables para el fabricante y el usuario del cemento.

CPP - Cemento Portland Puzolánico

Estos cementos suelen ser más "lentos" en el desarrollo de resistencia que otros debido fundamentalmente que la puzolana necesita la formación del Ca(OH)_2 (hidróxido de calcio) que se forma como subproducto de la hidratación del clinker para combinarse y formar compuestos similares a los del clinker hidratado. Cuando mayor sea el contenido de adición activa de este cemento, es de esperar que su hidratación sea más "lenta" y consecuentemente también lo sea el desarrollo de resistencia. Generalmente los hormigones elaborados con este tipo de cementos obtienen altas resistencias finales y puede apreciarse cuando se ensayan probetas luego de 56 o 90 días de edad. Si bien este cemento es apto para casi cualquier tipo de obra, cuando el material resulta de comprobada eficacia, es especialmente recomendado cuando se requieran propiedades especiales de durabilidad como ataque de sulfatos, bajo calor de hidratación, inhibición de la reacción álcali-agregado, impermeabilidad, etcétera.

CAH - Cemento de alto horno

Este cemento, posee un alto contenido de una adición activa como lo es la escoria granulada de alto horno. Es muy utilizado en obras de ingeniería donde interesa fundamentalmente el bajo calor de hidratación y una buena resistencia a sulfatos en caso de una exposición a aguas o suelos sulfatados y/o a la reacción álcali-agregado en caso de utilizarse agregados potencialmente reactivos. Es de esperar un desarrollo de resistencia un tanto más "lento" que el cemento normal debido a que la escoria granulada se hidrata a partir del ambiente alcalino que le confiere la hidratación del clinker. No obstante la resistencia final de los hormigones elaborados a partir de este tipo de cemento suele ser mayor a la obtenida con CPN utilizado en dosis similares.

Cementos con Propiedades Especiales

Cuando se requieren propiedades especiales en el hormigón, adicionalmente a los requisitos de los cementos de uso general se especifican otros requerimientos en función de las propiedades especiales buscadas en el producto. Estos requisitos están especificados en la norma IRAM 50.001, según se indica en las tablas 5 a 10:

TABLA 5 /

Requisitos específicos de cementos de alta resistencia inicial (ARI) (Fuente: Norma IRAM 50.001)

Tipo de Cemento	Propiedad	Unidad	Requisito	Método de ensayo
CPN, CPC, CPF, CPE, CAH, o CPP	Superficie específica (valor promedio)	m^2/kg	≥ 400	IRAM 1623
	Superficie específica (valores individuales)		≥ 370	
	Resistencia a la compresión	MPa	≥ 10	IRAM 1622
			≥ 20	
			≥ 27	
			≥ 40	
			≥ 50	

TABLA 6/ Requisitos específicos de cementos altamente resistente a los sulfatos (ARS) (Fuente: Norma IRAM 50.001)

Tipo de Cemento	Propiedad	Unidad	Requisito	Método de ensayo
CPN	Contenido de aluminato tricálcico (C_3A) en el cemento	%	$\leq 4,0$	IRAM 1504
	Contenido de aluminato tricálcico más aluminoferrito tetracálcico ($C_3A + FAC_4$) en el cemento ó aluminoferrito tetracálcico más ferrito dicálcico ($FAC_4 + FC_2$) en el cemento		$\leq 22,0$	
CPC, CPF, CPE, CAH, o CPP (Ver nota)	Contenido de aluminato tricálcico (C_3A) en el clínter		$\leq 4,0$	
	Contenido de aluminato tricálcico más aluminoferrito tetracálcico ($C_3A + FAC_4$) en el clínter ó aluminoferrito tetracálcico más ferrito dicálcico ($FAC_4 + FC_2$) en el clínter		$\leq 22,0$	

Nota: Ante requerimiento del usuario o ente fiscalizador, el productor entregará una muestra del clínter y de la puzolana o de la escoria de alto horno e informará las proporciones empleadas en la elaboración del cemento portland altamente resistente a los sulfatos con adiciones, para que se proceda a su estudio.

TABLA 7/ Requisitos específicos de cementos moderadamente resistente a los sulfatos (MRS) (Fuente: Norma IRAM 50.001)

Tipo de Cemento	Propiedad	Unidad	Requisito	Método de ensayo
CPN	Contenido de aluminato tricálcico (C_3A) en el cemento	%	$\leq 8,0$	IRAM 1504

TABLA 8/ Requisitos específicos de cementos de bajo calor de hidratación (BCH) (Fuente: Norma IRAM 50.001)

Tipo de Cemento	Propiedad	Unidad	Requisito	Método de ensayo
CPN, CPP, CAH, o CPE,	Calor de hidratación • edad: 7 d • edad: 28 d	J/g	≤ 270	1617
			≤ 310	
CPN, CPP, CAH, CPF, CPC, o CPE	Calor de hidratación • edad: 5 d		≤ 270	1852 (Ver nota)

Nota: Cuando existan discrepancias al ensayar los cementos CPN, CPP, CAH o CPE con el método indicado en la IRAM 1852, se debe ensayar el cemento en cuestión con la IRAM 1617 (método de referencia), debiendo cumplir con los requisitos establecidos en esta tabla.

TABLA 9/ Requisitos específicos de cementos resistentes a la reacción álcali-agregado (RRAA) (Fuente: Norma IRAM 50.001)

Tipo de Cemento	Propiedad	Unidad	Requisito	Método de ensayo
CPN, CPP, CAH, CPF, CPC o CPE	Expansión • edad: 14 d • edad: 56 d	%	$\leq 0,020$ $\leq 0,060$	IRAM 1648

TABLA 10/ Requisitos específicos de cementos blancos (B) (Fuente: Norma IRAM 50.001)

Tipo de Cemento	Propiedad	Unidad	Requisito	Método de ensayo
CPN, CPF o CPC	Contenido de Fe_2O_3	%	$\leq 0,50$	1504
	Contenido de Mn_2O_3		$\leq 0,10$	
	Blancura		> 70	1618

ARI - de Alta Resistencia Inicial

En general su utilización se limita a aquellos usos donde se necesita habilitar rápidamente la estructura o se usa tecnología de encofrado deslizante o se requiere una rápida reutilización de los encofrados. Es de esperar que, los hormigones elaborados con cualquier cemento de uso común, con esta propiedad, obtengan resistencias a 7 días similares o mayores a las que se obtendrían utilizando la misma dosificación con cualquier cemento portland de categoría CP40 a los 28 días de edad. Debido a que este cemento desarrolla alto calor de hidratación no se recomienda en elementos estructurales cuya menor dimensión lineal sea mayor a los 40 cm.

MRS - Moderadamente Resistente a los Sulfatos

Es un cemento al cual se le limita el contenido de AC_3 (aluminato tricálcico) a valores menores o iguales al 8 % en masa, lo cual hace a este material apto para utilizarlo cuando existe un ataque moderado de sulfatos o será utilizado en hormigones de estructuras en contacto directo con agua de mar.

ARS - Altamente Resistente a los Sulfatos

Es el cemento conocido como ARS. La norma IRAM limita el contenido de AC_3 (aluminato tricálcico) a un máximo de 4 % en masa y la suma de $AC_3 + FAC_4$ (ferroaluminato tetracálcico) debe ser menor o igual a 22 %, calculados teóricamente de acuerdo con la composición química. Su utilización se limita para estructuras sometidas al ataque fuerte de sulfatos presentes en ciertas aguas y/o suelos de contacto.

En el caso del CPN (cemento portland normal) la norma limita los contenidos de AC_3 y FAC_4 del cemento, mientras que en el caso de los cementos adicionados (resto de los especificados en la norma IRAM 50.000), dichas limitaciones se realizan sobre el clinker portland utilizado en la fabricación ya que las fórmulas antes mencionadas solamente son aplicables en cementos "puros".

BCH - de Bajo Calor de Hidratación

Generalmente este tipo de cementos se comercializa en combinación con cementos portland con adiciones activas como son la escoria granulada de alto horno y la puzolana. Se utiliza cuando interesa que el hormigón desarrolle poco calor a partir de la hidratación del cemento, como es el caso de las presas de hormigón o bases de grandes dimensiones. La norma especifica valores máximos de desarrollo de calor de hidratación de 270 kJ/kg (65 Cal/g) para 7 días y 310 kJ/kg (75 Cal/g) para 28 días de acuerdo con el ensayo especificado en IRAM 1617 o 270 kJ/kg (65 Cal/g) a 5 días utilizando el ensayo especificado en la norma IRAM 1852 de acuerdo con el tipo de cemento y/o el método de ensayo disponible.

RRAA - Resistente a la Reacción Álcali - Agregado

Existen, en nuestro país, algunas pocas fuentes de agregados que presentan potencialidad de reaccionar desfavorablemente con los álcalis del cemento en estructuras sometidas a condiciones de humedad en forma más o menos permanente. Si bien es recomendable utilizar agregados que no sean potencialmente reactivos para la elaboración del hormigón, existen casos que esto resulta económicamente inviable y se recurre a cementos con bajos contenidos de álcalis o que posean alguna adición activa que demuestre su capacidad de inhibición o, al menos, "amortiguar" los efectos de la expansión de manera que la reacción no resulte deletérea.

B - Blanco

Es un cemento que cumple los requerimientos de los cementos CPN o CPF o CPC y tiene como requisitos adicionales la limitación de los contenidos de óxido férrico y magnesio que actúan sobre el color del material. También se incorporó un requisito de blancura que resulta de fundamental importancia para el usuario de este tipo de cemento. Es un material que en nuestro país no está muy difundido debido a su alto costo y su utilización se restringe a hormigones ornamentales o "a la vista" y cierto tipo de mosaicos o baldosas. No hay que confundir con otros cementos blancos utilizados en la fabricación de ciertas pastinas o algunas baldosas que utilizan cementos con altos contenidos de adiciones activas y no activas que no cumplen los requisitos de resistencia establecidos por IRAM para el cemento portland blanco.

USO DE AGREGADOS EN RELACIÓN CON LA OBRA

Los agregados pétreos, finos y gruesos de peso normal y gruesos livianos, tienen gran importancia en las características del Hormigón Elaborado, ya que constituyen su estructura granular y ocupan aproximadamente el 80 % del volumen del mismo.

El uso de agregados en el hormigón queda justificado por dos razones, técnicamente hablando los áridos poseen mayor estabilidad volumétrica y durabilidad que la pasta de cemento, mientras que a la vez resultan un material de "relleno" más económico.

La elección correcta del agregado para el hormigón está basada por el cumplimiento de las siguientes condiciones que deben reunir en forma ineludible:

- Resistencia, dureza y durabilidad: pues son propiedades que afectarán el comportamiento estructural del hormigón.
- No producir reacciones perjudiciales con el cemento: Si tenemos en cuenta que hay agregados que pueden no comportarse realmente como "inertes" frente al cemento, su reacción afectará también al hormigón desde los puntos de vista físico, térmico o químico.
- Limpieza y ausencia de impurezas perjudiciales por su composición: Los agregados deben estar libres de impurezas que actúan desde el punto de vista físico en el hormigón (polvo, terrones de arcilla o partículas livianas) y de partículas que lo afectan desde punto de vista químico retardando su fraguado y endurecimiento (materia orgánica, sales solubles, materia carbonosa y azúcares).

Hay dos características del hormigón, importantes para su colocación en obra, que pueden ser influidas por los agregados:

- La trabajabilidad de la mezcla, que a su vez depende de las formas redondeadas o angulosas de las partículas, y de la curva granulométrica del total de agregados que debe ser continua y bien ubicada. Las formas redondeadas (cantos rodados) dan más trabajabilidad a las mezclas que las angulosas (piedras partidas).
- La capacidad de la mezcla para llenar totalmente los encofrados y cubrir completamente las armaduras de refuerzo con los medios de compactación disponibles, depende en gran parte del tamaño máximo del agregado grueso.

La calidad y limpieza de estos materiales están especificadas en las Normas IRAM 1512 para Agregado Fino, IRAM 1531 para Agregado Grueso, e IRAM 1567 para Agregado Liviano para Uso Estructural. Los ensayos de verificación están incluidos en la Norma IRAM 1647, y los límites granulométricos en IRAM 1627.

TIPOS Y TAMAÑOS DE AGREGADOS QUE SE USAN EN EL PAÍS

Agregados Finos

Son arenas naturales (y muy pocas de trituración) que pueden clasificarse teniendo en cuenta su Módulo de Finura (M.F.) en las siguientes:

- Arenas Finas: M.F. desde 1,25 a 2; no se aconseja su uso para hormigón.
- Arenas Medianas: M.F. desde 2 hasta 2,4; son aptas para hormigón.
- Arenas Gruesas: M.F. desde 2,4 a 2,7 son óptimas; por encima de 2,7 y hasta 3,30 ó 3,35 son aptas para el hormigón pero las mezclas se vuelven muy "ásperas".



Recordemos que el Modulo de Finura es un parámetro adimensional que por si solo "trata" de calificar la granulometría del agregado. El ensayo para su determinación es relativamente simple y es un valioso indicador "global", en obra o laboratorio, del tamaño del agregado.

Agregados gruesos

Clasificación de los agregados gruesos.

ORIGEN		TIPO	FORMA	TEXTURA	ALGUNOS EJEMPLOS DE IDENTIFICACIÓN MINERALOGICA Y PROCEDENCIA
PETREOS	NATURALES	CANTO RODADO	REDONDEADA	LISA	SEDIMENTARIAS (Mesopotamia, Mendoza)
	TRITURADOS MECANICAMENTE	PIEDRA PARTIDA	POLIEDRICA	RUGOSA	GRANITICAS (Azul, Tandil Y Olavarría - Pcia. Bs. As.)
					CALCAREA (Córdoba y San Luis)
					BASALTICA (zona cordillerana)
ARTIFICIALES		LIVIANOS	REDONDEADA	RUGOSA	ARCILLA EXPANDIDA CLINKERIZADA

Los agregados gruesos normalizados tienen la siguiente composición granulométrica:

Tamaño nominal (mm)	Acumulados en masa, que pasan por los tamices IRAM (%)									
	63 mm	50 mm	37,5 mm	25 mm	19 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm
50 a 4,75	100	95 a 100	-	35 a 70	-	15 a 30	-	0 a 5	-	-
37,5 a 4,75	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-
25 a 4,75	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-
19 a 4,75	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-
12,5 a 4,75	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-
50 a 25	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
37,5 a 19	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-
9,5 a 2,36	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

El Agregado Liviano Estructural tiene normalmente el tamaño de 10 a 20 mm.

Relación entre el tamaño máximo del Agregado Grueso y las medidas de la pieza estructural a hormigonar, incluida la separación de los hierros de la armadura de refuerzo:

- En vigas, losas y otras piezas estructurales que no sean columnas, el Tamaño Máximo del agregado debe ser menor que el 0,75 de la mínima separación horizontal o vertical libre, entre barras o grupos de barras paralelas en contacto directo, o del mínimo recubrimiento libre de las armaduras.
- El Tamaño Máximo, también debe ser menor que el 20 % de la menor dimensión de todo elemento estructural en general, mientras que en particular en lo que respecta a los elementos bidireccionales o planos horizontales (losas) debe ser menor al tercio de su espesor.
- En columnas u otros elementos verticales, son válidas las consideraciones anteriores, y además el tamaño máximo debe ser menor que el 0,67 de la separación mínima libre de las armaduras.

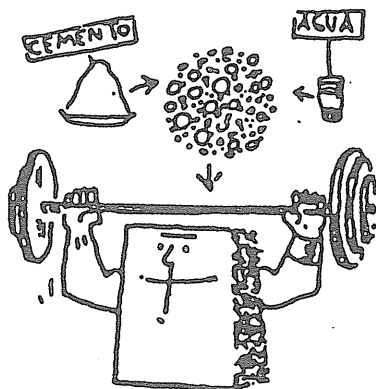
De acuerdo con lo anterior puede considerarse:

T. máx. 50 mm Y 37,5 mm, aptos para: Pavimentos, bases, vigas y plateas de fundación armadas, rellenos de pozos, zanjas, etc.

T. máx. 25 mm, apto para: Estructuras corrientes, losas, vigas, columnas, fundaciones, hormigón bombeado, etc.

T. máx. 19 mm, apto para: Los mismos usos que el anterior, pero de difícil llenado, tales como vigas angostas, zonas muy armadas, tabiques, paredes de tanque de agua, cisternas, etc.

T. máx. 12,5 mm, apto para: Tabiques delgados.



ADITIVOS QUÍMICOS Y ADICIONES

Aditivos químicos

Están normalizados por la Norma IRAM 1663 - Hormigón de Cemento Portland - Aditivos Químicos -, que se define así: "Es el material que, aparte del cemento, los agregados y el agua empleados normalmente en la preparación del hormigón puede incorporarse antes o durante la ejecución del pastón, con el objeto de modificar alguna o varias de sus propiedades en la forma deseada, aportando un volumen desestimable".

La Norma define luego los distintos tipos de aditivos químicos para hormigón que se usan en el país, y son los siguientes:

Aditivos básicos:

- Incorporador de aire.
- Fluidificante.
- Retardador de fraguado.
- Acelerador de fraguado.

Combinaciones de aditivos básicos:

- Fluidificante e incorporador de aire.
- Fluidificantes y retardador de fraguado.
- Fluidificante y acelerador de fraguado.
- Fluidificantes y acelerador de resistencia inicial.
- Superfluidificante.
- Superfluidificante y retardador de fraguado.
- Superfluidificante y acelerador de fraguado.
- Incorporadores de aire p/morteros fluidos
- Aditivos p/morteros de albañilería de larga vida
- Aditivos acelerantes de resistencia
- Aditivos hiperfluidificantes (para hormigones autocompactantes)

La Norma deja en libertad, a los productores de aditivos químicos, para usar las combinaciones químicas que ellos estimen como las más convenientes por sus características tecnológicas, costos, etc., pero imponiéndoles ciertos Requisitos Físicos y Químicos a cumplir.

A continuación, en una planilla resumen, se han agrupado los requisitos básicos.

Requisitos Físicos del Hormigón con Aditivo:

Requisitos			Unidad	Tipos de Aditivos											Método de ensayo
				Incorporador de aire	Fluidificante	Retardador de Fraguado	Acelerador de Fraguado	Fluidificante				Super fluidificante	Superfluidificante		
								e incorporador de aire	y retardador de fraguado	y acelerador de fraguado	y acelerador de resist. inicial		y retardador de fraguado	y acelerador de fraguado	
Agua (max.)			%	100	95	100	100	93	95	95	95	88	88	88	7.3.1
Tiempo de fraguado	Inicial	máx.	minutos	± 75	+ 90	+ 210	- 210	+ 90	+ 210	- 210	+ 90	+ 90	+ 210	- 210	IRAM 1662
		min.	en	-	- 60	+ 60	- 60	- 60	+ 60	- 60	- 60	- 60	+ 60	- 60	
	Final	máx.	valor	± 75	+ 90	+ 210	-	+ 90	+ 210	-	+ 90	+ 90	+ 210	-	
		min.	absoluto	-	- 60	-	- 60	- 60	-	- 60	- 60	- 60	-	- 60	
Aire incorporado		(A)	% en valor absoluto	A<1	A<1	A<1	A<1	A<1	A<1	A<1	A<1	A<1	A<1	A<1	IRAM 1602
Resistencia a la Compresión (mín)	1 d	%		-	-	-	-	-	-	-	-	140	125	170	IRAM 1542
	3 d		90	110	90	125	110	110	125	110	125	125	140		
	7 d		90	110	90	100	110	110	110	125	115	115	120		
	28 d		90	110	90	100	110	110	110	110	110	110	110		
	6 meses		90	110	90	100	110	110	100	100	100	100	100		
	1 año		90	110	90	90	110	110	100	100	100	100	100		
Resistencia a la tracción (mín)	3 d	%	90	100	90	110	95	100	110	100	110	110	110	IRAM 1658	
	7 d		90	100	90	100	95	100	100	110	100	100	100		
	28 d		90	100	90	90	95	100	100	100	100	100	100		
Resistencia a la flexión (mín)	3 d	%	90	100	90	110	95	100	110	100	110	110	110	IRAM 1596	
	7 d		90	100	90	100	95	100	100	110	100	100	100		
	28 d		90	100	90	90	95	100	100	100	100	100	100		
Adherencia al acero a los 28 días (mín)			%	90	100	100	100	95	100	100	100	100	100	100	IRAM 1596
Contracción por el secado (máx)			% en valor absoluto	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	IRAM 1597
Factor de durabilidad (mín)			%	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	IRAM 1661
Exudación (máx)			%	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	IRAM 1604

Requisitos químicos:

- Contenido máximo de cloruros; expresados en ión Cl^- :

- a) Hormigón simple: 2000 mg/dm³
- b) Hormigón armado: 1000 mg/dm³
- c) Hormigón pretensado: 150 mg/dm³

- Discrepancias con los valores rotulados para:

- pH: ±1
- Residuo por secado (en g/100 g sobre residuo): ± 3
- Densidad (a 20 °C ± 1 °C en g/cm³): ± 1 °C

Los ensayos para estas determinaciones están indicados en la misma Norma.

Mezcla de aditivos

Puede ser muy arriesgada si no se conoce la compatibilidad existente entre los aditivos a mezclar. En cambio, si se sabe que son compatibles, la mezcla puede ser útil para conseguir determinados efectos.

Adiciones

Son materiales pulverulentos finamente divididos que, no tienen propiedades hidráulicas y, se agregan al hormigón para modificar algunas de sus propiedades.

La Argentina no es rica en adiciones ya que las más comunes -las cenizas volantes- que en los países industrializados que queman carbón de piedra constituyen un importante residuo industrial, existen en cantidades limitadas.

Las puzolanas naturales, otra fuente importante de adiciones, no es utilizable en nuestro país, ya que los yacimientos contienen mantos de muy disímil comporta-

miento hidráulico, lo que obliga a constantes ensayos para vigilar su calidad. En el país están normalizados el Filler (IRAM 1654), la Puzolana (IRAM 1668) y la Escoria de Alto Horno Granulada Molida (IRAM 1557).

Pero si el productor de Hormigón Elaborado debe entregar material con puzolana puede recurrir al Cemento Puzolánico normalizado según IRAM 1651 (las fábricas de cemento están en condiciones de operar con puzolanas naturales por tener la infraestructura para ejecutar los ensayos necesarios).

Diferencias básicas entre los aditivos químicos y las adiciones en su uso práctico:

- Los aditivos modernos vienen en estado líquido y su manipuleo mecánico se hace con facilidad. En cambio, las adiciones son pulverulentas y resultan difíciles de manejar (algunas vienen en pasta porque son tan volátiles que es imposible manejarlas). Se requiere habilitar en las plantas de elaboración una instalación como si se tratara de un cemento más.

Efectos sobre el volumen de hormigón:

- El volumen de aditivo químico que se agrega al hormigón es desestimable. Con algunos aditivos incorporadores de aire hay que tener en cuenta el volumen de éste al dosificar.
- El volumen de adiciones que se incorpora es significativo, por lo que siempre debe tenerse en cuenta al preparar la dosificación.
- Acción química sobre el hormigón que se traduce en modificaciones de algunas de sus características: La de los aditivos químicos es siempre activa, y su efecto se hace sentir prácticamente de inmediato. La de las adiciones puede ser activa o no. En caso de ser activa es generalmente lenta, y recién puede apreciarse su efecto a edades de 60, 90 y más días. Por ello debe prolongarse el tiempo de curado del hormigón.

Aditivos superfluidificantes (Ver Norma IRAM 1663)

Entre los distintos tipos de aditivos que se comercializan en nuestro país están los superfluidificantes, también denominados superplastificantes o reductores de agua de alto rango. Su utilización es la que posibilitó, a partir de mediados de los años '70, una mejora sustancial en las propiedades del hormigón, en especial de sus resistencias mecánicas.

Según esta normativa, se definen como aditivos superfluidificantes a aquéllos que permiten realizar una reducción en el agua de amasado del hormigón mayor al 12 %.

Su característica principal es que pueden agregarse en dosis importantes en el hormigón (hasta un 3 % respecto del peso del cemento) sin que esto origine la aparición de efectos secundarios perjudiciales tales como demoras en el fragüe o una excesiva incorporación de aire.

Actúan formando una película lubricante sobre las partículas de cemento, debido a la absorción del superfluidificante sobre la superficie de las mismas; asimismo, se generan cargas eléctricas negativas sobre la superficie de dichas partículas, lo que provoca la dispersión, venciendo la tendencia de las moléculas de agruparse formando grumos. De esta forma, al dispersarse el cemento, una mayor cantidad de él puede entrar en contacto con el agua, mejorando la plasticidad de la mezcla y obteniendo una más eficiente hidratación.

Clasificación

En cuanto a su clasificación, según la acción que desarrollan en el hormigón, tenemos en nuestro país 3 tipos de ellos: superfluidificante, superfluidificante retardador de fragüe y superfluidificante acelerador de fragüe.

Según su base química, las tres clases principales son:

- Melamínico-sulfonados.
- Naftalénico-sulfonados.
- Lignosulfonatos modificados.

Recientemente han surgido nuevos superfluidificantes, llamados de "última generación", que tienen un desempeño superior con respecto a los tradicionales; podemos mencionar por ejemplo el de base vinílico-sulfonado.

Forma de empleo y aplicaciones

Forma de empleo	Ventajas	Aplicaciones
Efecto plastificante. Se reduce el agua de amasado hasta un 30 %. Resulta una reducción de la relación agua/cemento.	Mayores resistencias. Mejor adherencia Hormigón-Fe Menor contracción por secado expansión térmica y fluencia lenta. Mayor durabilidad e impermeabilidad. Menor exudación y segregación. Reduce costos de moldes y tiempo de obra.	Hormigón elaborado. Hormigón bombeado. Hormigón pretensado. Hormigón premoldeado. Obras de ingeniería.
Efecto Fluidificante. Hormigones fluidos. No se reduce el agua de amasado, aumentando el asentamiento ($A > 18$ cm).	Menor segregación, exudación y contracción por secado. Leve incremento resistencias. Facilita las tareas, reduciendo tiempos de ejecución. Ahorra mano de obra.	Zonas con mucha armadura, tabiques, superficies de gran calidad.
Reducir simultáneamente el contenido de agua y cemento.	Economía. Menor calor de hidratación. Menor contracción por secado y por fragüe.	Hormigón masivo. Estructuras en general.

Estructuras en general

En cuanto a su forma de agregarlos en el hormigón, pueden incorporarse al mismo tiempo en el agua de amasado como a la mezcla fresca, siendo ésta última la más eficiente para lograr un mejor efecto fluidificante. Es conveniente proceder a un mezclado de al menos 8 minutos para obtener una mezcla homogénea.

Debido a la necesidad de utilizar hormigones fluidos con asentamientos mayores a 12/14 cm es conveniente adicionar el superfluidificante antes de comenzar la colocación del hormigón en los moldes. En el caso de tratarse de Hormigón Elaborado, que lleva implícito un tiempo de transporte, debe agregarse al hormigón inmediatamente antes de iniciar su descarga del motohormigonero. Para que la aplicación del aditivo resulte efectiva, es necesario llevar el hormigón hasta la boca de descarga del mixer, colocar el aditivo y llevar nuevamente el hormigón hacia el interior del mixer, para efectuar allí el mezclado. Esta operación tiene por objeto asegurar que la totalidad del aditivo entre en contacto con el hormigón. A diferencia de los plastificantes, los superfluidificantes pueden redosificarse; se recomienda repetir hasta un 50 % de la dosis inicial en una ocasión, no siendo conveniente redosificar en reiteradas ocasiones.

Recomendaciones prácticas

En el caso de realizar hormigones fluidos, es necesario tomar algunas medidas adicionales en la dosificación de los mismos, a fin de evitar su segregación o exudación:

- El hormigón debe contener una mayor cantidad de partículas finas (menores a 0,3 mm).
- Agregar un 4 a 5 % más de arena respecto a un hormigón superfluidificante.
- Hacer, en lo posible, hormigones con contenido de cemento mayores a 30 kg/m³.
- Tratar de limitar el tamaño máximo del agregado grueso a 25 mm.

Tamaño máximo A. Grueso	9,5 mm	19 mm	32 mm
kg. de partículas < 0,3 mm/m ³ Hº	> 525	>450	>400

De cualquier forma, debemos considerar que existe una dosis de superfluidificante límite y que, por encima de ella, la independencia del contenido de partículas finas, el hormigón segrega.

Si bien estos hormigones son, por su fluidez de tendencia autonivelante, igualmente es necesario proceder a su compactación o vibrado en caso de tabiques o elementos densamente armados.

Tener presente que, si bien los superfluidificantes aportan considerables beneficios al hormigón, su empleo en el mismo no corrige los errores que pudieran surgir de una incorrecta dosificación o deficiencia de los materiales. Por consiguiente, es preciso adoptar todas las prescripciones de carácter tecnológico y las reglas del buen arte que se recomiendan para cualquier otro tipo de hormigón.

RESISTENCIA DEL HORMIGÓN ELABORADO

Su Medición y Evaluación de Resultados. Cómo Influyen en la Resistencia los Materiales, la Dosificación, la Operación y Puesta en Obra del Hormigón y los Métodos de Ensayo.

La resistencia del hormigón es su capacidad para oponerse a esfuerzos que se manifiestan por sollicitaciones a compresión, a tracción, a flexión, a flexo tracción y al corte. La Norma IRAM 1666 de Hormigón Elaborado - Parte I, determina una sola forma de medir la resistencia del material a los fines de verificar su calidad, y es la Resistencia Característica a Compresión Simple a 28 días de edad.

El ensayo correspondiente está normalizado según Norma IRAM 1546 - Hormigones - Métodos de ensayo a compresión, que debe hacerse sobre probetas de 15 x 30 cm Normalizadas según Norma IRAM 1524 - Hormigón de Cemento Portland. Preparación y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y de tracción por compresión diametral. Las muestras de hormigón para confeccionar las probetas deben ser obtenidas en la canaleta del motohormigonero en el momento de la descarga de acuerdo con lo especificado en las Normas IRAM 1541 - Hormigón Fresco. Muestreo - e IRAM 1666 Parte I - Hormigón Elaborado. Previo al ensayo de compresión, las bases de las probetas deben ser tratadas según lo estipulado en la Norma IRAM 1553 - Hormigón de Cemento Portland. Preparación de las bases de probetas cilíndricas, para ensayos a la compresión e IRAM 1708 - Hormigón - Método para el uso de encabezado con placas de elastómero en la determinación de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas.

Independientemente de este aspecto normativo que hace a la verificación de la calidad del hormigón elaborado, pueden ser convenientes otros ensayos, que no serán condición de aceptación o rechazo del material, pero que sirven para comprobar el comportamiento del hormigón a esfuerzos de flexión (caso de los hormigones para losas de pavimentos, probetas para proyecto de mezclas de Hormigón Compactado a Rodillo para uso vial, o testigos calados del pavimento) u otros pedidos por Proyectistas o Directores de Obra.

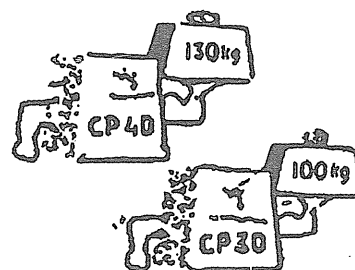
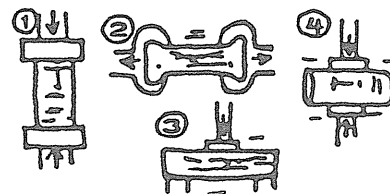
Para estos casos se dispone de dos ensayos normalizados:

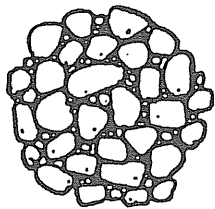
- Si se trata de probetas cilíndricas se emplea el ensayo IRAM 1658 - Hormigones. Método de ensayo de tracción simple por compresión diametral.
- Si se trata de probetas prismáticas (también normalizadas en IRAM 1524) o testigos prismáticos calados de la estructura (según Norma IRAM 1551 - Hormigón de cemento Portland. Extracción, preparación y curado de testigos de hormigón endurecido) el ensayo disponible es la Norma IRAM 1547 - Ensayos de flexión de probetas de hormigón. Método de la viga simple con carga en los tercios de la luz.

Distintos factores que influyen en la resistencia del Hormigón

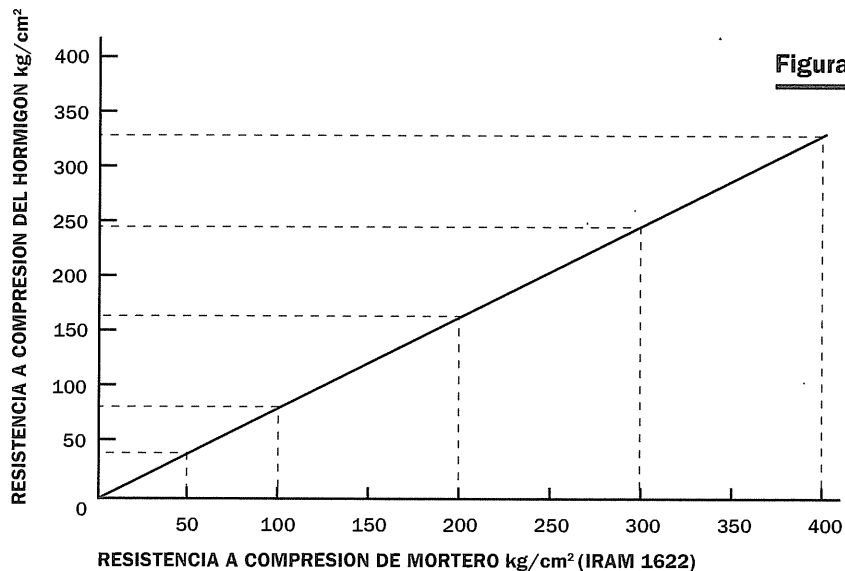
Influencia de los materiales:

De todos los materiales utilizados es obvio que, el más influyente es el cemento, ya que a igualdad de todas las demás condiciones (materiales, operación, clima, etc.), un cemento CP 40 dará más resistencia al hormigón que un CP 30, ya que está probado experimentalmente que la resistencia del mortero de Cemento Normal está relacionada en forma directa con el hormigón que con él se elabora, como puede apreciarse en la figura 1.





Relación entre la Resistencia del Mortero de Cemento Portland Normal y la Resistencia de Hormigón (Para una misma relación agua/cemento).



La calidad del agua, si tiene sustancias nocivas, puede influir seriamente en el fraguado y en el desarrollo de la resistencia del hormigón.

En ensayos paralelos efectuados con mezclas con arenas de distintos módulos de finura se advirtió que, la resistencia de los hormigones elaborados con arenas finas (módulos de finura 1,70 a 1,90) era alrededor de un 20 % menor que la resistencia del hormigón con todas las demás condiciones iguales y el mismo Asentamiento en el tronco de Cono de Abrams (evidentemente tomó menos agua), pero usando arenas más gruesas (módulos de finura entre 2,40 y 2,60). Es obvio que esto se debe a la mayor superficie específica de la arena fina con relación a la gruesa, la que requiere mayor lechada de cemento y por ende más agua para mantener el asentamiento del cono.

También la presencia de sustancias nocivas en los agregados finos y gruesos produce disminuciones en la resistencia, aunque es difícil evaluar a priori en qué medida, hasta no verificar el caso concreto.

Cómo influye la dosificación:

La resistencia aumenta si se aumenta la cantidad unitaria de cemento y queda igual todo lo demás.

No obstante, se llega a un punto en el cual, por más que se siga aumentando la cantidad de cemento, la resistencia se mantiene sin variar, es decir se estabiliza en un techo de resistencia del cual no se puede pasar, dependiendo la mayor o menor altura de ese techo de las características de los otros materiales, condiciones de temperatura y humedad, etc.

Dosificar con asentamientos en el tronco de Cono de Abrams superiores a 15 cm (sin recurrir a un superfluidificante) para mantener la resistencia compensando el exceso de agua con más cemento para mantener la relación agua/cemento, es un error ya que, si bien es muy probable que la resistencia en la probeta sea la correcta, en la estructura, especialmente en la parte superior de columnas y vigas, se producirá una gran exudación y el agua al migrar hacia la superficie del hormigón, formará infinitos canales capilares, especie de "perforaciones verticales" que debilitarán la estructura.

Otro elemento que contribuye a la elevación de la resistencia, siempre manteniendo las demás condiciones, es la reducción de la relación agua/cemento. Hay una tendencia generalizada en las obras a trabajar con hormigones más fluidos que lo realmente necesario. Es obvio que esto significa menor trabajo para la cuadrilla y menos po-

sibilidad de aparición de nidos de abeja, armaduras de refuerzo mal recubiertos, etc. Pero este aumento de la cantidad de agua de mezclado, disminuye inexorablemente la resistencia del hormigón.

La dosificación de los agregados y las mezclas de estos que contribuyan a lograr una curva granulométrica continua y bien ubicada, dará un volumen mínimo de vacíos y por lo tanto una superficie específica menor, lo cual elevará la resistencia para la misma cantidad unitaria de cemento.

Cómo influyen la operación de mezclado y la puesta en obra del hormigón:

Un mezclado demasiado breve, incompleto, contribuirá a la segregación de la mezcla, y aparte de disminuir la resistencia, afectará a la variabilidad del hormigón de un mismo pastón.

Un exceso de mezclado o una demora en la descarga fuera de los límites normalizados en IRAM 1666 -Hormigón elaborado - Parte I- perjudicará la resistencia, y una demora importante puede comprometerla seriamente.

Influencia de las condiciones de curado:

Entendemos por condiciones de curado a las condiciones de humedad y temperatura en que es "mantenido" el hormigón a través del tiempo.

Remarcamos entonces que la edad de las reacciones de hidratación del cemento, y la temperatura y humedad a las que estuvieron sometidas tienen una definitiva influencia en la resistencia del hormigón.

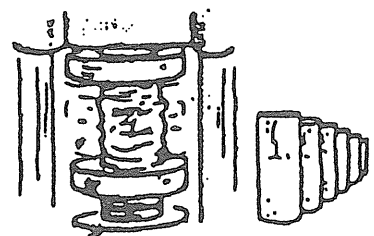
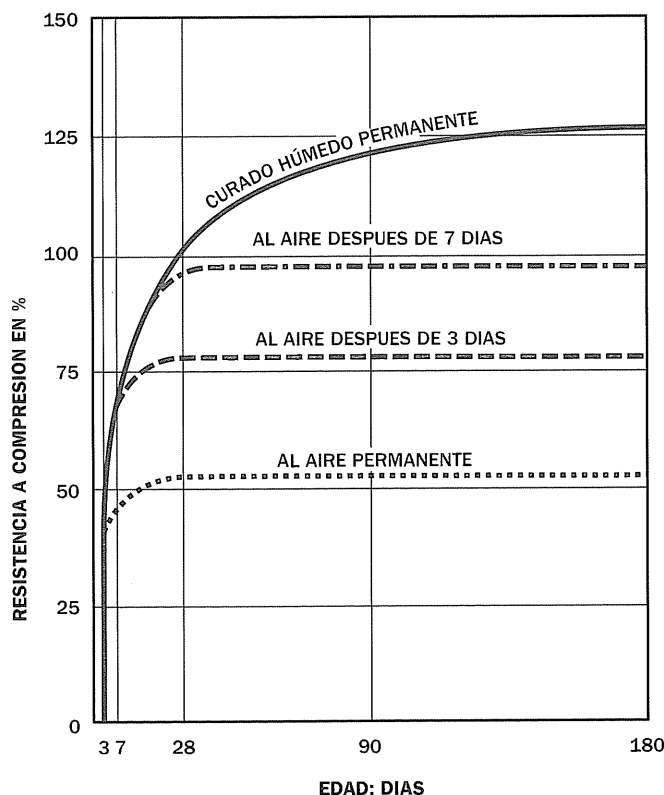
Un curado deficiente o la falta total de curado puede reducir la resistencia del hormigón de la estructura, comparada con la de las probetas con curado normalizado, hasta en un 50 %, como puede apreciarse en la figura 2.

La resistencia aumenta con la edad del hormigón, y la temperatura hace variar los



Influencia del Curado Húmedo en la Resistencia

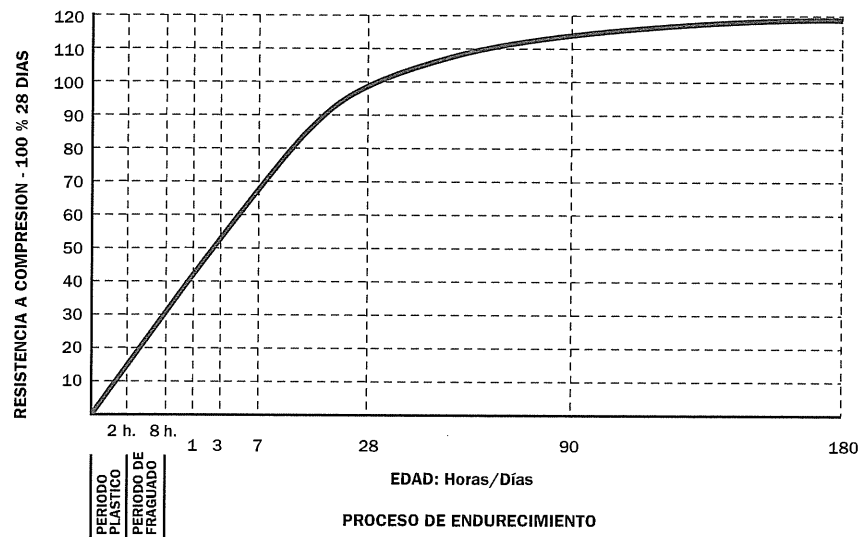
Figura 2



tiempos de fraguado según puede apreciarse en las figuras 3 y 4.

Desarrollo de la Resistencia en el Tiempo de un Hormigón con Cemento Portland Normal

Figura 3



Curva de Fraguado de Mortero de Cemento Portland Normal para Distintas Condiciones de Temperatura.

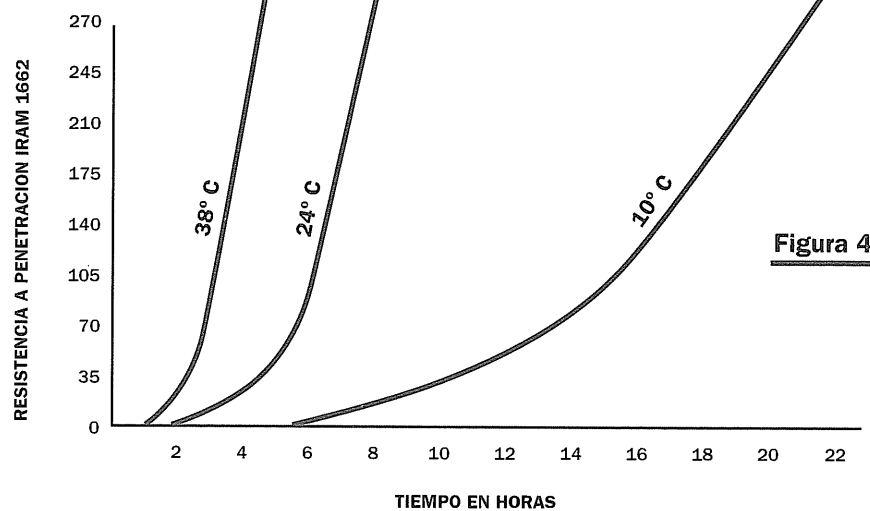


Figura 4

Influencia de las condiciones de carga:

Podemos observar en los ensayos a compresión de probetas que la resistencia aumenta si se eleva la velocidad de carga de la prensa, por lo que ésta debe regularse a la velocidad de ensayo que prescribe la Norma IRAM 1546.

Si comparamos el tiempo de aplicación de la carga del tipo "estático" del ensayo hasta la rotura oscila entre 1 y 3 minutos aproximadamente con situaciones de obra, vemos que para un edificio si bien prácticamente la carga es constante su aplicación es "prolongada" por un largo período de tiempo. Las diferencias se profundizan más si analizamos las cargas a que esta sometido por ejemplo un puente grúa, que son del tipo "dinámicas y fluctuantes".

De estudios realizados podemos concluir que la resistencia a largo plazo está en el orden del 80 % de la que se obtiene en un ensayo normalizado, mientras que las cargas "alternativas" reducen la resistencia del hormigón a un valor del 50 % de la que se obtiene para cargas "estáticas".

PROCEDIMIENTO CORRECTO PARA TOMAR MUESTRAS DE HORMIGÓN ELABORADO FRESCO EN OBRA

Una de las tareas más importantes e indispensables para la valoración de la calidad del hormigón, es la obtención de muestras para evaluar su resistencia.

Un error en este punto, hace que los resultados de los ensayos sean poco representativos y no evidencien las características reales del hormigón que se quiere ensayar. No es una exageración señalar la influencia de este factor sobre la reputación, no sólo del productor de hormigón elaborado, proveedor en la obra, donde se hicieron mal las cosas, sino sobre la industria del hormigón elaborado en particular, y sobre el hormigón en general como material de construcción.

El productor de hormigón elaborado responsable, despacha su producto sobre la base de la calidad, y es suministrado con los componentes, el mezclado y todas las demás condiciones operativas para cumplir con las especificaciones, en principio de resistencia y consistencia, y luego otras a que se haya comprometido.

Cuando las muestras se toman en obra siguiendo las normas correspondientes, se llegará a los resultados esperados.

La falta de cuidado al tomar las muestras no reflejará la calidad del hormigón que se está ensayando.

Cuándo y cómo se tomarán las muestras

Las muestras de hormigón elaborado deben tomarse en la obra en el momento de la descarga y directamente de la canaleta del motohormigonero, siguiendo las especificaciones de Normas IRAM 1541- Hormigón Fresco - Muestreo, e IRAM 1666 - Hormigón Elaborado.

Las muestras para los ensayos de consistencia, contenido de aire y resistencia, se tomarán después de haberse descargado por lo menos los primeros 250 litros ($1/4 \text{ m}^3$) del total del pastón y antes de los últimos 250 litros del mismo ($1/4 \text{ m}^3$).

Las muestras para determinar la densidad del hormigón, llamada comúnmente "Peso Unitario", se tomarán normalmente al estar descargando aproximadamente la mitad de la carga total del pastón, de cada uno de tres pastones correspondientes a despachos diferentes.

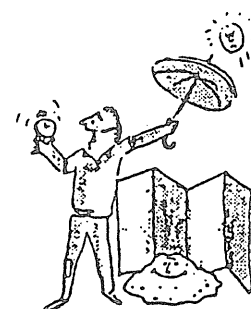
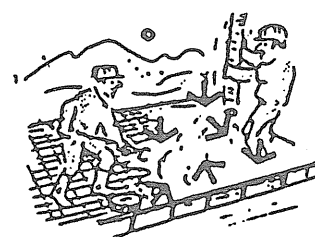
La cantidad mínima de muestras a extraer para el conjunto de los ensayos de consistencia, contenido de aire y resistencia, será para cada dosificación de hormigón elaborado la que se resume a continuación:

Número de pastones (p) por día	Nº de Muestras
p=1	1
2 a 5	2
6 a 10	3
11 a 20	4
Por cada 10 pastones adicionales o fracción	1 más

Se entiende por pastón la cantidad de hormigón descargado en la obra de un mismo camión.

Nota: Las muestras se tomarán aleatoriamente de pastones distintos para cada clase de hormigón y por jornada.

TEMA 6



Si se comprueban errores o apartamientos de los procedimientos establecidos por la norma, de los que debe quedar constancia, los resultados serán anulados.

Remezclado de la muestra

Todas las muestras de hormigón que han sido tomadas deben ser remezcladas para asegurar la uniformidad de la mezcla, antes de ser usadas para ejecutar los ensayos.

Además, la muestra debe ser protegida del sol, el viento y la lluvia durante el período entre su toma y su empleo. El tiempo entre la toma y la utilización no deberá ser superior a 15 minutos.

Mover la muestra NO las probetas

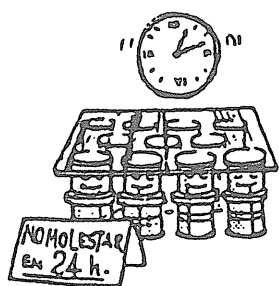
Una falta bastante común observada en las obras es que se confeccionan las probetas en el lugar de descarga y luego se las lleva a su lugar de almacenamiento.

Las probetas nunca deben ser alteradas por movimientos, sacudidas o golpes, especialmente durante las primeras 24 horas. Esta mala práctica puede ser evitada tomando la muestra en un recipiente de tamaño suficiente (por ejemplo una carretilla) y llevándola al lugar donde se fabricarán las probetas, prácticamente en el lugar de su estacionamiento durante las primeras 24 horas. (Norma IRAM 1534)

¿Deberán tomarse muestras del hormigón vertido en los encofrados?

Es una práctica a todas luces no recomendable ya que, aparte de la dificultad de tomar una porción representativa del material, el hormigón al estar en el encofrado ya sufrió manipulaciones y puede tener agua de exudación o haber perdido agua de mezclado al contacto con encofrados secos, contener partes segregadas de la mezcla, etc. El productor de hormigón elaborado no puede responsabilizarse de tareas tales como el transporte interno, colocación, compactación y curado, que no le competen y sobre las cuales no tiene control.

Se reitera, que el hormigón elaborado debe ser objeto del muestreo tal como viene en el motohormigonero, en especial si el ensayo es para determinar Asentamiento en el tronco de Cono de Abrams o Resistencia, tal como explicita la Norma IRAM 1666.



FORMA DE MEDIR LA CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN SEGÚN NORMA IRAM 1536

Hormigón Fresco de Cemento Portland Método de Ensayo de Consistencia Utilizando el Tronco de Cono de Abrams

Hay muchos casos en que la aceptación o rechazo de una entrega de hormigón elaborado depende de una variación de sólo 2 ó 3 cm en la medida del asentamiento hecha con el tronco de Cono de Abrams. Y esta diferencia puede deberse, en muchos casos, a la forma en cómo se ejecutó el método de ensayo. De allí la importancia de hacerlo correctamente.

TOMA DE MUESTRAS:

VER NORMA IRAM 1541 - TOMA DE MUESTRAS DE HORMIGÓN FRESCO, E IRAM 1666 - PARTE I - HORMIGÓN ELABORADO

Las muestras deben extraerse directamente de la canaleta del motohormigonero en el momento de la descarga y nunca del hormigón colocado en los encofrados o descargado en el suelo. Si el ensayo se realiza para determinar la aceptabilidad del hormigón, las muestras deberán tomarse después de haber descargado los primeros y antes de los últimos 250 litros ($1/4 \text{ m}^3$) del pastón.

Si el ensayo tiene por objeto verificar la uniformidad del hormigón o su densidad, la muestra debe tomarse aproximadamente a la mitad de la carga y de cada uno de los tres pastones correspondientes a despachos diferentes.

Cada muestra deberá tener una cantidad de hormigón de aproximadamente el doble del necesario para el ensayo, (no menos de un 40 % mayor), y antes de iniciarlo deberá remezclarse a mano.

Desarrollo del ensayo

1º.- Colocar el tronco de Cono sobre una superficie plana, horizontal, firme, no absorbente y ligeramente humedecida. Se aconseja usar una chapa de metal cuya superficie sea varios centímetros mayor que la base grande del tronco de Cono. Colocar el tronco de Cono con la base mayor hacia abajo y pisar las aletas inferiores para que quede firmemente sujeto.

2º.- Llenar el tronco de Cono en tres capas: Llénese hasta aproximadamente $1/3$ de su volumen y compáctese el hormigón con una varilla lisa de acero de 1,6 cm de diámetro y con ambos extremos semiesféricos. La compactación se hace con 25 golpes de la varilla, con el extremo impactando al hormigón. Los golpes deben repartirse uniformemente en toda la superficie y penetrando la varilla en el espesor de la capa pero sin golpear la base de apoyo.

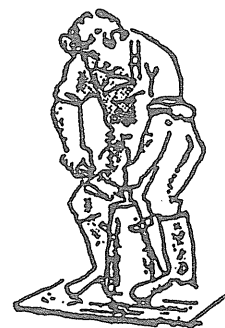
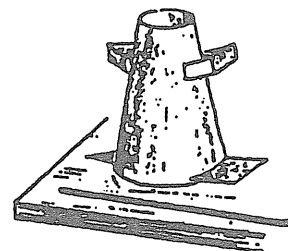
UTILIZAR SIEMPRE UNA VARILLA CON LOS EXTREMOS REDONDEADOS.

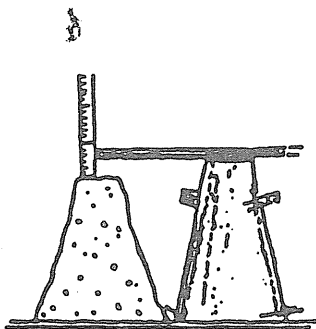
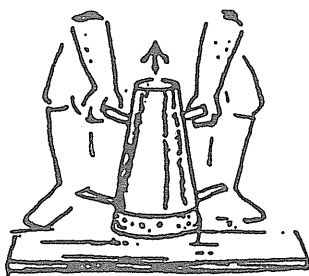
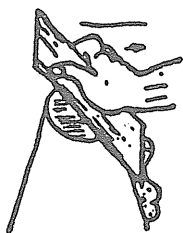
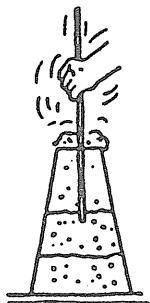
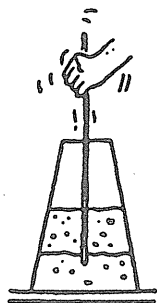
3º.- Llénese el tronco de Cono con una segunda capa hasta aproximadamente $2/3$ del volumen del mismo y compáctese con otros 25 golpes de la varilla repartidos uniformemente por toda la superficie. Debe atravesarse la capa que se compacta y penetrar ligeramente (2 a 3 cm) en la capa inferior pero sin golpear la base de ésta. COMPACTAR CADA CAPA CON 25 GOLPES.

4º.- Llénese el volumen restante del tronco de Cono agregando un ligero "copete" de

TEMA

7





hormigón y compáctese esta última capa con otros 25 golpes de la varilla, que debe penetrar ligeramente en la segunda capa.

5º.- Retirar el exceso del hormigón con una llana metálica, de modo que el tronco de Cono quede perfectamente lleno y enrasado. Quitar el hormigón que pueda haber caído alrededor de la base del tronco de Cono.

6º.- Sacar el molde con cuidado, levantándolo verticalmente en un movimiento continuo, sin golpes ni vibraciones y sin movimientos laterales o de torsión que puedan modificar la posición del hormigón.

7º.- Medida del asentamiento: A continuación se coloca el tronco de Cono de Abrams al lado del formado por el hormigón y se mide la diferencia de altura entre ambos. Si la superficie del tronco de Cono de hormigón no queda horizontal, debe medirse en un punto medio de la altura y nunca en el más bajo o en el más alto.

Advertencia: Nunca debe utilizarse el hormigón empleado en el ensayo de tronco de Cono para confeccionar probetas para ensayo de resistencia.

Si el hormigón se desmorona, se realiza un nuevo ensayo con otra porción de mezcla. Las operaciones deben ser realizadas en lugares totalmente exentos de vibraciones.

Clasificación de las consistencias según los asentamientos medidos por el tronco de Cono de Abrams y discrepancias que acepta la Norma IRAM 1666

Consistencia	Asiento de centímetros	Discrepancia
Dura (D)	5	±1,5
Plástica (P)	10	±2,5
Blanda (B)	15	±3,0
Fluida (F)	+ de 15	±3,5 (1)

(1) Únicamente usando un aditivo químico superfluidificante.

Nota: Los motohormigoneros no pueden descargar hormigones con menos de 3,5 cm de asentamiento, pero sí cuando se trata de hormigón semiseco para ser compactado a rodillo, denominado "Hormigón Compactado a Rodillo de uso vial" (H.C.R.V.)

Valores del asentamiento en el tronco de Cono de Abrams en centímetros recomendados para distintos tipos de obras

	Mínimo	Máximo
Muros y bases armadas, para cimientos.	5	10
Pilotes y tabiques de submuración	10	15
Columnas, lasos, vigas y tabiques arados de llenado no dificultoso	10	15
Idem anterior de poco espesor o fuertemente armados	10	+ de 15
Pavimentos	5	5
Hormigón bombeado	7,5	+ de 15

Notas: • A los valores de esta tabla hay que sumar las discrepancias que acepta la Norma IRAM 1666. • Si se usa un aditivo químico superfluidificante todos los valores anteriores pueden modificarse.

MANERA CORRECTA DE CONFECCIONAR Y CONSERVAR LAS PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN HASTA EL MOMENTO DEL ENSAYO DE ROTURA POR COMPRESIÓN (VER NORMA IRAM 1524)

La resistencia del hormigón puede ser garantizada si las probetas para el ensayo por compresión son confeccionadas, protegidas y curadas siguiendo métodos normalizados. De este modo los ensayos de rotura por compresión sobre probetas normalizadas, sirven para determinar la calidad del hormigón. Si, en cambio, se permite que varíen las condiciones de muestreo, métodos de llenado, compactación, terminación y curado de las probetas, los resultados de resistencia que se obtengan en el ensayo respectivo, carecerá de valor, ya que no podrá determinarse si eventuales resistencias bajas son debidas a la mala calidad del hormigón o a las fallas cometidas durante las operaciones de preparación de las probetas, previas al ensayo.

Para obtener resultados dignos de confianza deberán seguirse las siguientes técnicas:

1.- Usar solamente moldes indeformables, no absorbentes, estancos y de materiales que no reaccionen con el cemento. Las medidas para las obras corrientes son de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, con las tolerancias que fija la Norma. El tamaño máximo del agregado grueso no podrá superar $1/3$ del diámetro del molde. Si parte del agregado grueso supera el valor del punto anterior, se podrá preparar la probeta con el hormigón que pase a través de un tamiz IRAM 37,5 mm.

Antes de llenar los moldes, deberán ser colocados sobre una superficie horizontal, rígida y lisa. Deben hacerse por lo menos dos probetas por cada pastón que se quiera controlar por cada edad, generalmente 7 y 28 días.

2.- Toma de muestras: se operará de acuerdo con las especificaciones de Norma IRAM 1541 Hormigón Fresco - Muestreo e IRAM 1666 Hormigón Elaborado. Cada muestra se tomará directamente de la canaleta de descarga del motohormigonero, después de haberse descargado los primeros 250 litros ($1/4 \text{ m}^3$) de la carga y antes de descargar los últimos 250 litros de la misma.

La muestra se tomará en un recipiente limpio, no absorbente y estanco, y deberá ser totalmente remezclada en el mismo, antes del llenado de las probetas.

3.- Compactación con varilla: la finalidad de compactar el hormigón en los moldes es la de eliminar los huecos que pueden quedar dentro de la masa por la diferente forma y tamaño de los componentes que, al disminuir la sección de la probeta, le hacen perder resistencia. Hay muchas personas que utilizan para compactar el hormigón de la probeta, el primer trozo de barra de hierro que encuentran en la obra; otros se limitan a golpear el molde lateralmente y otros llenan el molde como si el hormigón fuera un líquido autonivelante. Todos estos procedimientos son errados y llevan a resultados bajos de resistencias, totalmente alejados de la resistencia real del hormigón elaborado. En cambio, la Norma establece el uso de una varilla normalizada con puntas semiesféricas para compactar el hormigón, ya que trabaja mejor por dos razones:

a) Se desliza entre los agregados, en vez de empujarlos como lo hace una varilla de corte recto en la punta, con la cual quedan espacios huecos al ser retirada.

b) Al retirar la barra, permite que el hormigón vaya cerrándose tras ella, lo que es facilitado por la punta redondeada.

4.- Llenado de las probetas y compactación del hormigón: se procede al llenado de las probetas, colocando el hormigón en tres capas de aproximadamente $1/3$ de la altura del molde, cada una. Una vez colocada cada capa se la compacta con 25 golpes de la varilla, uniformemente distribuidos sobre su superficie. En la primera capa, los 25 golpes deben atravesarla íntegramente pero sin golpear el fondo del molde. La compactación de la segunda y la tercera capa se hace atravesando totalmente cada una de ellas y penetrando aproximadamente 2 cm en la capa siguiente. El llenado de la última capa se hace con un exceso de hormigón.

Terminada la compactación de la capa superior, se golpean los costados del molde suavemente con una maza de madera o similar, a fin de eliminar macroburbujas de aire que puedan formar agujeros en la capa superior. Finalmente, se enrasa la probeta al nivel del borde superior del molde, mediante una cuchara de albañil, retirando el hormigón sobrante y trabajando la superficie hasta conseguir una cara perfectamente plana y lisa.

5.- Como se deben tratar las probetas terminadas: mientras quedan en obra las probetas deben dejarse almacenadas, sin desmoldar durante 24 horas, en condiciones de temperatura ambiente de $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 6\text{ }^{\circ}\text{C}$, evitando movimientos, golpes, vibraciones y pérdida de humedad.

Las probetas que quedan en el lugar de trabajo varios días, a temperaturas variables, expuestas a pérdida de humedad, etc., darán resultados erróneos de resistencia, siempre más baja y de mayor variabilidad que aquéllas que han sido tratadas correctamente.

6.- Manejo y curado de las probetas una vez fraguado el hormigón: después de 24 horas de confeccionadas, las probetas se desmoldan y transportan al laboratorio para su curado. Durante el transporte y manipuleo, las probetas deben ir acondicionadas para evitarles golpes y pérdida de humedad, así como variaciones grandes de temperatura.

Llegadas al laboratorio, las probetas se almacenan a temperaturas de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en una piletta con agua saturada con cal que las cubra totalmente, o en una cámara húmeda con humedad relativa ambiente superior al 95 %, donde quedan hasta el momento del ensayo.

Una probeta de hormigón puede parecer sin importancia cuando está confeccionándose, pero si más tarde aparecen dificultades con la resistencia o problemas en la obra, llega a ser un factor crítico tanto para una obra pequeña como para aquellas de elevadísimo costo.

Existen estudios realizados donde se ha demostrado que por falta de una buena compactación, los hormigones pierden entre un 8 a un 30 % de su resistencia. Llegando hasta un 60 % en los casos de ser muy secos (como en elementos premoldeados).

En deficiencias de protección y curado, las pérdidas llegan a ser del 50 % en hormigonados en tiempo frío, 14 % en tiempo caluroso y del 40 % si la humedad relativa ambiente es menor del 45 %.

COMO RECONOCER UNA MALA FABRICACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN (NORMAS IRAM 1524 Y 1553)

Las probetas cilíndricas de 15 x 30 cm son las que se utilizan para determinar la resistencia a compresión del hormigón. Para que ellas puedan garantizar su resistencia, deben ser confeccionadas, curadas y ensayadas siguiendo estrictamente lo determinado en las Normas.

Los valores de resistencia resultantes de los ensayos, no tienen mucho significado si la toma de muestras, confección de las probetas, protección, curado, preparación de las bases y el ensayo a compresión, se hacen apartándose de lo especificado en las Normas IRAM respectivas.

Es difícil probar cuándo se han producido deficiencias en la preparación de las probetas cilíndricas. Sin embargo, hay unos pocos detalles que pueden ayudar al operador que ha fabricado a conciencia un hormigón de buena calidad, a reivindicar la misma. Estos detalles son:

Muestreo deficiente (Ver Norma IRAM 1541)

Si una probeta cilíndrica da un bajo resultado de resistencia a rotura, y muestra una distribución irregular de agregados desde la parte superior a la inferior, o exceso de finos o de agregado grueso, puede ser ello indicativo que ha habido un muestreo deficiente. Un ensayo de resistencia debe ser representativo de la masa entera de hormigón. Por ello, antes de moldear las probetas, la muestra de hormigón debe ser totalmente re-mezclada a mano, en un recipiente de paredes no absorbentes.

Llenado de las probetas

La aparición de un exceso de agregado grueso en el fondo de la probeta, puede indicar también que se usó para la compactación una barra con extremo plano en lugar de redondeado; también ese fenómeno aparece cuando se ha producido un exceso en la compactación, en cuyo caso se observa que se ha acumulado una considerable cantidad de finos en la parte superior de la probeta. Lo mismo sucede en el caso de probetas compactadas por vibración, cuando se excede el tiempo de la misma.

Desperfectos en las superficies de las probetas

Huecos sobre la superficie de las probetas cilíndricas, indican corrientemente que las mismas no fueron llenadas en tres capas de un tercio de la altura de la probeta, ni compactados con 25 golpes por capa. Los huecos, al reducir la sección transversal de la probeta, producen pérdidas importantes de resistencia.

Huecos internos

Si después de la rotura de las probetas se observa un cierto número de huecos internos, ello puede indicar una inapropiada o insuficiente compactación. Si se compacta con varilla debe utilizarse una barra de acero lisa de 1,6 cm de diámetro por 60 cm de largo, con los extremos redondeados.

Las probetas nunca deben compactarse con métodos inadecuados para la consistencia del hormigón que está utilizándose. Así se tendrá en cuenta que para asentamientos en el tronco de Cono de Abrams de 5 cm o mayores, la compactación de las probetas se ejecutará con varilla. Para asentamientos menores que 5 cm la compactación se hará por vibración.

Evaporación demasiado rápida del agua de la probeta

El curado es una de las etapas más importantes en la buena ejecución del hormigón. Cuando una probeta tiene baja resistencia por una evaporación muy rápida del agua, se observa en el interior de la superficie de rotura variaciones extremas de co-

lor. Aunque éste no sea siempre el caso, si aparecen estas condiciones pueden correlacionarse con las condiciones atmosféricas existentes al momento en que las probetas fueron confeccionadas; pueden ser indicativas de un curado inadecuado.

Manejo poco cuidadoso

Aunque un manejo poco cuidadoso es difícil de señalar, es fácil de advertir cuando las probetas muestran líneas de rotura anormales y grandes variaciones en los resultados, en particular sobre probetas gemelas. Las probetas cilíndricas deberán ser llevadas siempre al laboratorio tan pronto como sea posible, después de las 24 h de su fabricación. Para su transporte, debe protegérselas con aserrín, arena fina u otros materiales dentro de un cajón que absorben los golpes, evitándoles daños.

Preparación deficiente de las bases (Ver Norma IRAM 1553)

- El paralelismo de las caras de las probetas cilíndricas es fundamental para obtener un resultado representativo.
- Concavidades en las caras pueden producir un descenso de hasta un 30 % en la resistencia de la probeta.
- Debe emplearse, para la preparación de las bases, un material que sea más resistente que el hormigón que está ensayándose, o emplear las placas de elastómero.
- Líneas de rotura anormales, indican la posibilidad de que se haya producido paralelismo entre las caras de la probeta.
- Debe prestarse especial atención a la planicidad de las caras de las prensas de ensayo.

Resumen

Es conveniente recordar siempre que, aun cuando se hayan usado todos los equipos especificados y se hayan seguido los métodos aconsejados, todavía pueden ocurrir cosas a las probetas cilíndricas de hormigón que dejen asombrados a los expertos. Esto es probable con la mayoría de los ensayos y distintos materiales: ello es una razón más para seguir todas las etapas aprobadas, no sólo para evitar algunas de las complicaciones aquí descritas, sino fundamentalmente, para poder comparar resultados que, de otra manera, serían incompatibles.

Las demandas de los nuevos proyectos y técnicas incrementan la necesidad de una calidad uniforme del hormigón. Esto hace a la humilde probeta cilíndrica más importante de lo que se la ha considerado hasta el presente, ya que en la actualidad no existe otro ensayo que reemplace al de rotura por compresión.

Por último, recordar que será lamentable dudar de la calidad de un buen hormigón por los pobres resultados obtenidos en ensayos mal ejecutados.

COMO PEDIR EL HORMIGÓN ELABORADO

Al pedir Hormigón Elaborado está contratándose un servicio que lleva implícito un producto, por lo que el pedido tiene que ser muy preciso, estableciéndose todas las pautas como corresponde a cualquier contrato.

Es muy importante asegurar, antes de emitir una orden de compra, que la cantidad y velocidad de despacho pueda ser verificada por el proveedor y que el hormigón pueda ser manipulado correctamente por el comprador. Las órdenes deben ser siempre claras y las notificaciones sobre cancelaciones o cambios en las mismas se deben acordar de antemano. Es recomendable enviar tanto los pedidos, modificaciones o cancelaciones por fax (o correo electrónico).

La descarga de un motohormigonero debe cumplirse dentro del tiempo establecido, debiéndose anotar claramente ese dato en el remito correspondiente al viaje del mencionado camión.

Cabe destacar que muchos de los conceptos vertidos en este capítulo, se encuentran generalmente mencionados en los remitos de entrega del hormigón bajo destacados títulos que invitan a la lectura del tipo "condiciones de venta y entrega de productos" o "muy importante" (en algunos casos al dorso de los mismos).

El usuario debe suministrar datos básicos de su obra al Productor los cuales se enumeran a continuación:

1. Tipo de estructura; total de hormigón en m^3 que llevará toda la obra; tiempo estimado de ejecución.
2. Resistencia característica a compresión del hormigón en MPa o en kg/cm^2 .
3. Tipo y cantidad mínima de cemento por metro cúbico de hormigón que pueda ser necesario por exigencias de durabilidad u otros que no sean la condición de resistencia a compresión (como relación agua/cemento).
4. Tipo y tamaño máximo de los agregados.
5. Consistencia de la mezcla fresca en centímetros en el momento de la descarga, medida en el tronco de Cono de Abrams.
6. Aditivos químicos a incorporar al hormigón.
7. Contenido de aire intencionalmente incorporado en por ciento, en las mezclas que lo especifiquen.
8. Características especiales que requiere ese hormigón (p. ej.: Hormigón a la vista, resistente al desgaste, resistente al ataque por sulfatos, etc.).
9. Si será hormigón bombeado o el transporte interno se hará por medios tradicionales.
10. Capacidad de recepción del hormigón en la obra, en lo posible en $m^3/hora$, y toda otra información pertinente que surja del cambio de ideas entre el Usuario y Productor. En caso de ser necesario, el Productor completa el conocimiento sobre la obra, enviando un inspector a la misma con el objeto de verificar la ubicación, accesos y po-





sibilidades de maniobra para los motohormigoneros; posible lugar de descarga o de colocación de la bomba de hormigón; pasajes o rampas que puedan representar un riesgo al desplazamiento de personas o vehículos. En lo que respecta a la obra en sí, verificar en la partes con armaduras colocadas, la relación entre la separación de las barras con el tamaño máximo del agregado solicitado; estado general de los trabajos; capacidad de recepción del hormigón; equipos de compactación, etc. Las tareas citadas en este párrafo, también deben ser realizadas por el encargado de la obra (el usuario).

Cuando el pedido se hace para una obra ya iniciada, donde se ha hormigonado con anterioridad, y están establecidos todos los datos que figuran más arriba; lo que se hace es seguir una rutina que puede incluir los puntos siguientes:

1. Quién hace el pedido y para qué sector de la obra.
2. Día y hora en que se desea el primer motohormigonero en obra, y con qué frecuencia las siguientes.
3. Cantidad de m^3 de hormigón necesarios.
4. Tipo y tamaño máximo de los agregados.
5. Resistencia característica a compresión a 28 días en MPa o en kg/cm^2 .
6. Asentamiento medido en el tronco de Cono de Abrams, en centímetros.
7. Qué aditivo debe llevar el hormigón.
8. Qué va a hormigonarse y qué medio de transporte interno va a utilizarse.
9. Cualquier otra información complementaria que pueda ser útil.

Ejemplos:

Un ejemplo de este tipo de pedido, que generalmente se hace por teléfono, puede ser el siguiente:

"Habla el capataz Ortíz de la obra XX S.A., en Las Heras 2420. Necesito para el martes 10, a las 7:30 h, 50 m^3 de hormigón de resistencia característica 17 MPa (170 kg/cm^2), con canto rodado tamaño máximo 25 mm, y cemento normal, con asentamiento de 15 cm. Vamos a hormigonar la losa sobre el 2º piso con guinche y carros, a razón de un camión cada media hora. A las 12:30 h paramos media hora para comer. Y recuerde, el 3º camión lo necesito con superfluidificante porque tengo una zona con mucha armadura.

" Fin del mensaje"

Un ejemplo de cómo NO DEBE PEDIRSE EL HORMIGON, puede ser el siguiente:

"Oiga, queremos el hormigón enseguida, para la obra frente a la Plaza Vicente López, igual que el miércoles pasado."

Se pueden señalar diversos cuestionamientos a este tipo de solicitud. Debe pedirse el hormigón con tiempo, pues quien lo pide no es el único Usuario. Esto permite al productor programar con anticipación las entregas, disponiendo adecuadamente de los materiales y equipos. Además de aclarar perfectamente las condiciones a cumplir por el hormigón a enviar. Esto originará el servicio que el usuario requiere y el productor está en condiciones de ofrecer.

Todo pedido tardío o con datos incompletos, origina errores, consultas, pérdidas de tiempo y confusiones.

Tareas en obra para recibir el hormigón

Aparte de hacer correctamente el pedido en tiempo y forma, deben realizarse en la obra, algunas tareas para facilitar la operación de los camiones, tales como las siguientes:



- Preparar los accesos y recorridos para los motohormigoneros dentro de la obra, para que puedan entrar, maniobrar, descargar y salir sin impedimentos y en el menor tiempo posible. Y que esos accesos y recorridos no se deterioren con el paso de los primeros camiones y haya que detener el hormigonado por un vehículo atascado.
- El guinche o elemento de descarga del hormigón debe ser colocado tanto en planta como en altura, para que la descarga sea fluida y sin demora excesiva.
- Debe haber colaboración de la obra, con los conductores de los motohormigoneros y viceversa. Y eso se consigue pensando durante cinco minutos y no discutiendo durante cinco horas.
- Se debe tener todo dispuesto antes que llegue el primer camión y no esperar a que éste llegue y recién empezar con los preparativos para recibir el material.
- No ejecutar períodos de descanso o comidas mientras está descargándose un camión, y en caso de tomarse un lapso largo a tales efectos, hacérselo saber a la planta de elaboración para que disminuya o suspenda provisoriamente el ritmo de los despachos.



Provisión del Hormigón

Por bueno que sea el hormigón, no ocultará los defectos que puedan derivarse de una mala ejecución del hormigonado. Por ejemplo:

- Encofrados sucios o muy secos.
- Agregado de agua en exceso.
- Demoras en la descarga.
- Deficiente colocación, compactación o terminación.

Estos defectos harán aparecer enseguida defectos en el hormigón, y a los 28 días se observarán fallas de resistencia.

- El hormigón se despacha normalmente en motohormigoneros con 6 a 10 m³ de hormigón fresco y al final un corte para completar la cantidad, pero nunca menor que medio metro cúbico.
- Es importante calcular bien la cantidad necesaria a hormigonar y tener siempre en cuenta que por pérdidas en los encofrados y otras, durante el colado, sobre-espesores de losas, etc., generalmente habrá necesidad de una cantidad ligeramente mayor a la que se mide matemáticamente, en especial en estructuras que tienen como encofrado el terreno natural, tales como bases de fundación, vigas en medianeras, pilotes, etc.
- No hacer esperar innecesariamente a los motohormigoneros; variando las frecuencias establecidas con el proveedor, de lo contrario, el vehículo siguiente destinado a esta obra, será dirigido hacia otra.
- Unas de las recomendaciones más importantes: no incitar jamás al conductor del motohormigonero a agregar agua a la mezcla.

Colaboración

El Productor de Hormigón Elaborado y sus empleados están obligados a atender la obra del mejor modo posible. Deben ser considerados como colaboradores y no como rivales. En casos de deficiencias de cualquier tipo o dudas, hay que comunicarse de inmediato con la planta de despacho para informar y pedir las aclaraciones correspondientes. Una última reflexión: las máquinas, equipos y vehículos a veces pueden sufrir averías, es importante tenerlo en cuenta.

Apéndice:

Volúmenes más comunes

Losa: Largo x ancho x espesor (ídem plateas).

Columna: Ancho x profundidad x altura.

Viga: Base x largo x altura.

Pilote: Diámetro x diámetro x 0,785 x altura (ídem columnas circulares).

Tabique: Ancho x alto x espesor.

Rampa: Ancho x largo x (espesor mayor + espesor menor) / 2

EL EXCESO DE AGUA DE MEZCLADO ELEVA EL COSTO DEL HORMIGÓN

El control del agua de mezclado en la dosificación del hormigón, es esencial para obtener los mejores resultados en todo tipo de construcciones. Es sabido que toda dosificación racional de hormigón parte del valor conocido como "relación agua/cemento", es decir, la cantidad de litros de agua, dividida por la cantidad de kilogramos de cemento usados para un determinado volumen de hormigón. Y la resistencia de ese hormigón, para igualdad de materiales y condiciones de elaboración, depende de la relación agua/cemento. Cuando ésta baja, la resistencia aumenta; y si sube, disminuye. Todo agregado de agua por encima de la cantidad estipulada hace disminuir indefectiblemente la resistencia y otras propiedades, salvo que se incorpore a la mezcla una cantidad adicional de cemento necesaria para mantener constante la relación agua/cemento.

El exceso de agua de mezclado es un peligro ya reconocido por los constructores y por desgracia, los perjuicios que acarrea aparecen a una edad demasiado tardía como para ser remediados sin costos excesivos.

Aparte de la pérdida de resistencia pueden darse los siguientes ejemplos de deterioros diferidos, debidos al exceso de agua de amasado:

1. Fisuras en cimentaciones y en otras estructuras.

Los muros de cimentación y las losas se fisuran exageradamente, debido a la elevada retracción y a la débil resistencia a la tracción del hormigón, defecto producido por el exceso de agua de mezclado.

2. Deterioros de pavimentos en zonas frías donde se producen ciclos de congelación y deshielo.

Con el objeto de proteger el hormigón de los ciclos de congelación y deshielo, se incorpora a la masa del mismo intencionalmente, un cierto porcentaje de microburbujas de aire. En tal caso, si el asentamiento medido en el tronco del Cono de Abrams iguala o supera los 13 cm, existe el peligro de que pierda algo del aire ocluido y, como consecuencia, se desmejore la protección del hormigón a la agresión mencionada.

3. Deterioros en las superficies del hormigón.

Al tener el hormigón un exceso de agua, se produce su exudación por las juntas de los encofrados, arrastrando la pasta de cemento y dejando así una superficie listada y llagada, de desagradable aspecto.

4. Efecto de segregación y fisuración en pavimentos.

El hormigón exuda y en consecuencia el agua asciende a la superficie. Cuando la exudación es excesiva, el agua arrastra consigo los finos de la mezcla que van a depositarse en la cara visible, donde se producen con frecuencia serias fisuras.

5. Porosidad en elementos estructurales.

También llamados "nidos de abejas", pueden producirse en las mezclas con exceso de agua, donde se ha producido la segregación de los materiales dejando partes importantes de agregado grueso sin el correspondiente mortero.

Relación entre el exceso de agua y el costo del hormigón

Se ha hablado y escrito mucho acerca del control de agua en la dosificación de hormigón. Ahora expresaremos esta influencia en términos económicos, representados por la diferencia en peso de cemento entre una dosificación con bajo asentamiento y la equivalente en resistencia, pero con alto asentamiento. Por ejemplo:

1. Para una resistencia característica 170 kg/cm² con canto rodado y cemento normal CPN30, la relación agua/cemento es de 0.58:
Si el asentamiento es de 5 cm se utilizan 168 litros de agua.
Si el asentamiento es de 20 cm se utilizan 195 litros de agua.
2. Para mantener la relación agua/cemento en 0.58:
Si el asentamiento es de 5 cm hacen falta 290 kg de cemento.
Si el asentamiento es de 20 cm hacen falta 336 kg de cemento.
Por lo tanto, la cantidad de cemento necesaria para mantener la resistencia fijada será: 336-290: 46 kg de cemento adicionales de cemento, que representarán un costo extra.
3. Para apreciar la magnitud que económicamente representa esto, basta indicar que en un motohormigonero de 6 m³ será necesario emplear 276 kg adicionales de cemento por m³ de hormigón.

Por esto, el exceso de agua de mezclado no debe ser nunca desestimado.

Además de la visualización económica que se ha presentado deben tenerse en cuenta otros factores más importantes, como los provenientes de las posibles reparaciones estructurales que, además del valor económico puro, pueden afectar la reputación del constructor.

Todas estas consideraciones son de gran importancia para el hormigón que se fabrica a pie de obra, para el que se puede ir variando la dosificación de cemento al incrementar la cantidad de agua de mezclado, pero más lo son y adquieren vital interés, en el caso del Hormigón Elaborado. Porque un añadido de agua al motohormigonero en la obra no se compensa con un incremento en la cantidad de cemento y, por lo tanto, se aumenta el valor de la relación agua/cemento haciendo perder así resistencia al hormigón.

El hormigón ha dejado de ser el solicitado, tanto en resistencia como en consistencia. Las consecuencias que, de esto derivan, pueden ser graves:

1. Elementos estructurales cuya seguridad ha quedado por debajo de la prescrita.
2. Defectos en la superficies del hormigón.
3. Aumento sensible de la porosidad y permeabilidad.
4. Posibilidad de reparaciones estructurales de importancia.
5. Pérdida de la garantía del Productor de Hormigón Elaborado.

Cuando se hace un pedido de hormigón por resistencia, debe ser solicitado así:

1. Por su resistencia característica: que está indicada en el proyecto de los elementos estructurales que van a hormigonarse.
2. Por el tamaño máximo de los agregados: que debe ser compatible con las medidas de los elementos estructurales y con la separación de las armaduras. Viene generalmente indicado en el Pliego de Especificaciones Técnica del Proyecto para cada elemento estructural.
3. Por la consistencia medida con el tronco de Cono de Abrams: que debe ser elegida por el Director de Obra previamente al pedido del hormigón.

Una vez que el motohormigonero llega a obra, la adición de agua hace bajar la resistencia y subir la consistencia, por lo que el hormigón no cumplirá con los requisitos del proyecto.

CUIDADOS A TENER CON EL HORMIGÓN ELABORADO en las Operaciones de Obra tales como: Descarga desde el Motohormigonero / Transporte Interno / Colocación en los Moldes / Compactación / Protección y Curado

Descarga del hormigón elaborado

Toda demora en la descarga del Hormigón Elaborado una vez salido de la planta de elaboración, terminado su mezclado y completado el viaje hasta la obra, puede afectar la resistencia a compresión y otras características importantes del material, en especial la consistencia. A medida que transcurre el tiempo entre la salida de planta del motohormigonero y la terminación de la descarga en obra, va produciéndose una disminución del asentamiento en el tronco de Cono de Abrams, hasta el punto de dificultar la manipulación normal del material, lo que obliga a agregarle agua para poder manejarlo. Y esto significa elevar el valor de la relación agua/cemento y con ello disminuir la resistencia del hormigón.

Por estas razones, la Norma IRAM 1666 de Hormigón Elaborado, especifica que la descarga del hormigón debe estar terminada dentro de los 90 minutos, a contar desde la salida del motohormigonero de la planta de carga (para condiciones atmosféricas normales con 25 °C como máximo y sin aditivos retardadores). Dentro de ese tiempo, la obra dispone de 30 minutos para efectuar la descarga.

Si la temperatura ambiente fuera mayor, la misma Norma autoriza con temperatura ambiente hasta 32 °C, pero tomando precauciones especiales (uso de aditivos retardadores de fraguado, enfriamiento de los agregados y del agua, etc.) (Ver el Tema 13, Hormigonado en tiempo caluroso).

Descarga del motohormigonero en obra

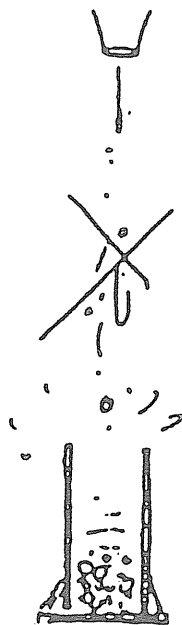
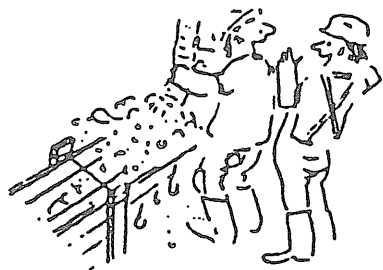
Deberá hacerse de modo que no se produzca segregación de los materiales, para lo cual el hormigón nunca se dejará en caída libre desde más de un metro de altura. Si la descarga se hace directamente sobre la estructura (caso típico: pavimentos) el hormigón deberá caer verticalmente y en la cantidad aproximada al espesor necesario, corriendo la canaleta de descarga para evitar la acumulación de material en exceso que luego haya que correr lateralmente.

Transporte interno dentro de la obra

Para llevar el hormigón desde el punto de descarga del motohormigonero hasta el lugar de colocación, el transporte vertical u horizontal debe hacerse en recipientes estancos, para evitar pérdidas de lechada, y con piso y paredes no absorbentes y permanentemente bien humedecidas para evitar pérdidas de humedad a la mezcla y facilitar el corrimiento del material.

Si se descarga en canaletas, deben estar colocadas con un ángulo tal que permita el deslizamiento lento del hormigón, y al llegar a la parte inferior, la caída debe ser vertical y de no más de un metro de altura.

Actualmente, el mejor medio de transporte vertical y horizontal es la bomba de hormigón, impulsando el material por una tubería desde la canaleta de descarga del motohormigonero hasta el lugar de colocación con total uniformidad, en el mínimo de tiempo y conservando la calidad que tenía al salir del tambor del motohormigonero. Además, las bombas modernas son de mecánica muy confiable y con un diseño tal, que la vena del hormigón sale del manguerote final en forma continua.



Colocación del hormigón en los encofrados

Un buen proceso de colocación es el que tiende al llenado completo de los encofrados, en especial en las esquinas, sin alterar la uniformidad del hormigón y con un perfecto recubrimiento de las armaduras de refuerzo (sin vacíos, ni segregación).

Para ello deberá cumplir con los siguientes requisitos :

1. No depositar una gran masa en un solo punto y esperar que por su propio peso o con ayuda de algún elemento para correrlo, se vaya deslizando lateralmente hasta alcanzar la altura que corresponde y se llene el encofrado. Estos deslizamientos producen segregación del agua de mortero y de lechada de cemento, dejando en algunos casos separado al agregado grueso.
2. Evitar un exceso de compactación, en especial vibración, que hace subir a la superficie el mortero y lechada de cemento enviando hacia abajo el agregado grueso.
3. Evitar la compactación insuficiente porque se produce el fenómeno conocido como formación de "nidos de abeja", es decir, oquedades ocupadas por macroburbujas de aire o bolsones de agua segregados de la mezcla que dejan huecos al desaparecer. En los "nidos de abeja" la resistencia del hormigón es cero.
4. Realizar una correcta colocación del hormigón en los moldes, haciéndolo caer en vertical sobre el lugar asignado, y nunca desde alturas superiores a un metro. Descargar desde alturas mayores produce inevitablemente segregación del material. En algunos casos habrá que dirigir el hormigón hacia los moldes, utilizando trozos cortos de tuberías que deben tener un diámetro de por lo menos tres veces el tamaño máximo del agregado.
El peligro de segregación es tanto mayor cuanto más grande es el tamaño del agregado y más discontinua su curva granulométrica. Las consecuencias son más graves cuanto menor es la sección de la pieza.
5. Para desplazar el hormigón, no se debe tratar de arrojarlo con palas a gran distancia, ni tratar de distribuirlo con rastrillos. Tampoco hacerlo avanzar desplazándolo más de un metro dentro de los encofrados.
6. En las estructuras muy gruesas (como plateas de fundación) debe hormigonarse por tongadas cuyo espesor no supere los 50 cm ya que en espesores superiores, la compactación es ineficaz.

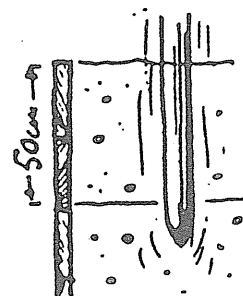
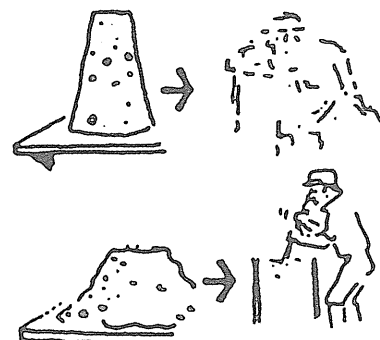
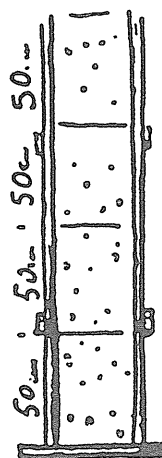
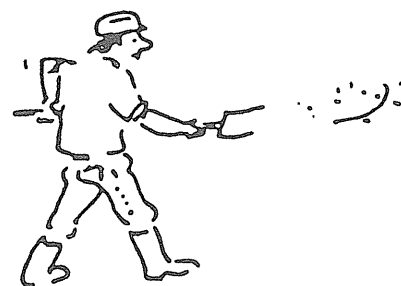
Compactación del hormigón después de colocado

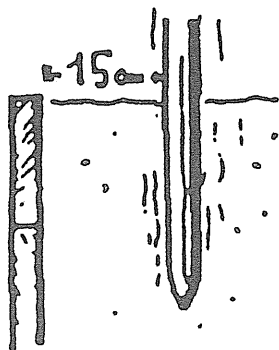
Es la operación que, bien ejecutada, hace llegar el hormigón a su máxima compactación, llenando perfectamente los encofrados y cubriendo totalmente las armaduras de refuerzo.

Las mezclas Duras y Plásticas (aproximadamente 5 y 10 cm de asentamiento en el tronco de Cono de Abrams) deben compactarse con vibradores internos, de encofrado o de mesa. Las mezclas Blandas y Fluídas (aproximadamente 15 cm y más de asentamiento en el tronco de Cono de Abrams) se compactan normalmente con varilla, pisón, o muy cuidadosamente con vibración.

Para que los vibradores internos sean efectivos, la frecuencia de vibración será de por lo menos 6000 ciclos por minuto.

La vibración debe hacerse sumergiendo la aguja rápida y profundamente en dirección vertical y luego retirándola lentamente y con velocidad constante, también verticalmente. Durante la vibración, debe evitarse todo movimiento de corrimiento transversal o inclinación de la vela fuera de la vertical. Los puntos de aplicación no deben estar separados más de 50 cm entre sí y su efecto puede apreciarse visualmente al apa-





recer toda la superficie vibrada con una humectación brillante. Es preferible vibrar más puntos en menos tiempo, que menos puntos en más tiempo. La vibración en cada punto debe demandar no más de un minuto a un minuto y medio, lo que depende del espesor a vibrar.

Cuando el hormigonado se realice por tongadas, el vibrador debe penetrar ligeramente (3 a 5 cm) en la capa inferior.

No debe introducirse la aguja del vibrador a menos de 10/15 cm de la pared del encofrado, para evitar la formación de macro-burbujas de aire y desplazamiento de la lechada de cemento hacia la misma.

Protección y curado después de la terminación

Tienen por objeto mantener el hormigón con la temperatura y humedad que resulten indispensables para el proceso químico de hidratación del cemento.

Hay distintos sistemas de protección, que se emplean en especial en días calurosos y ventosos, para que no se seque velozmente la superficie del hormigón. Los más comunes son el uso de láminas de polietileno con las que se tapa o se envuelve el hormigón lo más herméticamente posible; o también la formación de membranas plásticas de curado, especie de pintura plástica que se aplica con sopletes especiales.

El curado se hace directamente con agua, primero en forma de neblina para no dañar la superficie del hormigón, luego por rociado fino y después puede llegarse inclusive a la inundación, si el formato de la estructura y las condiciones de obra lo permiten. También se recurre a la formación de las membranas de curado siguiendo las indicaciones de los fabricantes.

Lo más importante del curado es que debe ser continuo, y abarcar desde pocas horas después del hormigonado hasta un número de días que depende de las condiciones atmosféricas. Para cemento Portland normal y temperaturas normales (16 a 25 °C) el curado debe prolongarse durante 7 días como mínimo.

El curado inadecuado o la falta total de curado, incrementan el riesgo de fisuración plástica por contracción de fraguado y, lo que es más grave, puede perderse hasta un 50 % de la resistencia a compresión a 28 días con relación a la que tendría el mismo hormigón con un curado correcto.

HORMIGONADO EN TIEMPO CALUROSO

Cuando nos acercamos a la época del año en que la primavera deja paso al tiempo caluroso, inevitablemente se verifica, entre otros factores, un aumento creciente de la temperatura, la cual en pleno verano puede alcanzar y superar los 32-33 °C, siendo también éste el momento en que debido a esos factores puede tornarse dificultoso el control del hormigón.

Entramos en la época del año en que pueden presentarse problemas, razón por la cual hay que plantearse fundamentalmente, el análisis de los distintos factores que traen aparejada una disminución de la resistencia y/o agrietamiento o fisuramientos de las estructuras.

El hormigón endurece y gana resistencia debido a la reacción química que se verifica entre el cemento y el agua (hidratación), reacción que se acelera a medida que aumenta la temperatura.

Por cada 11 °C de aumento de temperatura, se duplica la velocidad de reacción. Y si el hormigón se seca prematuramente, la cantidad de agua disponible para esta reacción será insuficiente.

Sin agua, no hay hidratación; por lo tanto, no hay ganancia de resistencia.

Definición de tiempo caluroso

Para nuestros propósitos, definiremos "Tiempo caluroso" a cualquier combinación de: elevada temperatura del aire, baja humedad relativa y velocidad del viento tendientes a desmejorar la calidad del hormigón fresco o endurecido.

Las medidas precautorias que se requieren en un día calmo y húmedo, serán menos estrictas que las requeridas en un día seco y ventoso, aún si la temperatura del aire es la misma.

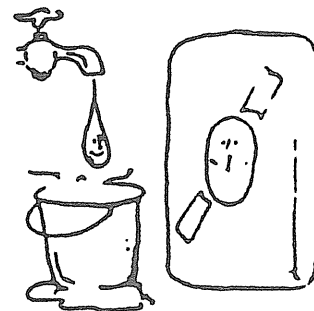
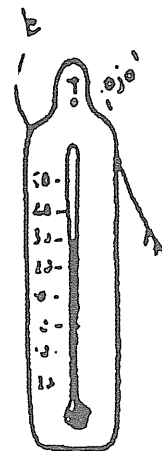
EFFECTOS DEL TIEMPO CALUROSO

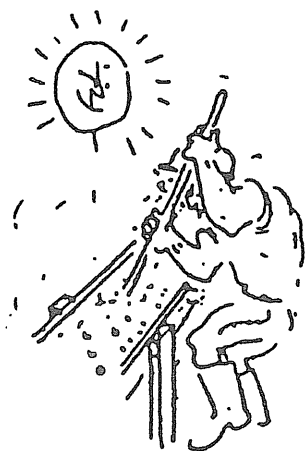
Los efectos indeseables sobre el hormigón en estado plástico pueden incluir:

- a) Demanda creciente de agua.
- b) Velocidad creciente de pérdida de asentamiento con la correspondiente tendencia a agregar agua en obra.
- c) Disminución del tiempo de fraguado, resultante en una mayor dificultad en el manipuleo, terminado y curado, y aumentando la posibilidad de las uniones defectuosas entre una superficie y otra (juntas frías).
- d) Tendencia creciente al agrietamiento en estado plástico.
- e) Dificultad en el control del contenido de aire incorporado.

Los efectos indeseables sobre el hormigón en el estado endurecido pueden incluir:

- a) Disminución de resistencia debido a la mayor demanda de agua.
- b) Tendencia creciente a la contracción por secado y agrietamiento térmico diferencial.
- c) Disminución de la durabilidad.
- d) Uniformidad decreciente de la apariencia superficial.





Efecto de los factores adicionales

Otros factores complican las tareas en tiempo caluroso. Deberían considerarse en conjunto con los factores climáticos, y pueden incluir:

- a) Empleo de cementos finamente molidos con mayor velocidad de hidratación que el cemento Portland Normal.
- b) Empleo de hormigones con alta resistencia a la compresión, que requieren contenidos de cemento mayores.
- c) Diseño de secciones esbeltas de hormigón con mayores cuantías de acero.
- d) Aumento de capacidad de los motohormigoneros.
- e) Necesidad de mover grandes volúmenes de hormigón de bajo asentamiento sobre distancias verticales y horizontales mayores.
- f) Mayor exigencia y consecuente desgaste del equipo de bombeo de hormigón.
- g) Necesidad económica de realizar un trabajo continuado dentro de los horarios de mayor temperatura.

Propiedades del hormigón

Generalidades

Debemos proponernos analizar todo el proceso de obtención de la estructura terminada, partiendo desde un comienzo con los recaudos a tomar con las materias primas intervinientes en la mezcla, pasando por la preparación del hormigón y su dosificación, y concluyendo después de transcurrido un tiempo de colocado, ya que las propiedades que hacen del hormigón un excelente material de construcción, pueden ser adversamente afectadas por el tiempo caluroso, de acuerdo con lo previamente definido.

La teoría básica referente a las propiedades y comportamiento del hormigón, se aplica generalmente al producto elaborado bajo óptimas condiciones. Los cambios estacionales pueden dar condiciones distintas, razón por la cual deben adoptarse ciertas medidas en el proceso de elaboración para minimizar los efectos adversos.

Resistencia mecánica, impermeabilidad, estabilidad dimensional y la resistencia al desgaste, al uso y al ataque químico, (entre otras propiedades) dependen del apropiado control de los materiales, de la dosificación y mezclado; de las temperaturas iniciales del hormigón y de las condiciones de temperatura y humedad durante el período de colocación y curado.

EFFECTOS DE LA TEMPERATURA

El tiempo de fraguado depende de la temperatura de la mezcla del hormigón.

La fig. 1 ilustra este fenómeno. Notemos que, para una variación de temperatura de 14 °C, cambia el fraguado inicial del hormigón en un factor de aproximadamente 2. A pesar que la figura está basada sobre datos limitados, se manifiesta un decidido efecto de la temperatura sobre el tiempo de fraguado cuando la temperatura de colocación del hormigón está en el rango de 10 a 38 °C.

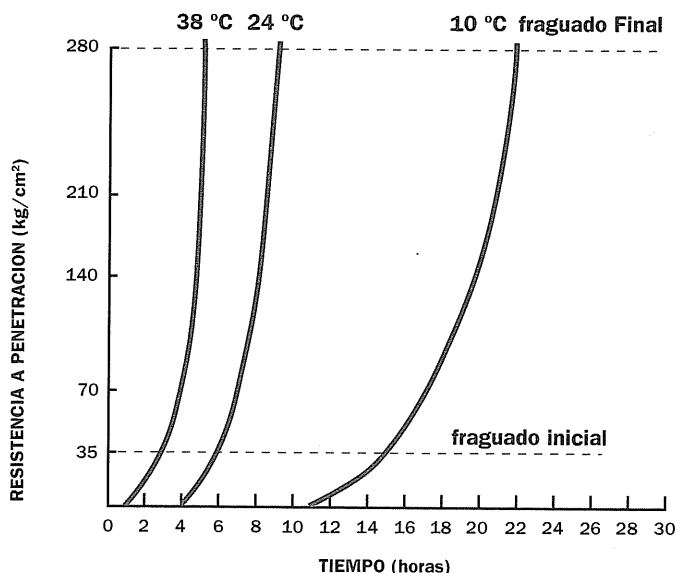


Figura 1

Todas las marcas de cemento y todos los hormigones exhibirán este fenómeno. Si se acelera el tiempo de fraguado del hormigón en clima caluroso, aumenta la posibilidad de formación de uniones sin continuidad y "nidos de abeja".

Sería por tanto de interés, estudiar la forma de mantener el tiempo de fraguado, tanto inicial como final, dentro de los valores correspondientes a los tiempos normales, (aproximadamente a 20 °C de temperatura ambiente), recurriendo por ejemplo a utilizar agua fría; mojar los agregados en las pilas, etc. Este enfriamiento en los materiales es, a los efectos de lograr una temperatura en el interior de la masa de hormigón, acorde con los tiempos de fraguado ya conocidos para épocas normales.

Tiempo de fraguado inicial muy corto, acorta los tiempos de entrega y colocación en los encofrados.

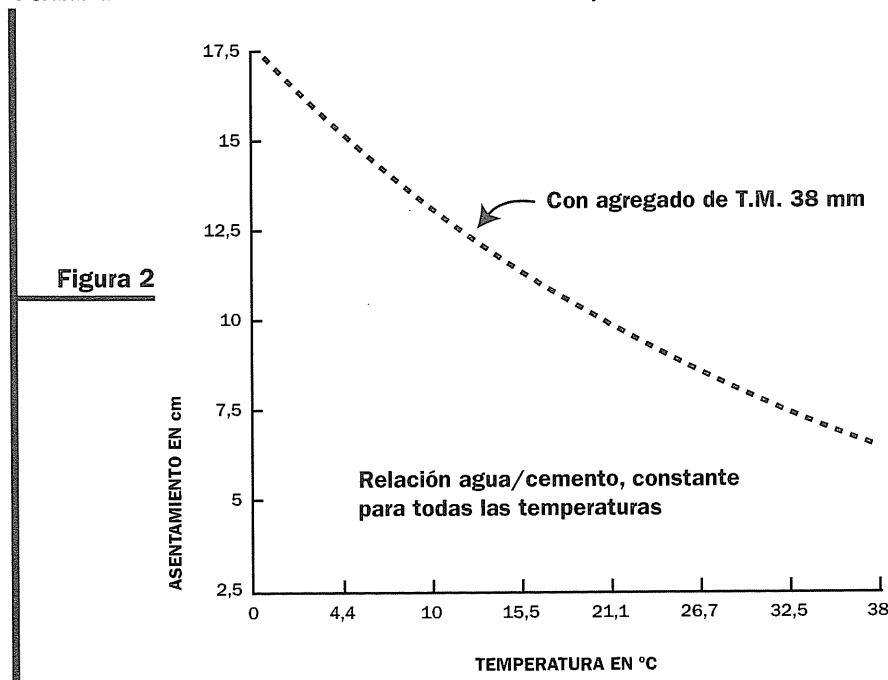
A medida que aumenta la temperatura, aumentarán también los requerimientos de agua.

El agua, como un ingrediente del hormigón, tiene gran influencia sobre muchas de sus propiedades significativas, tanto en el estado plástico como en el endurecido. Elevadas temperaturas del agua, provocan mayores temperaturas del hormigón y a medida que ésta aumenta, también aumenta la demanda de agua y disminuye la resistencia, para hormigones de la misma consistencia.

El agua adicional, sin corrección de sus efectos sobre la relación agua/cemento, afectará negativamente la calidad final del hormigón colocado.

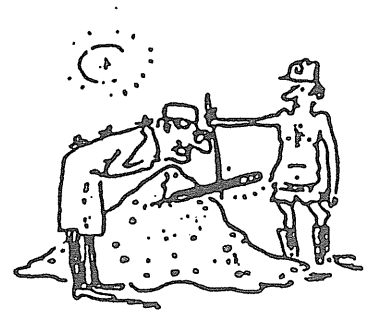
Notemos en la Fig. 2 que el hormigón a temperaturas de laboratorio, presentaba en este ensayo un asentamiento de 10 cm, pero que a 38 °C tenía solamente 7,5 cm de asentamiento.

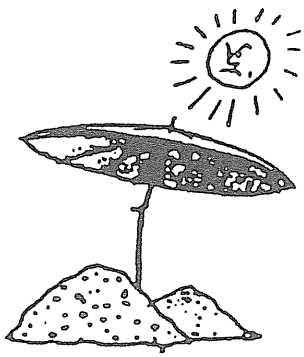
Pérdida de asentamiento debido a la elevación de la temperatura de mezclado



Si el pliego de condiciones le permite al contratista un asentamiento de 10 cm (y él puede necesitar 10 cm para una operación dada), a 38 °C debería agregar agua al hormigón para obtenerlo (respecto de las dosificaciones de laboratorio).

Por otra parte, a medida que la temperatura aumenta, también aumenta la cantidad de agua requerida para cambiar el asentamiento como se muestra en la Fig. 3. Esto complica el problema.





Efecto de la temperatura del hormigón sobre el agua requerida para cambiar el asentamiento

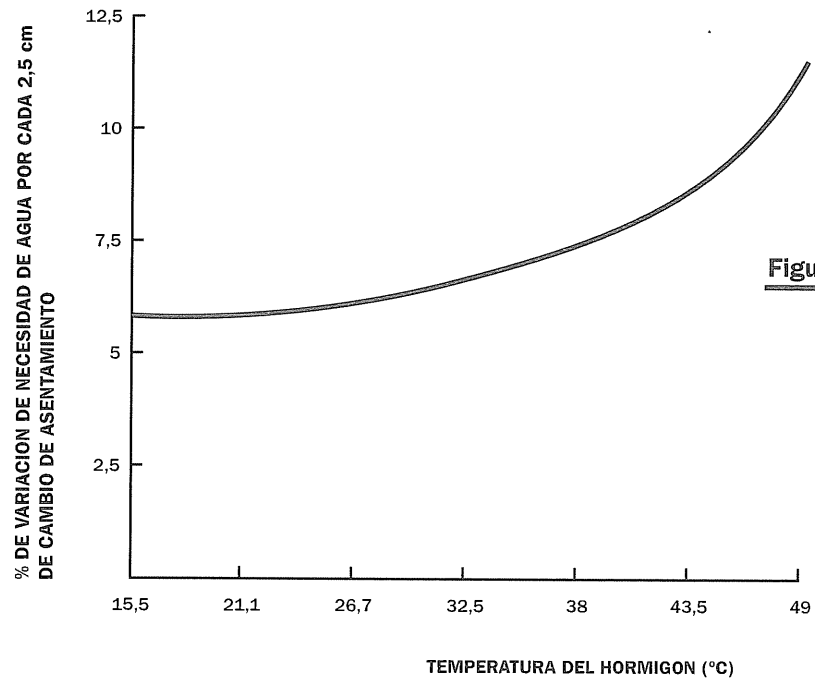


Figura 3

Incluso si el contratista es obligado a utilizar una relación agua/cemento preestablecida, y aún si él decide colocar el hormigón con asentamiento reducido a temperaturas elevadas, ello sería en detrimento de la resistencia del hormigón.

Si a ese contratista, en este ejemplo, se le permitiera agregar agua al hormigón a una temperatura de mezcla de 46 °C, la disminución de la resistencia sería mayor que la mostrada en la Fig. 4, porque sufriría la penalidad en la resistencia inherente a la adición del exceso de agua sin agregar cemento. Un mayor contenido de agua en el hormigón, disminuye la resistencia, la durabilidad, la impermeabilidad y demás propiedades relacionadas del hormigón endurecido. Esto, que es común a todos los hormigones colocados bajo cualquier condición climática, puntualiza la necesidad especial de controlar el empleo del agua en el hormigón colocado bajo condiciones de tiempo caluroso.

Efecto de la temperatura inicial sobre la resistencia a la compresión del hormigón

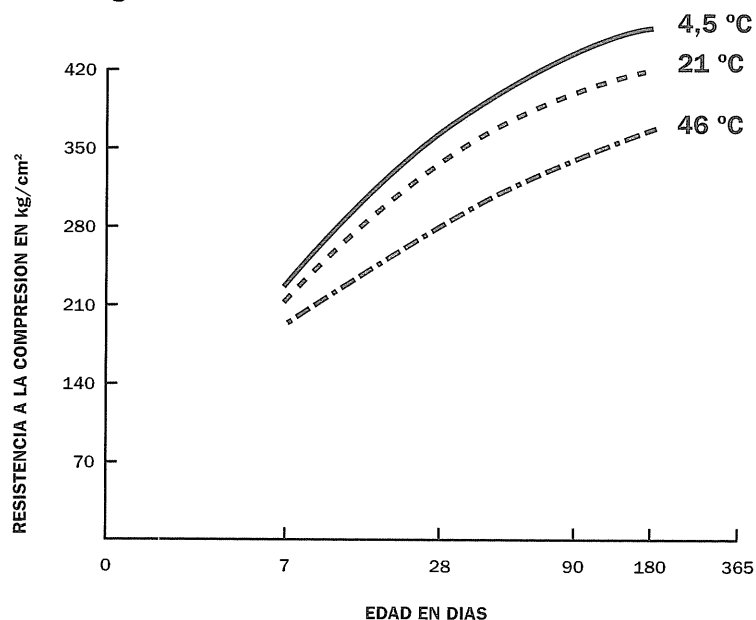


Figura 4

Nota: las probetas fueron moldeadas, selladas y mantenidas a la temperatura indicada durante 24 horas y luego almacenadas a 21 °C hasta su ensayo.

Datos de la mezcla:

Relación a/c:	0,50
Contenido de cemento:	360 kg/m ³
Arena %:	40
Aire %:	0

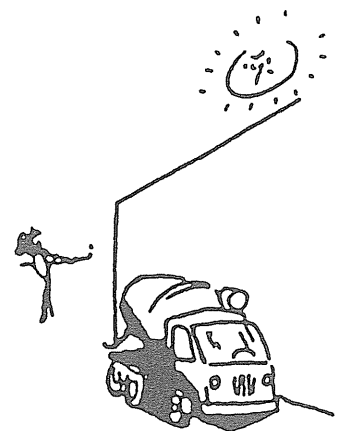
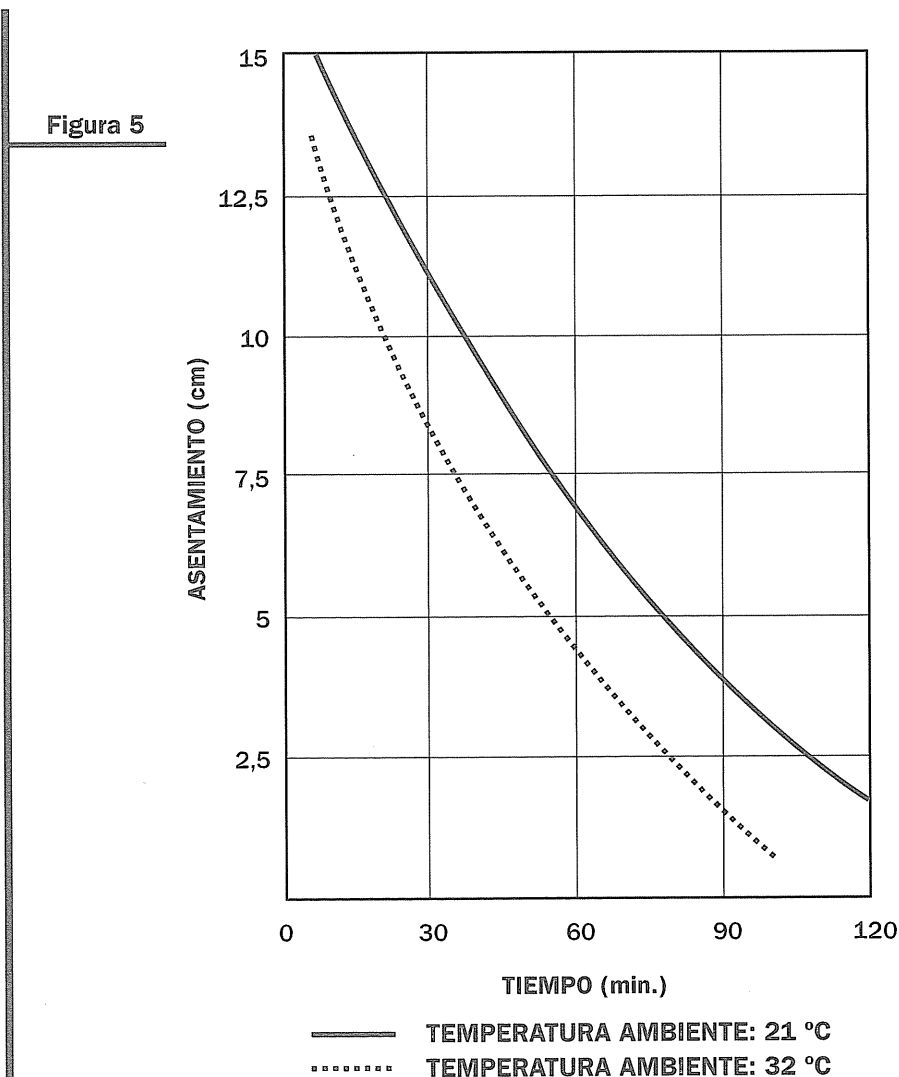


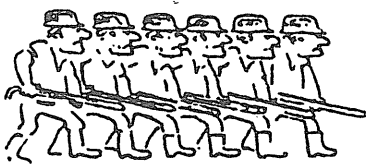
A medida que aumenta la temperatura del hormigón, aumentará también la velocidad de pérdida de asentamiento.

La Fig. 5, muestra la velocidad de pérdida de asentamiento para el mezclado prolongado de un hormigón dado a distintas temperaturas. Debemos tener en cuenta que, a las temperaturas más elevadas, hay menos tiempo disponible para el transporte, colocación y compactación del hormigón.

La contracción por secado observada en el hormigón, es producida principalmente por su contenido de agua. A medida que aumenta la temperatura y los requerimientos de agua, también aumentará la contracción por secado. Esto se muestra en la Fig. 6. Se observa que el aumento del contenido unitario del agua, determina una magnitud de contracción por secado mayor que la producida por el aumento del contenido de cemento.

Efecto del mezclado prolongado en el asentamiento





Efecto del contenido de agua sobre la contracción por secado

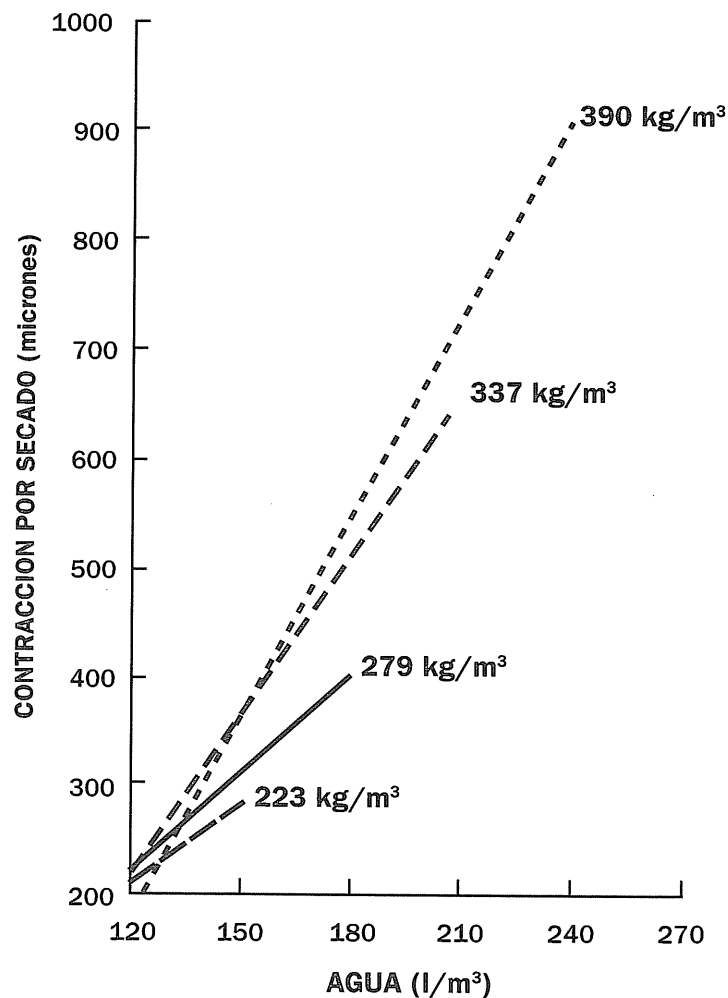


Figura 6

EFFECTOS DEL CLIMA

La velocidad a la cual el hormigón secará, depende de la temperatura del aire, de la temperatura del hormigón, de la humedad relativa ambiente, de la velocidad del viento, y del cociente entre el área expuesta y el volumen total del hormigón.

En tareas de hormigonado de losas, si se seca la superficie cuando el resto está aún en estado plástico, puede ocurrir la fisuración plástica. Este fenómeno de secado superficial y contracción puede ocurrir toda vez que la velocidad de evaporación del agua, desde la superficie del hormigón recién colocado, exceda su velocidad de exudación.

La Fig. 7 muestra el efecto de las temperaturas del hormigón y del aire, de la humedad relativa ambiente y velocidad del viento sobre la tendencia al secado del hormigón.

Evaporación del agua superficial del hormigón

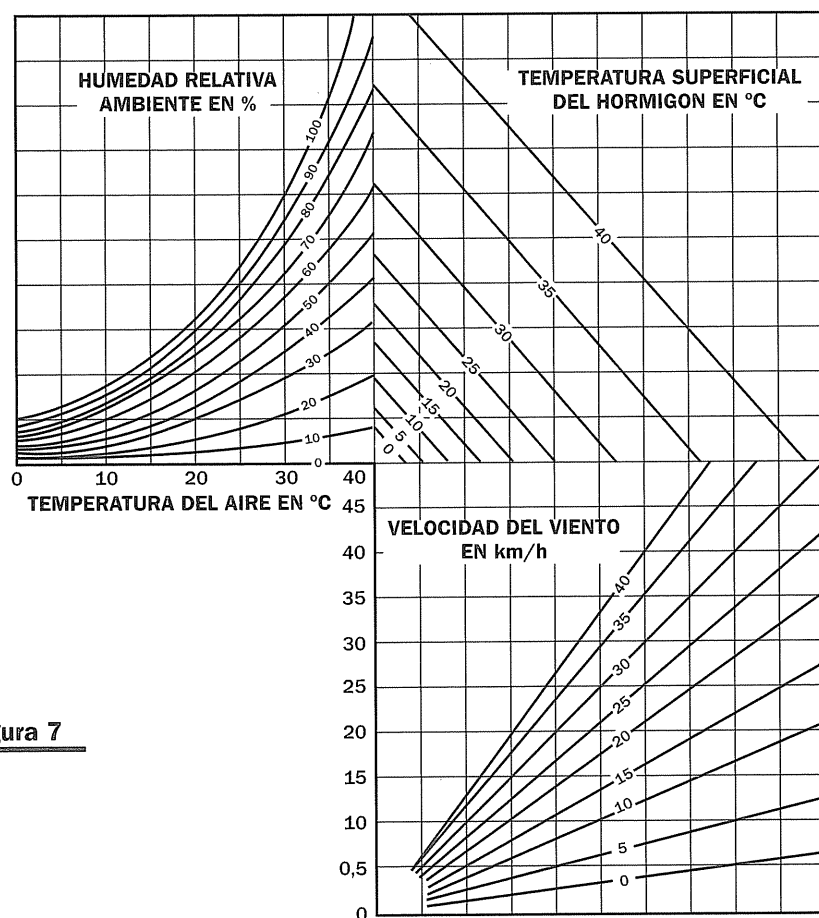


Figura 7

Para estimar la relación de la evaporación

1. Entre al gráfico con la temperatura y humedad ambiente.
2. Córrase hacia la derecha hasta la línea correspondiente a la temperatura del hormigón.
3. Baje hasta la línea que indica la velocidad aproximada del viento.
4. Lea en la escala de la izquierda la relación de evaporación.

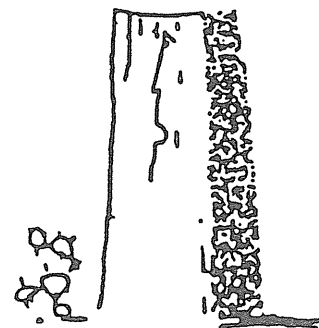
El hormigón está generalmente a salvo de la fisuración plástica, si la velocidad de evaporación es menor de 1 kg/m² hora.

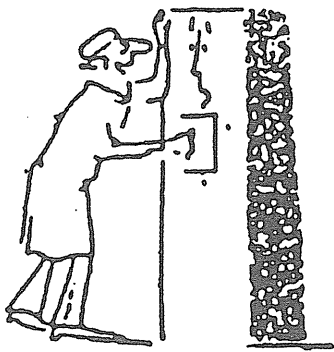
Después que el hormigón ha endurecido, pero mientras su resistencia a la tracción es aún baja, el secado puede provocar fisuración y agrietamiento. Fisuración puede ocurrir cada vez que tiene lugar un secado diferencial. Como ejemplo: hormigones colocados en encofrados metálicos, hojas de polietileno, etc., pueden secar solamente en la superficie. La superficie se contrae, pero el fondo de la losa no, dando lugar a fisuración o fisuración y agrietamiento.

Efecto del secado sobre la resistencia

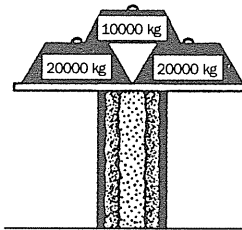
Si se permite que el hormigón seque después del endurecimiento, habrá insuficiente cantidad de agua para una adecuada hidratación, y se producirá una pérdida de resistencia. La velocidad de secado es afectada por las condiciones climáticas y la relación superficie expuesta/volumen.

La temperatura inicial del hormigón en sí misma afecta su resistencia. El hormigón mezclado, colocado y curado a temperaturas elevadas, normalmente desarrolla resistencias iniciales mayores que la de los hormigones producidos y curados a temperaturas normales; pero a 28 días o más, las resistencias son generalmente más bajas.

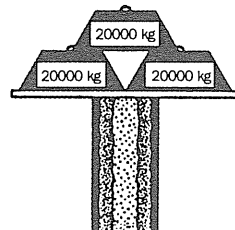




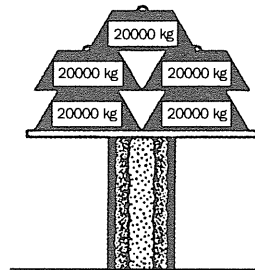
Efecto del tiempo de curado sobre la resistencia



Curado hasta 3 días
Aproximadamente mitad
de la resistencia
a 28 días



a 7 días
Aproximadamente 2/3
de la resistencia
a 28 días



a 28 días
100 %
de la resistencia
a 28 días

Figura 8

Mayores requerimientos de agua a temperaturas elevadas pueden ser compensados parcialmente mediante el empleo de aditivos retardadores-reductores de agua

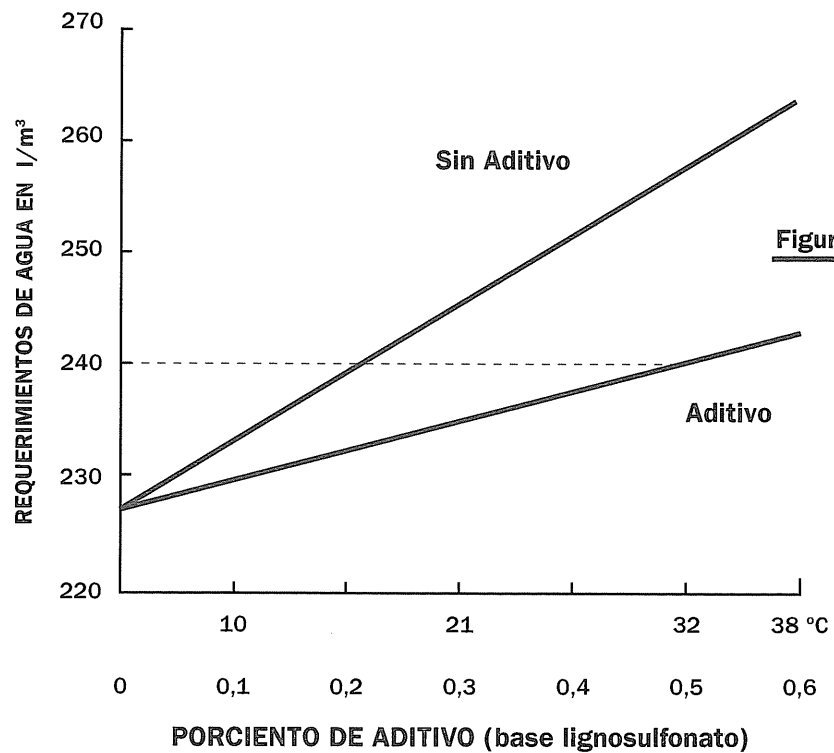


Figura 9

PRECAUCIONES EN TIEMPO CALUROSO

Nunca puede remediarse totalmente el daño provocado al hormigón por el clima caluroso.

Será necesario un juicio "ingenieril" competente para elegir el compromiso más apropiado entre la calidad, economía y practicidad.

Las precauciones a tomar dependerán tanto del tipo y tamaño de la obra, y de la experiencia y equipo de la industria local, como del clima en el lugar, temperatura pronosticada promedio, humedad relativa ambiente y velocidad del viento.

Estas precauciones, que han demostrado ser provechosas, no se plantean por orden de importancia.

Enfriamiento

Agregado

El mayor volumen del hormigón lo representan los agregados. Una reducción en la temperatura de los agregados da como resultado la mayor reducción en la temperatura del hormigón, de modo que habría que cubrirlos y rociar las pilas para crear un enfriamiento por evaporación (con agua a temperatura baja).

Agua

El agua posee el mayor efecto por unidad de peso entre todos los componentes del hormigón, poseyendo un calor específico 4 ó 5 veces mayor que el del cemento o de los agregados.

La temperatura del agua es más fácil de controlar que la de los otros materiales, y a pesar de que se emplea en menores cantidades que los otros, el uso de agua fría de mezclado efectuará una moderada reducción en las temperaturas de colocación del hormigón.

De modo que deberá enfriarse el agua de amasado, y mantenerla fría aislando cañerías y tanques.

Hielo

Si las condiciones de obra lo permitieran, puede agregarse hielo en cantidad de reemplazo de kilo por kilo del agua de mezcla.

El calor de fusión del hielo es de 80 Cal/gramo. Un reemplazo de 50 % del agua de amasado por hielo, reducirá la temperatura del hormigón en 11 °C, debido solamente a la fusión. El agua resultante a 0 °C bajará la temperatura aún más.

Aditivos

Existen en el mercado Aditivos duales retardadores y plastificantes para ampliar, mediante ensayos previos, el tiempo de fraguado normal. O sea, teniendo aditivos ya ensayados, lograr un tiempo de fraguado inicial de 2:30 a 3 h y un tiempo de fraguado final de 5 a 6 h.

Aditivos retardadores, postergarán el fragüe y reducirán la necesidad de agua, compensando parcialmente los efectos del tiempo caluroso sobre el asentamiento, fisuración, tiempo de fraguado y demanda de agua.

La Fig. 9 ilustra el efecto de la temperatura sobre los requerimientos de agua de dos hormigones. Notemos que variando el dosaje de un aditivo dual retardador; y reductor de agua (lignosulfonato), el efecto de la temperatura sobre los requerimientos de agua, se minimiza. El requerimiento de agua del hormigón con aditivo, a 32 °C, es el mismo que el del hormigón sin aditivo a 16 °C. Debe usarse el reductor de agua porque los retardadores solos no compensan la pérdida de asentamiento.

Tareas de obra

Debe programarse la frecuencia de entregas, de modo que haya una mínima demora en el uso del hormigón.

El mezclado genera calor, de manera que debe mantenerse el agitado o el mezclado a las mínimas revoluciones.

Cuando se coloca hormigón en moldes, deben enfriarse las armaduras y encofrados, rociándolos con agua. Debe efectuarse el hormigonado durante las horas de menor temperatura. Programar las operaciones durante las horas más frescas. Los efectos de la pérdida de asentamiento pueden ser minimizados acelerando las operaciones.

Debe colocarse el hormigón en capas de poco espesor, para asegurar que las capas previas todavía responderán al vibrado, evitando por lo tanto las uniones discontinuas.

En tareas de hormigonado de losas de pavimento, deben enfriarse las bases y las armaduras, rociándolas con agua.

Es aconsejable instalar pantallas protectoras contra el viento para disimular la velocidad del aire y utilizar rociadores de niebla para elevar la humedad y disminuir la temperatura.

Y, nuevamente, programar las operaciones de hormigonado hacia el atardecer o anochecer. Las fisuras por agrietamiento plástico son difíciles de cerrar una vez que han ocurrido. Tales fisuras pueden constituir puntos focalizados para otras formas de deterioro, ya que permiten penetrar en el hormigón, humedad y sales disueltas, y pueden afectar su comportamiento.

Curado

El efecto de tiempo de curado sobre la resistencia, puede apreciarse en la Fig. 8. El curado por agua es mejor, pero debe ser continuo, para evitar que se produzca el agrietamiento debido a cambios de volumen provocados por humedecimiento y secado alternados, mientras el hormigón está aún débil. Por ello es aconsejable iniciar el curado del hormigón de inmediato, una vez completa su colocación, terminación y adquirida suficiente rigidez como para no resultar afectado en su textura superficial por el método de curado elegido.

En caso de utilizar compuestos de curado, debe aplicarse un compuesto pigmentado blanco (IRAM 1675) tan pronto como sea posible.

Si se utilizan películas plásticas en el curado, deben ser del tipo blanco opaco. Películas transparentes provocarán un efecto de "invernadero".

No todas estas precauciones pueden usarse en cualquier proyecto, pero cada una ayudará y sus efectos son acumulativos. Con un conocimiento adecuado y las debidas precauciones, puede colocarse hormigón durante el tiempo caluroso.

HORMIGONADO EN TIEMPO FRÍO

Generalidades

Las prácticas constructivas que se aplican para el hormigonado en tiempo frío, tienen por objeto asegurar que el material desarrolle resistencia y condiciones de durabilidad tales que, tanto durante la puesta en servicio como a lo largo de su vida útil prevista, la estructura soporte en forma satisfactoria las exigencias a que será sometida.

Se designa como "Tiempo Frío" en lo que se refiere al hormigón, a todo aquél en que la temperatura ambiente es inferior a 4,5 °C. Este valor está fijado por la reacción química producida por la hidratación del cemento: por debajo del mismo, la reacción se detiene, lo que impide el desarrollo de la resistencia del hormigón en el tiempo.

Temperaturas por debajo de 0 °C pueden llevar a la destrucción parcial o total del hormigón debido a las fuertes tensiones de tracción que se originan al congelarse el agua contenida en la masa del material. En este aspecto, el hormigón resulta particularmente vulnerable cuando está fresco, es decir que aparte de carecer de la resistencia suficiente, contiene en su masa una gran cantidad de agua que aún no ha reaccionado con las partículas de cemento. A los fines prácticos, se considera que la saturación de agua ha disminuido lo suficiente cuando el hormigón alcanza una resistencia a la compresión superior a los 3,5 MPa (35 kg/cm²).

Pero las prácticas constructivas deben asegurar la protección del hormigón, no sólo en las primeras horas a contar desde su colocación en los moldes, sino que debe continuarse el cuidado para que alcance el desarrollo de la resistencia en el tiempo a los valores requeridos por el proyecto.

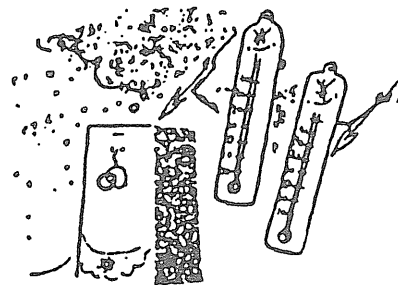
La temperatura ambiente de 4,5 °C resulta pues el valor tope superior a partir del cual, y según baje la temperatura, deberán tomarse distintas medidas de protección del hormigón.

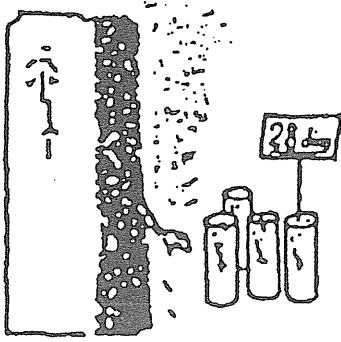
En general, en las distintas regiones del país y según la época del año, es posible predecir las variaciones de temperatura ambiente que puedan afectar a una obra y, en particular, la posibilidad de que se produzcan heladas. Y de acuerdo a los valores de temperaturas mínimas que se prevean, deberán ser los medios de protección a emplear.

Protección del hormigón expuesto a la acción de las bajas temperaturas

La protección efectiva del hormigón para defenderlo del frío, consiste básicamente en mantenerlo a una temperatura y con un tenor de humedad que asegure el desarrollo de la resistencia y la durabilidad en el tiempo.

En la Fig. 1, puede apreciarse la evolución de la resistencia de un hormigón dosificado con cemento Portland normal para distintos valores de temperatura de curado.





Desarrollo de la resistencia del hormigón a distintas temperaturas de curado

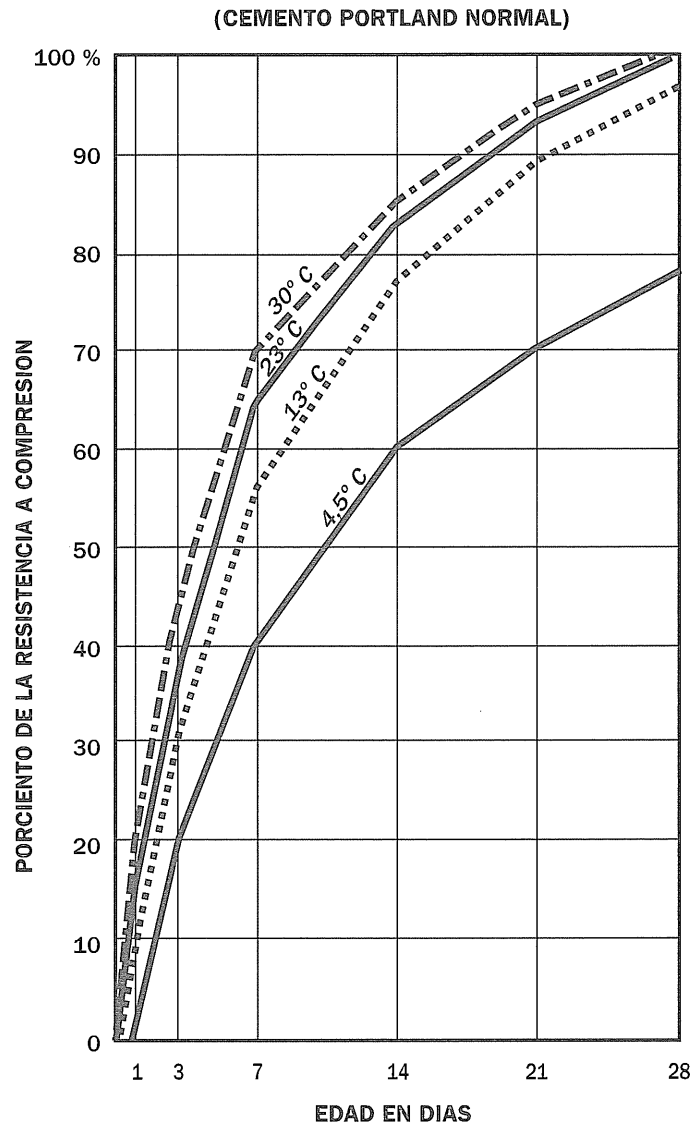


Figura 1

Un hormigón preparado con cemento de uso común que, además sea ARI (de alta resistencia inicial), puede desarrollar resistencias a la compresión más elevadas a edades tempranas.

También, un más rápido desarrollo de la resistencia se obtiene con la reducción de la relación agua/cemento. Y esta reducción del contenido de agua tiene un efecto adicional en el caso del frío, ya que reduce la exudación y con ello la evaporación, factor éste último que también hace bajar la temperatura en la superficie del hormigón. La relación agua/cemento puede bajarse agregando más cemento o usando algún aditivo reductor de agua de amasado. La exudación puede reducirse usando aditivos incorporadores de aire.

Otro factor que debe ser tenido en cuenta, es el agregado de algún aditivo acelerador de resistencia inicial que no sea cloruro de calcio.

En el caso del uso simultáneo de distintos tipos de aditivos, debe asegurarse que sean compatibles entre sí.

El curado posterior al fraguado que mantenga el hormigón con un elevado tenor de humedad, es también un importante medio para obtener un más rápido desarrollo de la resistencia.

De todo esto surge, que el primer elemento de protección contra el frío está en el hormigón mismo, en una cuidada dosificación y curado para conservar el calor de hidratación.

A medida que las temperaturas ambiente van haciéndose más bajas, pueden ser necesarios otros elementos de protección adicionales, todos tendientes a mantener en forma permanente un determinado nivel térmico en el hormigón, sin pérdidas de humedad. Esto se consigue, inicialmente, manteniendo en el momento de la colocación una temperatura del hormigón por encima de la temperatura ambiente.

La tabla que se incluye a continuación relaciona ambas temperaturas: la del hormigón, con una temperatura ambiente para distintos tipos de estructuras:

Relación entre la temperatura ambiente y la del hormigón durante la colocación

Temperaturas Ambiente	Mínima dimensión de la estructura en centímetros			
	Sección delgada - de 30	Sección mediana 30 a 90	Sección grande + de 90 a 180	Hormigón masa + de 180
Encima de -1 °C	15,5 °C	13 °C	10 °C	7 °C
De -1° C a -17,5 °C	18 °C	16 °C	13 °C	10 °C
Debajo de -17 °C	21 °C	18 °C	16 °C	13 °C
Caída gradual máxima de temperatura aceptable 24 horas después de finalizar el período de protección	28 °C	22 °C	17 °C	11 °C

Para alcanzar estas temperaturas del hormigón en el momento de su elaboración, puede ser necesario calentar previamente los materiales componentes. La ecuación térmica correspondiente es la siguiente:

$$T = \frac{0,22 \times C \times T_c + 0,22 P \times T_p + 0,22 Ar \times T_{Ar} + W_p \times T_p + W_{Ar} \times T_{Ar} + Ag \times T_{Ag}}{0,22C + 0,22P + 0,22 Ar + W_p + W_{Ar} + Ag}$$

Donde: **C**: peso del cemento; **T_c**: temperatura del cemento; **P**: peso de la piedra; **T_p**: temperatura de la piedra; **Ar**: peso de la arena; **T_{Ar}**: temperatura de la arena; **W_p**: peso de la humedad de la piedra; **W_{Ar}**: peso de la humedad de la arena; **Ar**: Peso del agua de amasado; **T_{Ag}**: temperatura del agua de amasado.

De todos los materiales, el agua de amasado resulta más fácil de calentar, e incorpora a la mezcla más calorías que los demás individualmente considerados (Ver Anexo I). En la Fig. 2 puede apreciarse para un caso particular, el efecto del agregado de agua caliente de amasado sobre la temperatura final del hormigón. La temperatura del agua, a veces resulta insuficiente ya que no puede elevarse por encima de 85 °C, pues su contacto con el cemento puede producir acciones indeseables en el hormigón. Por ello suele ser necesario calentar también los agregados, para lo cual existen distintos métodos. Si se calientan agua y agregados, deben ser mezclados en la hormigonera previamente a la incorporación del cemento, para que cuando se agregue éste, la temperatura en la máquina no supere los 27 °C. Temperaturas más elevadas llevarán a pérdida de asentamiento del hormigón y al fraguado brusco, que originaría fisuras y juntas de trabajo no previstas.

Modificación de la temperatura del hormigón fresco por agregado del agua de amasado en caliente

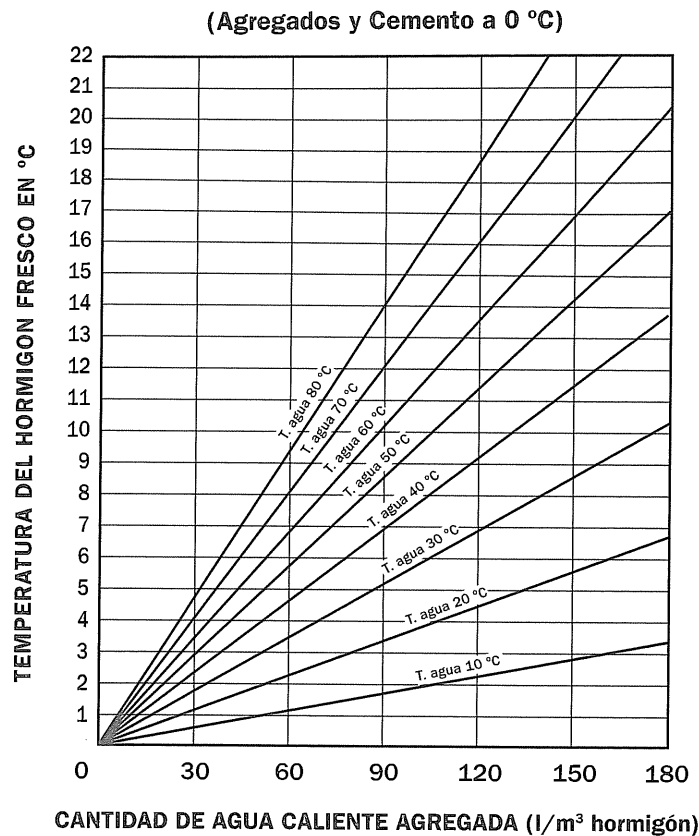
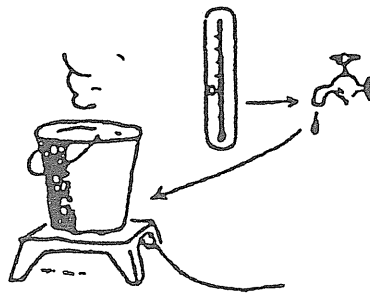


Figura 2

Pero no debe partirse solamente de una temperatura elevada en el momento de la colocación, sino que a continuación y, mientras dure el período de protección (e inclusive de curado), debe evitarse su caída brusca, lo que podría significar serios daños para la estructura. En la tabla siguiente pueden apreciarse las temperaturas a que es conveniente mantener el hormigón durante el período de protección:

Temperatura del hormigón fresco durante el período de protección

	Mínima dimensión de la estructura en centímetros			
	Sección delgada - de 30	Sección mediana 30 a 90	Sección grande + de 90 a 180	Hormigón masa + de 180
Encima de -1 °C	13 °C	10 °C	7 °C	5 °C

Para evitar daños al hormigón, debe mantenerse a temperaturas de protección de la tabla anterior, durante los períodos que se indican en la tabla siguiente:

Tiempo mínimo de protección durante el tiempo frío con la temperatura de protección

Situación de servicio de la estructura	Únicamente para prevenir daños por heladas		Para seguridad de la resistencia prevista	
	Cemento normal	Cemento, (*) A.R.I.	Cemento Normal	Cemento, (*) A.R.I.
No cargada / No expuesta al aire	2 días	1 día	2 días	1 día
No cargada / Expuesta al aire	3 días	2 días	3 días	2 días
Parcialmente cargada Expuesta al aire	3 días	2 días	6 días	4 días
Carga total / Expuesta al aire	3 días	2 días	6 a 4 días previa verificación de la resistencia con testigos dejados al aire en obra	

(*) O agregar 60 kg. de cemento normal por m³.

* de uso común, ARI

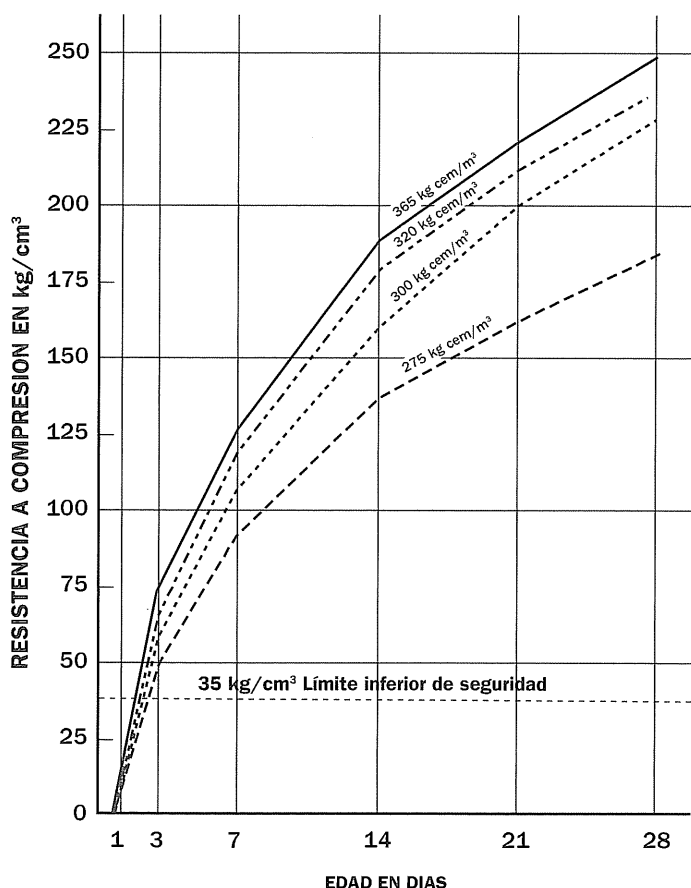
Prácticas constructivas recomendables a medida que bajan las temperaturas

- Controlar sistemáticamente la temperatura ambiente y de los materiales.
- Cuando la temperatura ambiente es mayor de 4,5 °C, estacionaria o con tendencia a aumentar: se puede hormigonar sin tomar precauciones especiales, si bien al acercarse a esta temperatura límite debe acentuarse el cuidado del curado del hormigón.
- Cuando la temperatura ambiente se encuentra entre 4,5 y 0 °C, sin tendencia a disminuir:

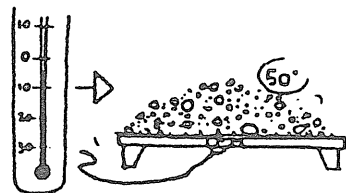
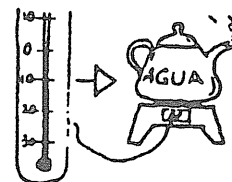
- Verificar que los agregados no contengan escarcha o nieve, ni estén congelados.
- Verificar que los encofrados o la sub-rasante (en el caso de pavimentos) donde va a hormigonarse no tengan escarcha o estén congelados.
- Emplear cemento Portland normal u otro cemento que tenga alta resistencia inicial, evitando el uso de cementos de bajo calor de hidratación (Ver Fig. 3).



Desarrollo de la resistencia de un hormigón para distintas cantidades unitarias de cemento portland normal / temperaturas de curado 4,5 °C



- Aumentar la cantidad unitaria de cemento en base a las pérdidas de resistencia que se prevean por la acción del frío.
- Evitar todo exceso de agua de amasado en la mezcla.
- Utilizar aditivo acelerador de resistencia inicial si la obra lo permite.
- Cubrir con láminas de polietileno o materiales similares las superficies horizontales expuestas a la intemperie, para evitar pérdidas de calor y humedad.
- No tener en cuenta, para el tiempo de encofrado, los días en que la temperatura promedio fue inferior a 4,5 °C.





Cuando la temperatura ambiente se encuentra entre 0 y -5 °C sin tendencia a disminuir:

- a) No iniciar el hormigonado si no se cuenta con los elementos de protección aconsejables.
- b) Usar aditivo acelerador de fraguado.
- c) Usar aditivo reductor de agua de amasado e incorporador de un 4 % de aire.
- d) Reducir al mínimo el agua de amasado compatible con la trabajabilidad que requiere la obra. Esto puede conseguirse usando medios de compactación más enérgicos.
- e) Tapar los agregados, en especial durante las horas más frías de la noche y mañana, o almacenarlos bajo techo e inclusive calentarlos si la situación lo requiere.
- f) Calentar el agua de amasado en las condiciones ya descritas.
- g) Tener en cuenta que cuanto mayor sea la relación entre la superficie de evaporación y el volumen total de hormigón, tanto mayor será la sensibilidad del material al frío.
- h) Tomar precauciones especiales de colocación y curado para elementos estructurales delgados.
- i) Proteger las superficies expuestas del hormigón fresco contra el frío y la desecación, tapándolas con pliegos de polietileno, lonas, papel, fieltros o cartones asfálticos, etc. (Ver Fig. 4).

Pérdida de temperatura del hormigón por la acción del frío, columnas protegidas y sin protección

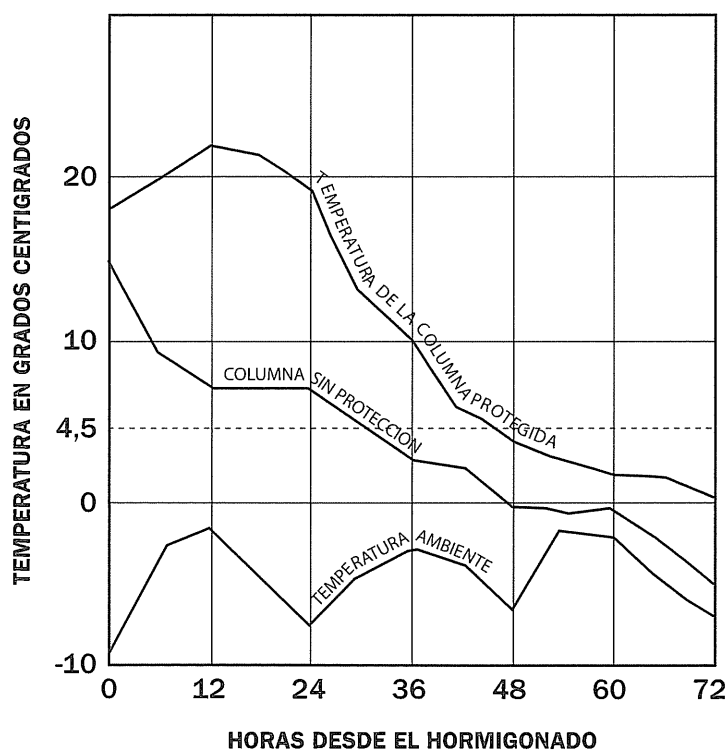


Figura 4

- j) Evitar largos recorridos de los motohormigoneros; esperas en obra antes de la descarga; largos recorridos de carritos o canaletas demasiado largas; es decir, todo lo que signifique una demora para el hormigón entre su elaboración y su colocación definitiva en los encofrados.

k) Usar encofrados de madera gruesa o isotérmicas dobles. No usar encofrados metálicos, salvo que se disponga un sistema de calentamiento de los mismos.

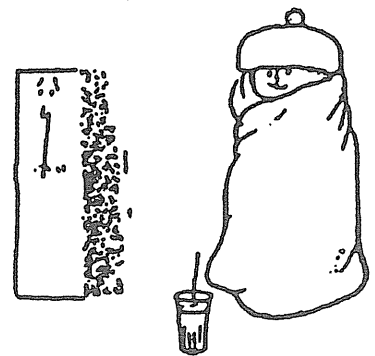
l) No agregar al hormigón sales u otros productos destinados a descongelar los agregados.

m) No hormigonar sobre otro hormigón que haya sido dañado por la helada; el material dañado debe ser retirado de la obra como un desperdicio.

n) No suspender la acción de los medios de protección hasta tanto no se tenga la certeza que los valores de resistencia estén acorde con las necesidades de seguridad y durabilidad de la estructura.

ñ) En todos los casos puede ser una importante ayuda el curado con vapor de agua. Para ello debe envolverse la estructura en una especie de carpa o bolsa que permita la distribución del vapor, de modo que se obtenga uniformidad de temperatura en los distintos sectores. Es una forma de curado ideal, ya que no sólo aumenta la temperatura del aire que está en contacto con la superficie del hormigón, sino que hace un importante aporte de humedad para el curado.

o) Membrana de Curado: una vez terminado el período de protección con curado húmedo y luego que la temperatura ambiente supere el punto de congelación, pueden utilizarse membranas de curado formadas por vaporización de productos líquidos.



- Cuando la temperatura ambiente está por debajo de los -5°C deben tomarse todas las precauciones indicadas y además, según sea el caso, deben poder mantenerse las estructuras artificialmente tibias mediante el uso de elementos calefactores durante el tiempo que sea indispensable, para obtener el crecimiento de resistencia necesario sin posibilidad de oscilaciones bruscas de la temperatura y humedad de la estructura. Habrá que estudiar el costo de la inversión a efectuar en sistemas de protección y elementos de calefacción, el que será justificado por la importancia de la obra. De acuerdo a las necesidades de protección, puede irse desde el simple recubrimiento de las estructuras con los elementos ya mencionados, hasta la formación de una verdadera carpa que cubra totalmente la estructura y reciba calefacción integral. La calefacción puede hacerse mediante quemadores industriales de combustibles líquidos, ventiladores calefactores con motor a explosión, estufas tipo salamandra alimentadas con carbón de leña o mineral o con combustibles líquidos, etc.

- Al usar cualquier tipo de calefactor debe prevenirse la posible pérdida de humedad del hormigón en su zona de acción. En general, los calefactores que queman combustibles líquidos o sólidos, producen dióxido de carbono, por lo que no deben usarse hasta por lo menos 24 horas después de hormigonado, salvo que exista una buena ventilación que asegure la eliminación del gas. El dióxido de carbono se combina con el hidróxido de calcio del hormigón fresco, formando en la superficie una capa débil de carbonato de calcio, que al ser ligeramente raspada se convierte en polvo. Otro cuidado a tener cuando se utilizan sistemas de calefacción, es que no se produzcan grandes variaciones de temperatura entre distintas zonas de la estructura, lo que puede producir daños a la misma. Una adecuada ventilación y circulación del aire en la zona caldeada, soluciona el problema.

- Por debajo de -10°C no es conveniente hormigonar, salvo que se trate de hormigón masa al que se pueda asegurar, en especial en esquinas y paramentos a la intemperie, con medios de protección para evitar bruscas caídas de temperatura y humedad.

ANEXO 1**CALENTAMIENTO DE AGUA DE AMASADO**

Temperatura ambiente:	-5 °C
Dosificación del hormigón para:	1 m ³
Cemento normal:	375 kg
Agregado grueso:	1.130 kg
Agregado fino:	720 kg
Humedad agregado grueso:	11 litros
Humedad agregado Fino:	22 litros

Ejemplo de aplicación:

Agua de amasado:	132 litros
Temperatura del cemento en silos:	22 °C
Temperatura del agregado grueso (tapado con lonas):	- 2 °C
Temperatura del agregado fino (tapado con lonas):	- 2 °C
Temperatura del agua de amasado calentada a:	80 °C

Aplicamos los valores directamente a la fórmula:

$$T = \frac{0,22 \times 375 \times 22 + 0,22 \times 1130 \times (-2) + 0,22 \times 720 \times (-2) + 11 \times (-2) + 22 \times (-2) + 132 \times 80}{0,22 \times 375 + 0,22 \times 1130 + 0,22 \times 720 + 11 + 22 + 132}$$

La temperatura del hormigón T= 17,5 °C

FISURAS EN EL HORMIGÓN

La naturaleza del hormigón, el proceso de hidratación del cemento y las acciones atmosféricas, hacen que las fisuras estén consustanciadas con el mismo.

Las fisuras, son roturas que aparecen generalmente en la superficie del hormigón, por la existencia de tensiones superiores a su capacidad de resistencia. Cuando la fisura atraviesa de lado a lado el espesor de una pieza, se convierte en grieta. ¿Cuál es la diferencia práctica entre una fisura y una grieta? La fisura "no trabaja", y si se la cierra con algún método simple no vuelve a aparecer. La grieta en cambio, "si trabaja", y para anularla hay que eliminar el motivo que la produjo y además ejecutar trabajos especiales para "soldarla".

Las fisuras se originan en las variaciones de longitud de determinadas caras del hormigón con respecto a las otras, y derivan de tensiones que desarrolla el material mismo por retracciones o entumecimientos que se manifiestan generalmente en las superficies libres.

Identificación de las grietas

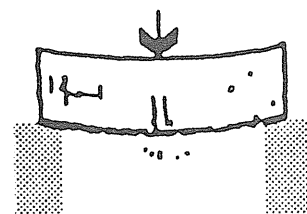
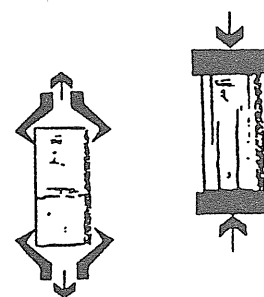
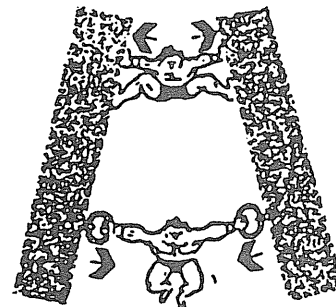
- Grietas paralelas a la dirección del esfuerzo, se producen por esfuerzo de compresión. Son muy peligrosas, especialmente en columnas porque "no avisan", ya que son producto de un agotamiento de la capacidad de carga del material, y el colapso puede producirse en cualquier momento.
- Grietas normales a la dirección del esfuerzo, indican que éste es de tracción.
- Grietas verticales en el centro de la luz de una viga, en las secciones de máximos momentos flectores, se originan en esfuerzos de flexión y se deben generalmente a armaduras insuficientes.
- Grietas horizontales o a 45° en vigas, son debidas al esfuerzo de corte y se deben a secciones insuficientes de hormigón en los apoyos, y/o secciones insuficientes de armaduras de refuerzo en estribos y en hierros doblados en los apoyos.
- Grietas que van rodeando la pieza de hormigón con una tendencia a seguir líneas a 45° , son debidos a esfuerzos de torsión y denotan armaduras de refuerzo insuficientes para contrarrestarlos.

Reparación de las grietas

Por su naturaleza misma, ya que son debidas generalmente a fallas de diseño con insuficientes secciones de hormigón y/o armaduras de refuerzo, exigen trabajos importantes que incluyen el recálculo de la estructura dañada y luego refuerzo de la misma, u otras medidas que escapen a este trabajo.

TEMA

15



Fisuras

Pueden producirse por esfuerzos originados en la retracción térmica o hidráulica.

La retracción térmica se produce por una disminución importante de la temperatura en piezas de hormigón cuyo empotramiento les impide los movimientos de contracción, lo que origina tensiones de tracción que el hormigón no está capacitado para absorber. En general, no conllevan riesgos estructurales y deben ser estudiados caso por caso, por ser atípicos.

Hay una fisura muy común que se produce en la parte superior de las vigas siguiendo la línea de los estribos. Se debe al calentamiento de los hierros por el sol, que hace perder la humedad a la mezcla en la zona de contacto con los mismos.

Las fisuras por retracción hidráulica, pueden ser por "contracción de fraguado" o por "secado lento" del hormigón.

Las más comunes son las de "contracción por fraguado", que se producen en losas no muy gruesas y de espesor uniforme (pavimentos, losas de entrepisos y techos de edificios, etc.) por la rápida desecación superficial con relación a la masa por la acción del sol, la humedad relativa, y especialmente del viento, o por la combinación de ambos, estas fisuras aparecen en la superficie en forma de "viboritas", ubicadas al azar y orientados en cualquier dirección.

Las fisuras por "secado lento" del hormigón aparecen en piezas estructurales cuyos movimientos de retracción están impedidos por su empotramiento o, en el caso de los pavimentos, por su adherencia al terreno. En éstos, si no se les hacen las juntas de contracción con las separaciones adecuadas, aparecen espontáneamente, a intervalos regulares, en dirección normal al sentido de marcha y de un espesor regular.

Fisuras de entumecimiento

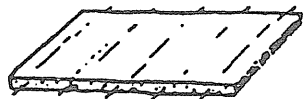
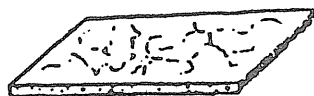
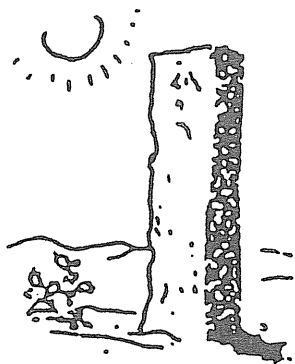
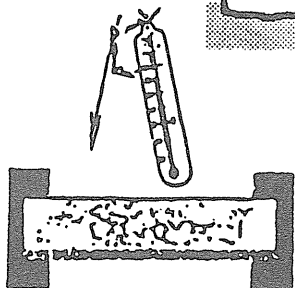
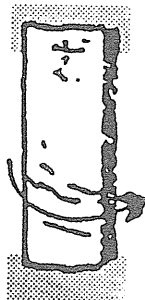
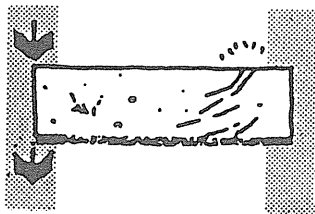
Son provocadas por un aumento del volumen del hormigón que puede deberse a materiales expansivos incluidos en la masa. Las más conocidas son las expansiones producidas por la reacción álcali agregado (Alcali-sílice) que destruyen velozmente la estructura; y otras más lentas como el ataque por sulfatos, la oxidación de los hierros de refuerzo o elementos férricos empotrados en la masa del hormigón, y el efecto de congelación y deshielo.

Fisuras más comunes en obra y cómo evitarlas

La más común del hormigón de todos los días, es la fisura por contracción de fraguado, también conocida como "contracción plástica" que afecta, como ya dijimos, a losas de pavimentos y de edificios. Las clásicas "viboritas" pueden alcanzar profundidades de hasta 25 mm y se producen en cualquier orientación.

Pueden evitarse o disminuir su aparición con las siguientes acciones en obra y en la planta de hormigón elaborado.

- Abundante riego previo de la base en pavimentos, y de los encofrados en losas de edificios.
- Empleo de agregados previamente humedecidos.
- Evitar o tratar de compensar la evaporación superficial rápida, con medidas de protección y curado, acordes con cada obra y situación climática particular.
- Evitar un exceso de finos en los agregados del hormigón.
- Evitar exceso de agua de mezclado.

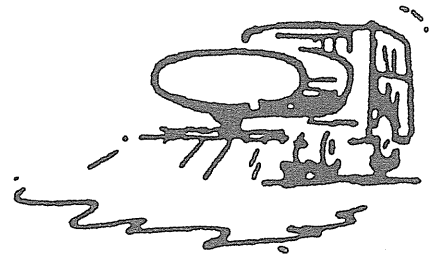
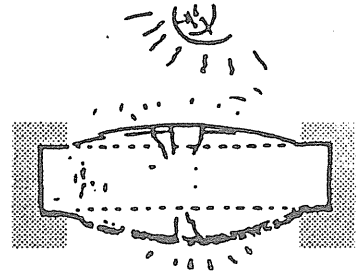


- Evitar el uso de cemento de fraguado o endurecimiento rápido en situaciones climáticas desfavorables.
- Usar aditivos químicos fluidificantes o retardadores de fraguado que permitan disminuir la necesidad de agua de mezclado y la caída del asentamiento en el Cono de Abrams antes de descargar.
- No echar agua sobre el hormigón para facilitar la tarea de terminación.
- Establecer un plan de ejecución de las juntas de contracción y construcción, y cumplirlo estrictamente.

Reparación de las fisuras superficiales de "contracción de fraguado"

En muchas oportunidades y con determinadas condiciones climáticas, resulta prácticamente imposible evitar este tipo de fisuración.

Tiempo caluroso con varios días por encima de 30 °C, vientos secos sostenidos y baja presión atmosférica, hacen que la fisuración se desarrolle aun antes de haberse secado totalmente el agua de exudación de la superficie del hormigón. Es un caso extremo en que la experiencia indica que hay que dejar que la fisuración se produzca, y completar con la terminación normal. Luego que terminó el proceso de fraguado (alrededor de 5 horas después de la terminación y hasta 24 horas después) pueden repararse las fisuras preparando una lechada rica en cemento Portland, con una consistencia que le permita penetrar en las fisuras llenándolas íntegramente; se las rellenará manualmente ayudándose con un cepillo o escoba. Luego que seque este material, se procederá al curado normal de la estructura tal como se tenía previsto. Con este tratamiento, la fisura desaparecerá definitivamente.



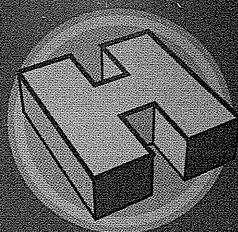
INDICE



INDICE

TEMA 1 /	CARACTERISTICAS DEL HORMIGON ELABORADO	5 - 9
TEMA 2 /	CARACTERISTICAS Y USOS PRACTICOS DE LOS CEMENTOS NORMALIZADOS EN LA ARGENTINA. CUIDADOS Y LIMITACIONES DE CADA UNO DE ELLOS.	10 - 14
TEMA 3 /	USO DE AGREGADOS DE HORMIGON EN RELACION CON LA OBRA.	15 - 16
TEMA 4 /	ADITIVOS QUIMICOS Y ADICIONES.	17 - 20
TEMA 5 /	RESISTENCIA DEL HORMIGON ELABORADO. SU MEDICION Y EVALUACION DE RESULTADOS. COMO INFLUYEN EN LA RESISTENCIA LOS MATERIALES, LA DOSIFICACION, LA OPERACIÓN Y PUESTA EN OBRA DEL HORMIGON Y LOS METODOS DE ENSAYOS.	21 - 24
TEMA 6 /	PROCEDIMIENTO CORRECTO PARA TOMAR MUESTRAS DE HORMIGON ELABORADO FRESCO EN OBRA.	25 - 26
TEMA 7 /	FORMA DE MEDIR LA CONSISTENCIA DEL HORMIGON SEGÚN NORMA IRAM 1536 - HORMIGON FRESCO DE CEMENTO PORTLAND - METODO DE ENSAYO DE LA CONSISTENCIA UTILIZANDO EL TRONCO DE CONO DE ABRAMS.	27 - 28

TEMA 8 /	MANERA CORRECTA DE CONFECCIONAR Y CONSERVAR LAS PROBETAS CILINDRICAS DE HORMIGON HASTA EL MOMENTO DEL ENSAYO DE ROTURA POR COMPRESION (Ver Norma IRAM 1524).	29 - 30
TEMA 9 /	COMO RECONOCER UNA MALA FABRICACION DE PROBETAS CILINDRICAS DE HORMIGON. (Ver Norma IRAM 1524 y 1553).	31 - 32
TEMA 10 /	COMO PEDIR EL HORMIGON ELABORADO.	33 - 35
TEMA 11 /	EL EXCESO DE AGUA DE MEZCLADO ELEVA EL COSTO DEL HORMIGON.	36 - 37
TEMA 12 /	CUIDADOS A TENER CON EL HORMIGON ELABORADO EN LAS OPERACIONES DE OBRA TALES COMO: DESCARGA DESDE EL MOTOHORMIGONERO/ TRANSPORTE INTERNO/ COLOCACIONES DE LOS MOLDES/ COMPACTACION/ PROTECCION Y CURADO.	38 - 40
TEMA 13 /	HORMIGONADO EN TIEMPO CALUROSO.	41 - 50
TEMA 14 /	HORMIGONADO EN TIEMPO FRIO.	51 - 58
TEMA 15 /	FISURAS EN EL HORMIGON.	59 - 61



HORMIGONAR

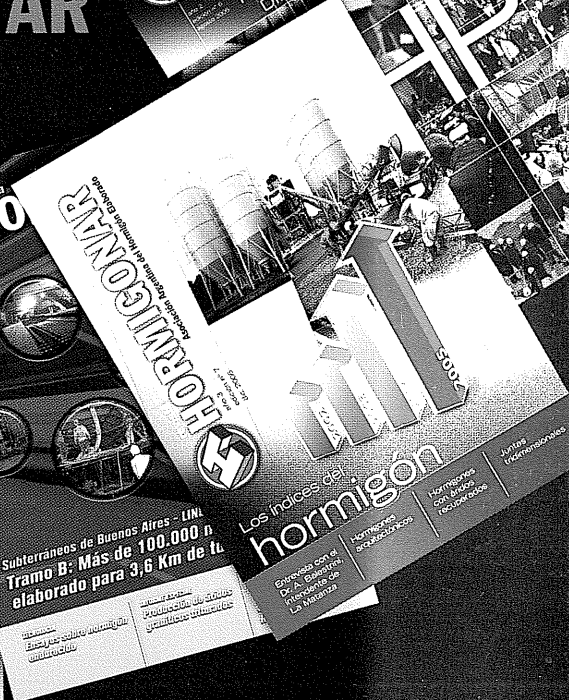
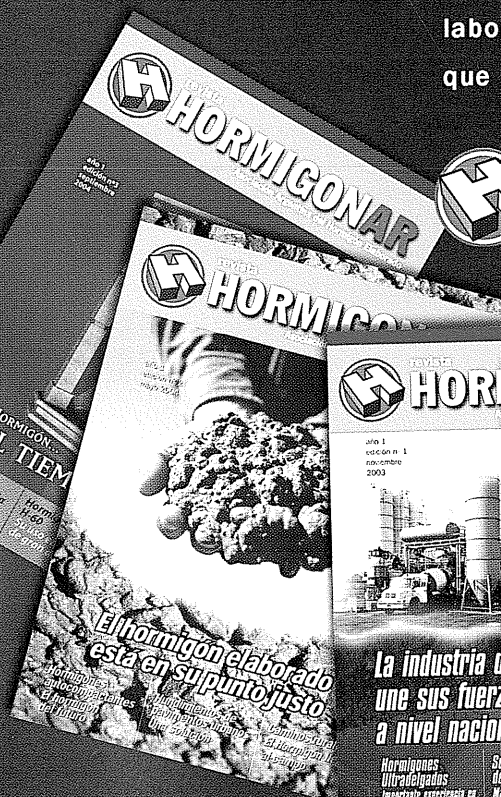
La REVISTA HORMIGONAR es una publicación cuatrimestral de distribución gratuita, dirigida a empresas constructoras, productores de hormigón elaborado, profesionales independientes y diversas entidades como asociaciones, cámaras y consejos que los agrupan, así como también a universidades, laboratorios, municipios y entes gubernamentales que utilizan, controlan o difunden el hormigón.



Revista
HORMIGONAR

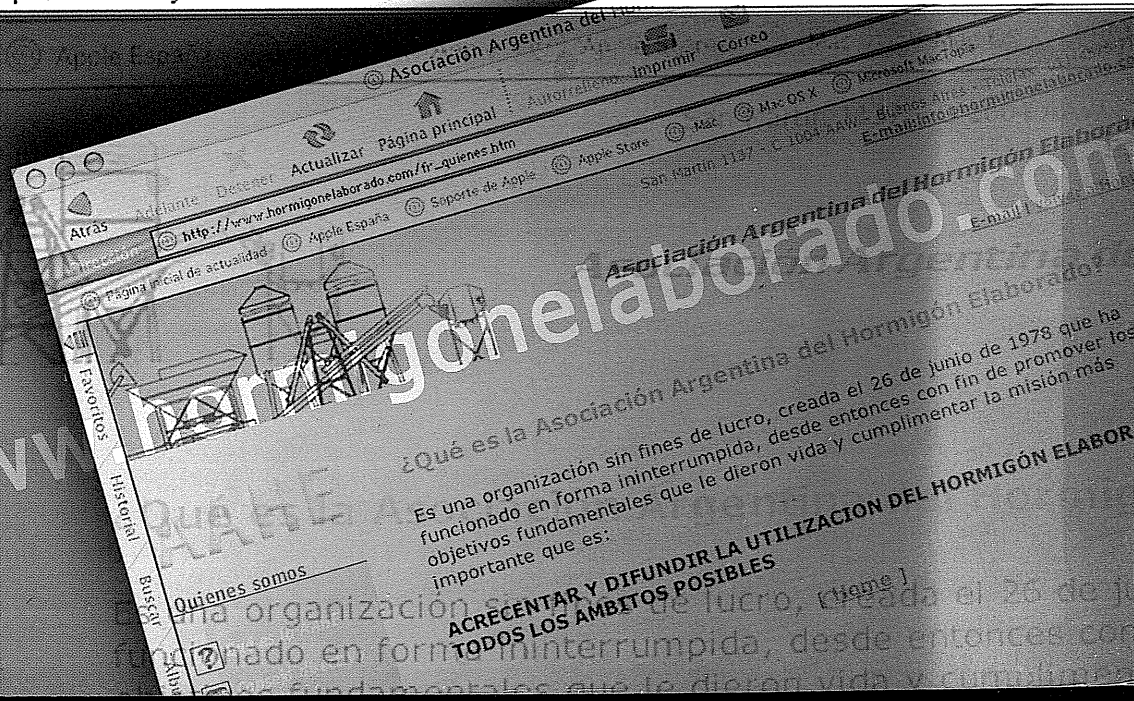


revista **HORMIGONAR**
Asociación Argentina del Hormigón Elaborado
REUNION DEL CONSEJO
DIRECTIVO DE LA FIHP
MAYO 2004

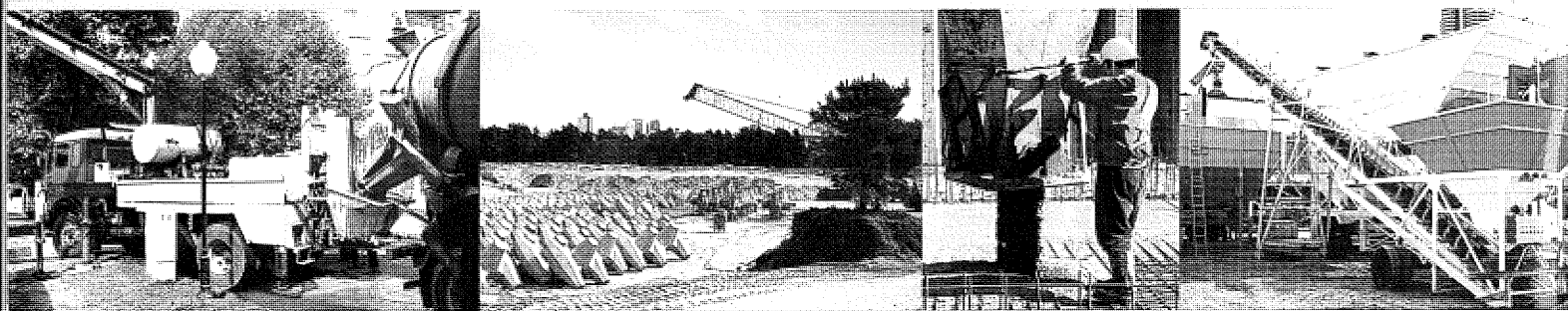


<http://www.hormigonelaborado.com>

Dirección: <http://www.hormigonelaborado.com/>



Manual de uso del Hormigón Elaborado



ASOCIACION
ARGENTINA del
HORMIGON
ELABORADO

Publicación de la Asociación Argentina del Hormigón Elaborado / Edición 2006

San Martín 1137 / Piso 5to. (C1004AAW) Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Tel./Fax: (54-11) 4576-7194 / e-mail: aahe@elsitio.net / www.hormigonelaborado.com



MIEMBRO DE
FEDERACION
IBEROAMERICANA
DEL HORMIGON
PREMEZCLADO



www.hormigonelaborado.com