

Serie Estándares Técnicos de Construcción

Manual de Buenas Prácticas de

Ensayos de Hormigón



MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS DE ENSAYOS DE HORMIGÓN

VERSIÓN OFICIAL
MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO
2023





Bajo licencia Creative Commons:

Se permite la redistribución de este contenido, siempre y cuando: se reconozca al autor de la obra, no se haga uso comercial y no se ejecuten obras derivadas

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Gobierno de Chile.
Santiago, octubre de 2023

Colección: Monografías y Ensayos

Serie N° 5: Estándares Técnicos de Construcción

Título: MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS DE ENSAYOS DE HORMIGÓN

Autor: Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Minvu) y Comisión de Construcción del Hormigón del Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH)

Editor: División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional, Ditec (Minvu)

Coordinación editorial y redacción: Susana Jara Díaz (Minvu)

Coordinación Técnica: Susana Jara Díaz (Minvu)

Elaboración Técnica: Comité Técnico Materiales y Laboratorio del ICH

Diseño y diagramación: Marcelo Godoy Rioseco (Minvu)

Corrección de prueba y estilo: Jorge Silva Herrera (Minvu)

Desarrollado por: Departamento de Tecnologías de la Construcción de la Ditec (Minvu) y Comité Técnico Materiales y Laboratorio del ICH

Asesores Minvu: Susana Jara Díaz, Claudio Hernandez Jones

Colaboradores: Comité Técnico Materiales y Laboratorio del ICH

Agradecimientos especiales: Comisión de Construcción del Hormigón del ICH

CONTENIDO

SALUDO	9
PREÁMBULO	10
PRÓLOGO	12
GRADOS G.....	14
ANOMALÍAS NO REPRESENTATIVAS QUE GENERAN BAJAS RESISTENCIAS	14
EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DEL HORMIGÓN FRESCO (NCH171)	18
CONSIDERACIONES GENERALES	19
CONDICIONANTES DE LA NORMA	19
MUESTREO.....	20
CONDICIONES DEL ENTORNO.....	20
EXTRACCIÓN DE MUESTRAS	22
DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL HORMIGÓN Y MEDIOAMBIENTE.....	24
DETERMINACIÓN DE LA DOCILIDAD / MÉTODO DE ASENTAMIENTO DEL CONO DE ABRAMS (NCH1019)	26
GENERALIDAD	27
NORMA Nch1019	30
PROCEDIMIENTO.....	31
MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO DE CONO	33
APARATOS PARA ENSAYO DE DOCILIDAD	33
CONFECCIÓN Y CURADO EN OBRA DE PROBETA PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN (NCH1017)	38
APARATOS	39
REQUISITOS PREVIOS	40
COMPACTACIÓN DEL HORMIGÓN	46
ENRASE Y ALISADO	52
IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS	52

CURADO INICIAL DE PROBETAS EN OBRA	54
DESMOLDE Y TRASLADO DESDE LA OBRA HASTA EL LABORATORIO.....	63
CURADO DURANTE LA ESTADÍA EN EL LABORATORIO	67
REFRENTADO DE PROBETAS (NCH1172).....	70
RECTIFICADO DE PROBETAS DE HORMIGÓN	75
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NCH1037)	78
APARATOS	79
ACONDICIONAMIENTO DE LAS PROBETAS	82
ENSAYO	84
EXPRESIÓN DE RESULTADOS	91
TABLA RESUMEN DE ASPECTOS RELEVANTES.....	92

"Este Manual si bien no reemplaza las normas de ensayos, sí incorpora contenido técnico y recomendaciones que ciertamente pueden ser de mucha utilidad para los profesionales y entidades que se encuentran involucrados en el proceso de los controles de hormigones y ensayos."

En este último tiempo, como ministerio, hemos realizado un intenso trabajo de la mano de diferentes actores con el objetivo de incorporar una visión de desarrollo mucho más sostenible que contemple un modelo de urbanización que, no solo nos permita la construcción de ciudades socialmente más integradas y conectadas, sino también, sumar nuevas tecnologías de construcción que sumen mayores estándares al momento de -por ejemplo- edificar una vivienda, propiciando además la recuperación de entornos y espacios públicos mucho más amables e inclusivos para las familias.

Sabemos que es una tarea de largo aliento y es por ello que tenemos la preocupación, como Ministerio de Vivienda y Urbanismo, de ir revisando y actualizando los diferentes procesos que permitan avanzar en los desafíos que involucra el incorporar nuevas tecnologías, experiencias y distintas miradas de cómo queremos construir, ya se nuestro barrio, nuestra ciudad o nuestro país.

El "Manual de Buenas Prácticas de Ensayos de Hormigón" se suma a los diferentes documentos desarrollados por la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (Ditec) y no reemplaza las normas de ensayos. No obstante, sí incorpora contenidos técnicos y recomendaciones que, ciertamente, pueden ser de mucha utilidad para los profesionales y entidades que se encuentran involucrados en el proceso de los controles de hormigones y ensayos.

Los invito a conocer y revisar este manual que hemos elaborado con el claro objetivo de seguir contribuyendo, con nuevos antecedentes y análisis, a las buenas prácticas de ensayos en hormigón.

Ricardo Carvajal González

Jefe de la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional

PREÁMBULO

El presente documento, denominado, “Manual de buenas prácticas de ensayos de hormigón”, fue desarrollado por el comité técnico “Laboratorios y Normas de Ensayos de Hormigón”, el cual fue convocado por la Comisión de Construcción del Hormigón del Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH), en el que el Minvu es parte integrante.

INTEGRANTES		
Nombre	Institución	Correo
Susana Jara Díaz	Ditec, Minvu	stjara@minvu.cl
Marcelo Salinas R.	Lemuc Ltda.	msalinas@ucentral.cl
Enrique Bollmann S.	Asintota S.A.	ebollmann@asintota.cl
Félix Álvarez A.	INN	felix.alvarez@inn.cl
Rodrigo Fernández J.	INN	rodrigo.fernandez@inn.cl
Mario Olivares	Dictuc	molivares@dictuc.cl
Lilian Berríos	Dictuc	lberrios@dictuc.cl
José Miguel Pascual	Consultor	jpascual@pascualdominguez.cl
Arturo Holmgren G.	Euclid Chemical Chile	arturo.holmgren@euclidchemical.com
Bastián Mellado L.	Idiem	bastian.mellado@idiem.cl
Carlos Pineda T.	Idiem	carolos.pineda@idiem.cl
Luis Rivera C	Idiem	luis.riverac@idiem.cl
Luis Yáñez V	Idiem	luis.yanezv@idiem.cl
Tamara Orellana E.	Euclid Chemical Chile	tamara.orellana@euclidchemical.com
Iván Mauricio Moreno	Euclid Chemical Chile	ivan.moreno@euclidchemical.com
Armando Quezada O.	QYB	aquezadao@qyb.cl
Ma. Soledad Gómez L.	Construcción UC	mgomezl@uc.cl
Yuri Tomicic C.	Consultor	yuri.tomicic@gmail.com
Hernán Medina	MYM Ingeniería y Arq.	hernanalejandro.medina@gmail.com
Claudio Hernández J.	Ditec, Minvu	chernandezj@minvu.cl

Este Manual es un documento de referencia de carácter voluntario, el cual no busca reemplazar las normas de ensayos a las cuales hace referencia, sino que, su objetivo es incorporar contenido técnico a ellas y recomendaciones para disminuir las alteraciones en los procedimientos y análisis de resultados. Su público objetivo son, entre otros, los productores de hormigón, Constructores de la obra, ITOs, Laboratorios y el propio Minvu y sus servicios dependientes, es decir todas las entidades y profesionales vinculados en el proceso de los controles de hormigones y ensayos.

Ahora bien, para quienes se desempeñan como Laboratorios Oficiales registrados en el Minvu, este es un documento de consulta, que no es parte del proceso de acreditación conforme a la NCh-ISO/IEC 17025 y las normas de ensayos, procesos que se deben mantener con acreditación vigente.

La necesidad de abordar este manual surgió desde la Comisión de Construcción que sesiona en el ICH, en la que Minvu es parte integrante, con el fin de aportar al conocimiento, aclarar conceptos, alertar posibles desviaciones e incentivar al análisis de los resultados de los ensayos de hormigón, de manera de propiciar la confiabilidad en los resultados de ensayos y la aplicación de las normas.



PRÓLOGO

El control de calidad del hormigón, en general, se considera conforme si cumple con la resistencia especificada. Es la característica técnica que lo identifica en forma primordial y, por tanto, es la forma cuantitativa de determinar si este material cumple, o no, con las exigencias que impone el diseñador estructural para estos efectos.

Sin embargo, en varias ocasiones, los análisis de los resultados de las resistencias mecánicas de los hormigones sólo se concentran en generar un informe de ensayo que un laboratorio inscrito en el Registro del Minvu emite, sin más antecedentes que la información que dicho documento contiene.

Frente a ello, se propone una serie de actividades y verificaciones para mejorar las conclusiones.

El proceso completo se inicia en el momento en que se extrae la muestra del hormigón fresco, hasta su ensayo a las edades especificadas:

- Extracción de muestras del hormigón fresco (NCh171).
- Determinación de la docilidad (NCh1019).
- Confección y curado en obra de probetas para ensayos de compresión (NCh1017).
- Refrentado de probetas (NCh1172).
- Ensayo de compresión de probetas cilíndricas (NCh1037)

En el proceso, desde el diseño hasta la elaboración del hormigón, juega un papel importante la evaluación de la calidad del producto. La calidad del hormigón es medida, en la generalidad de los casos, mediante los servicios que prestan al mercado los laboratorios vigentes inscritos en el registro del Minvu, los cuales se encuentran acreditados con la NCh ISO17025; con este sistema, el usuario deposita su confianza en los resultados que emiten dichos laboratorios.

Por lo anterior, se estima necesario observar con mayor detención, algunos aspectos que nos parecen relevantes. Esto último deriva de la experiencia obtenida en la literatura y la evidenciada en diversos casos reales en nuestro país.



GRADOS G

Para determinar la resistencia a la compresión del hormigón en la norma NCh170/1985, se permitía la utilización de probetas cúbicas y cilíndricas de distintas dimensiones, ocasionando confusiones y conversiones inconsecuentes con la normativa de diseño estructural basada en el ACI318. Sumado a lo anterior, se encuentra el hecho de que la mayoría de las prensas que se usan en Chile son para ensayos de probeta cilíndrica.

Esta situación se ha subsanado con la actualización de la NCh170:2016, en la cual, la resistencia a la compresión del hormigón sólo se clasifica según su resistencia especificada a compresión a los 28 días (f_c) determinada en probetas cilíndricas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, según NCh1017 y NCh1037.

Según la norma NCh170:2016, sólo en casos excepcionales, en que no se disponga de probetas cilíndricas para realizar el control del hormigón, el proyectista puede autorizar el uso de probetas cúbicas indicando el factor de conversión. Por consiguiente, la clasificación por resistencia a la compresión del hormigón establece los grados G, como denominación de especificación.

ANOMALÍAS NO REPRESENTATIVAS QUE GENERAN BAJAS RESISTENCIAS

Como antecedente de que existen anomalías que generan bajas resistencias, se realizó un estudio en 2000 llamado, **“Causas de Resistencias Bajas”**, ACI Materials Journal, V.97, N°2, evidenciando por qué algunos resultados no serían representativos del hormigón confeccionado.



Producto del estudio es necesario recalcar que las anomalías, en cualquier etapa del proceso de obtención de las resistencias mecánicas de un hormigón, derivarán, la mayoría de las veces, en valores inferiores a los que potencialmente ofrece, excepto cuando la prensa se encuentra descalibrada, exista una alta velocidad de ensayo y la madurez del hormigón está por sobre lo estandarizado, situaciones que tienden a entregar resistencias mayores. Estas situaciones, salvo

extrema ineficiencia, son fácilmente verificables por intermedio de los controles internos de cada laboratorio (contrastaciones de las prensas, verificaciones de velocidades de ensayo y registros controlados de temperaturas) o mediante evaluaciones puntuales, labores importantes de los laboratorios acreditados.

Sin embargo, en la mayoría de los casos en que existen descuidos o desconocimiento, se producen anomalías que derivan en resistencias inferiores a las que el hormigón ofrece en términos potenciales. Por esto último, es que se ha considerado útil mencionar este estudio, a modo de instar a su análisis y conocimiento.





**EXTRACCIÓN
DE MUESTRAS
DEL HORMIGÓN
FRESCO
(NCh171)**

CONSIDERACIONES GENERALES

Para resguardar el resultado de los ensayos de resistencia del hormigón, es importante cumplir cabalmente con los procedimientos establecidos para la toma de muestras, generar una adecuada programación, contar con el equipamiento necesario, verificar el tipo y tamaño de la muestra que se requiere tomar, cumplir con los tiempos establecidos, resguardar la muestra de las inclemencias climáticas y evitar otras consideraciones del entorno que pudieran perjudicar la ejecución del proceso.

CONDICIONANTES DE LA NORMA

La norma estipula los procedimientos de extracción para:

- Muestras simples (cantidad de hormigón formada por una porción obtenida de una amasada o masa de hormigón, la cual se debe homogenizar) o
- Muestras compuestas (cantidad de hormigón formada por dos o más porciones, que se deben homogenizar) del hormigón fresco que se entrega en la obra y así poder realizar los ensayos que permitirán evaluar el cumplimiento de los requisitos de calidad que se hayan establecido para el proyecto.

Se incluyen los muestreos de hormigoneras estacionarias, camiones mezcladores o agitadores, acopios y otros equipos de mezclado o transporte. Requisitos detallados sobre materiales, mezclas, contenido de aire, temperatura, número de probetas, asentamiento de cono, interpretación de resultados, precisión y sesgo, se encuentran en los métodos de ensayo específicos.

La norma también establece que los equipos y herramientas (carretillas, palas, otros), deben estar previamente humedecidos y no presentar roturas que pudieran alterar la representatividad de la muestra.

MUESTREO

El proceso de muestreo se debe realizar en un plazo no superior a los 15 minutos entre la toma de la primera porción hasta la última, ya sea para lograr la muestra simple o compuesta.

La muestra puntual, o porciones de la muestra compuesta, se transportan al lugar donde se realizarán los ensayos del hormigón fresco y/o se confeccionarán las probetas. Tanto el muestreo del hormigón como su traslado al lugar de moldeado, se debe realizar en el menor tiempo posible, protegiéndola del sol, del viento o de otras fuentes de evaporación rápida o de contaminación, mediante cualquier método o material que cumpla con dichos objetivos. En el caso de precipitaciones, la protección de la muestra debe evitar la incorporación de agua a la mezcla, la cual pudiese generar alteraciones en esta.

El tamaño de la muestra para el ensayo de resistencia debe ser como mínimo de 30 litros. Se pueden permitir muestras más pequeñas para ensayos rutinarios de contenido de aire, temperatura y asentamiento de cono.

Previo a realizar los ensayos y/o confección de probetas, se debe homogeneizar la muestra en el recipiente de muestreo. Esta labor se debe realizar con una pala, no con poruña o elementos similares.

CONDICIONES DEL ENTORNO

En general, cualquier tipo de perturbaciones al hormigón fresco, como vibraciones y/o impactos, viento, lluvia, polvo, temperaturas extremas, entre otros, pueden generar resultados que no sean representativos de las características reales del hormigón que se quiere evaluar.

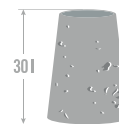
La vibración de equipos de compactación fusionando cerca de la toma de muestras, provoca necesariamente, segregación de la mezcla y, al no remezclarse nuevamente, esta deja de ser representativa de la original.



Realizar muestreo en un plazo no superior a 15'



La muestra se debe realizar en el menor tiempo posible protegiéndola del sol, del viento o de otras fuentes de contaminación



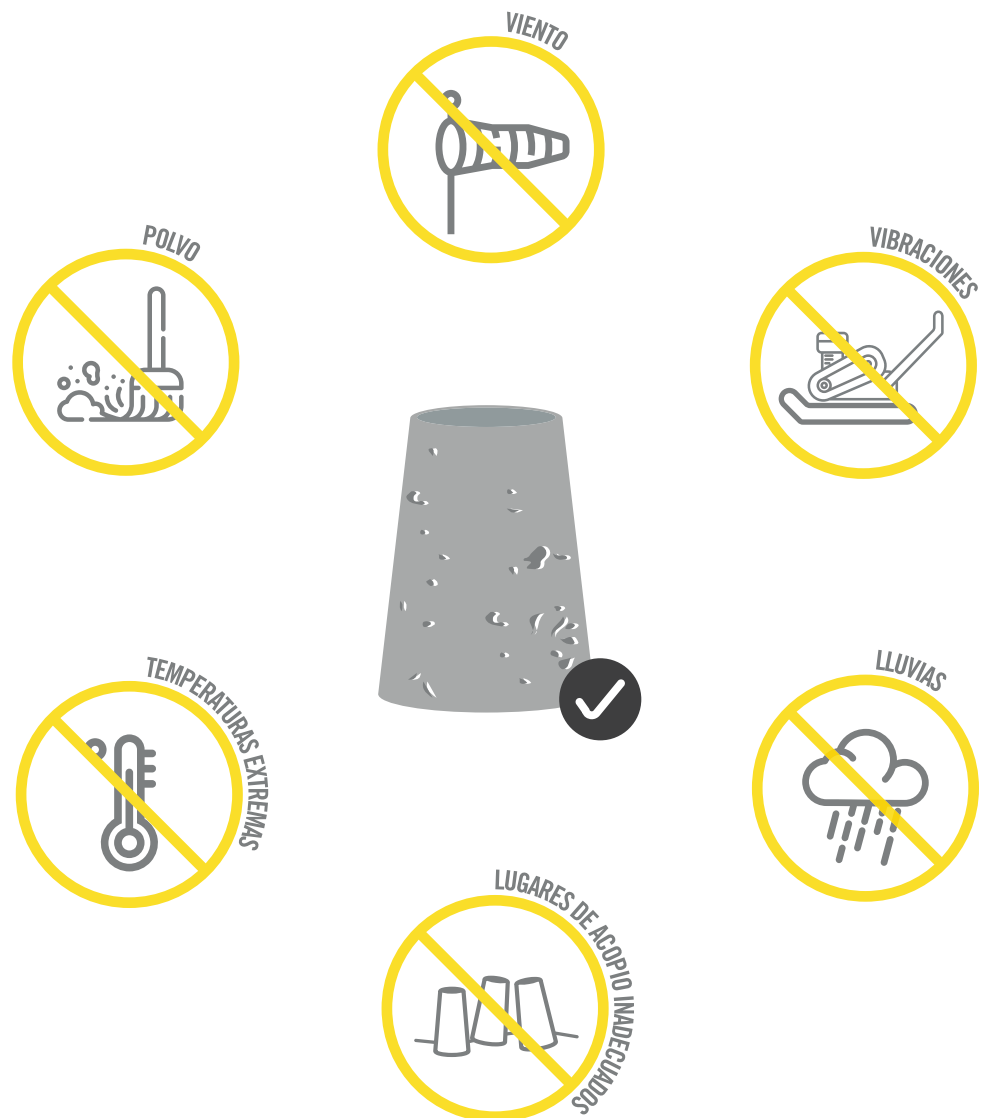
Tamaño mínimo de muestra: 30 l



Homogeneizar con una pala, no poruña o similares, en el recipiente de muestreo

Tanto la adición de agua proveniente de la lluvia y/o polvo de faenas adyacentes, alterarán la composición original del hormigón muestreado.

Incluso un lugar inadecuado para colocar las muestras, podría ser una superficie inclinada, ya que generará distorsiones geométricas que, inevitablemente, provocan deterioros en los resultados de la resistencia mecánica.



En la norma se indican los procedimientos que se deben emplear en el muestreo, considerando los pasos para obtener muestras representativas de la naturaleza y condiciones del hormigón muestreado.

EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

El tamaño de la muestra de hormigón fresco será superior a una y media vez el volumen necesario para efectuar los ensayos requeridos y, en ningún caso, inferior a 30 litros.

Extracción de muestras de fabricación	
Desde hormigoneras	Se efectúa la extracción en uno o más intervalos regulares durante la descarga, sin incluir el primer y último 10% de la descarga, y sin restringir el flujo de salida del hormigón.
Desde camiones hormigoneros	Se regula primeramente el flujo de descarga del hormigón mediante la velocidad de rotación del tambor, sin estrangular el flujo de la compuerta. Se efectúa la extracción de la muestra en uno o más intervalos regulares durante la descarga, sin incluir el primer y último 10% de esta.

En ambos casos, se recomienda remezclar a máxima velocidad de rotación durante unos 4 minutos, previo al inicio de la descarga; luego se extraerá la muestra, o las porciones de muestra necesarias, pasando el recipiente de muestreo por toda la sección del flujo o descarga, o bien, desviando completamente el flujo hacia un recipiente.

Extracción de muestras en sitio	
Desde acopio	Se extraerán por lo menos cinco porciones de muestras de diferentes puntos del acopio, cuidando de no contaminar la muestra con material de arrastre.
Desde medios de transporte	En este caso, se elegirá uno de los procedimientos descritos anteriormente, prefiriéndose el que mejor se adapte a las condiciones existentes.

Para evaluar la calidad del hormigón, en cualquier etapa del proceso, existe la comparación de las muestras de fabricación y las muestras en sitio, denominadas muestras especiales, según NCh171. Estas muestras reflejan los efectos que producen las operaciones en puntos intermedios entre la salida de la hormigonera y el lugar de colocación, o los efectos del ambiente de conservación.

Además, se deben evitar situaciones en que el muestreo no es representativo del hormigón suministrado, como lo es, por ejemplo, la extracción de muestras provenientes del acopio que se genera en la parrilla del recipiente de alimentación del equipo de bombeo. El hormigón acopiado sobre la parrilla ya ha estado expuesto a vibraciones, dejando a la mezcla sin la totalidad de su mortero y pasta, disminuyendo su capacidad resistente durante su proceso de endurecimiento y desarrollo de resistencia.

DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL HORMIGÓN Y MEDIOAMBIENTE

La determinación de la temperatura del hormigón fresco, se realiza de acuerdo con lo indicado en la norma ASTM C1064. Para lo anterior, se requiere de un aparato medidor de temperatura con una precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, en un rango de 0°C a 50°C .

Este aparato debe ser verificado de acuerdo con lo indicado en la norma ASTM C1064. Para esto último, se requiere de un aparato medidor de temperaturas de referencia, con una precisión de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, el cual debe estar debidamente calibrado. La verificación se realiza por comparación en dos temperaturas separadas, en al menos, 15°C entre sí, siendo aceptable un margen de error de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ respecto del aparato de referencia. El aparato medidor de temperaturas debe ser verificado anualmente o cuando existan dudas acerca de su precisión.

La medición de temperatura del hormigón, se realiza en el recipiente de toma de muestras.

El procedimiento consiste, resumidamente, en colocar el aparato medidor de temperatura en el hormigón recién mezclado, de modo que el sensor de temperatura quede sumergido en el hormigón, al menos, 75 mm, sin que este toque el borde del molde; además, se debe presionar suavemente la superficie del hormigón alrededor del aparato medidor de temperatura, de modo que la temperatura ambiental no afecte la medición.



Se debe dejar el aparato medidor de temperatura en la mezcla por un per3odo de 2 minutos, o hasta que la lectura de temperatura se estabilice, entonces se registra la misma. La determinaci3n de la temperatura se debe realizar en un tiempo no mayor a 5 minutos a partir de la toma de muestra de hormig3n. Luego se realiza lectura y registro de la temperatura al valor m3s cercano a 0,5°C.

Tambi3n es importante registrar la temperatura del medioambiente para poder establecer una relaci3n entre esta temperatura y la del hormig3n fresco. Esta informaci3n puede ser relevante al analizar los resultados, ya que permite relacionar el desarrollo de la resistencia del hormig3n con las tasas de evaporaci3n.

A modo de estandarizar el procedimiento de medici3n de la temperatura ambiente, se propone registrarla en el lugar de la toma de la muestra, a la sombra y alejado del cuerpo del lector, a una altura de 1,5 m del suelo sin tocar el bulbo del term3metro. Esperar estabilizaci3n de lectura (1 a 3 minutos seg3n tipo de term3metro) y registrar aproximando a 0,5 °C.

**DETERMINACIÓN
DE LA DOCILIDAD
/ MÉTODO DE
ASENTAMIENTO
DEL CONO
DE ABRAMS
(NCh1019)**

GENERALIDAD

El ensayo de determinación de la docilidad a través del asentamiento de cono de Abrams, es el tipo de ensayo más aceptado para determinar esta propiedad, el cual debe ser realizado conforme a las indicaciones de la normativa vigente.

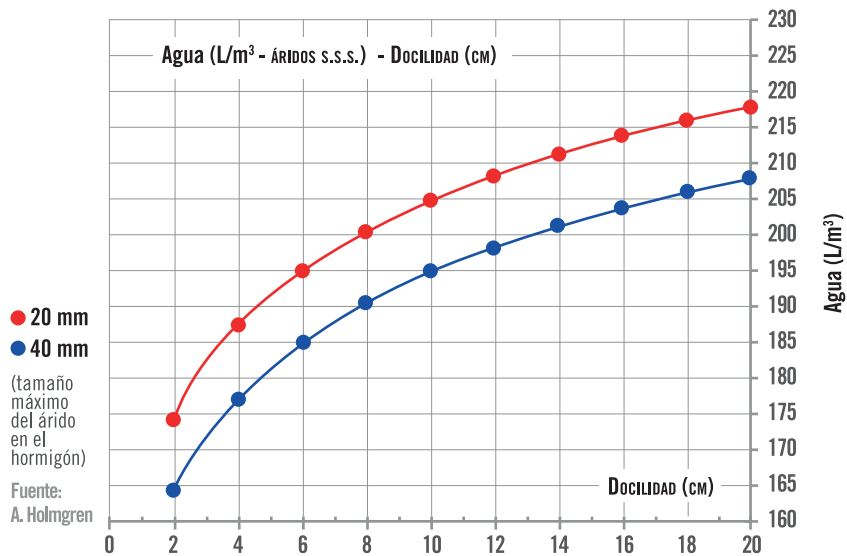
También es bueno señalar que el término docilidad a veces es confundido con el concepto de trabajabilidad; en el caso de la trabajabilidad se debe tener presente que intervienen otras propiedades, tales como, cohesión, aspereza, segregación, exudación, facilidad de compactación y de terminación, las cuales no son enteramente medidas por el asentamiento de cono.

La norma vigente define docilidad como: "facilidad del hormigón fresco para ser transportado, colocado y compactado, sin que se produzca segregación".

En cambio, trabajabilidad depende de las proporciones y de las características físicas de los materiales, como también del equipo utilizado durante el mezclado, transporte y colocación de la mezcla. Aun así, la trabajabilidad es un término relativo, porque un hormigón se podrá considerar trabajable bajo ciertas condiciones y no trabajable para otras.

Por ejemplo, la fluidez se verá aumentada mediante el uso de aditivos fluidificantes y/o el incremento de la cantidad de agua en el hormigón, y disminuida al agregar más arena fina, adiciones, como microsilíce, y/o cemento. En cambio, la consistencia se verá afectada en el sentido inverso.

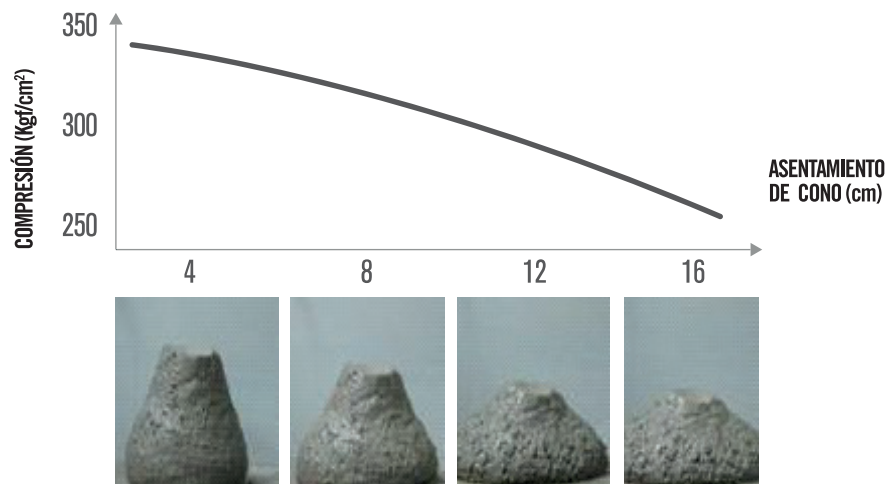
Por otra parte, a fin de poder estimar la relación entre la variación del contenido de agua en 1 m³ de hormigón por cada 1 cm del asentamiento de cono, se adjunta la gráfica siguiente:



Para un mismo tipo de hormigón, la docilidad es una medida indirecta de la cantidad de agua y, por tanto, de la razón agua/cemento. Sin embargo, si los hormigones son diferentes en su diseño, la "docilidad" de cada uno no es posible compararla mediante el asentamiento del cono de Abrams.

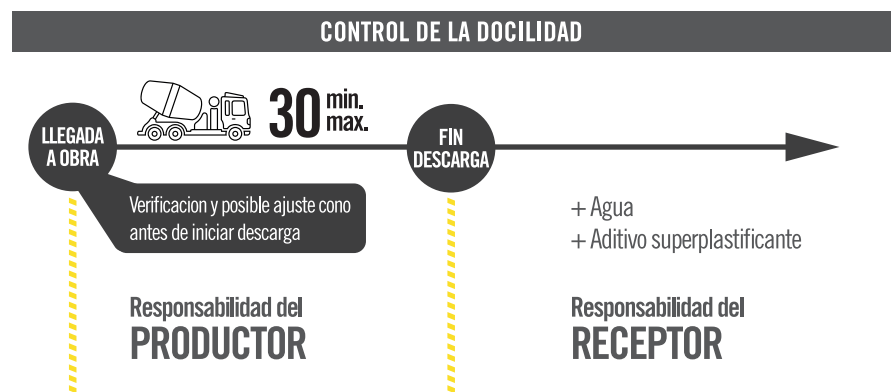
También es importante mencionar que no se debe confundir la tolerancia del ensayo, con el hecho de tratar de "apuntarle" al límite superior, o inferior, del rango normalizado.

Como se observa en el esquema siguiente, es necesario tener presente que un aumento en la docilidad mediante agua, va acompañado de una disminución de la resistencia mecánica y, por ello, debe estar considerado en el diseño original del hormigón.



En resumen, un procedimiento adecuado de medición del asentamiento de cono, es útil para estimar las características del hormigón en cuanto a DOCILIDAD y, también, de la resistencia cuando se compara con resultados previos.

Dado que este aspecto es de suma relevancia en el momento del traspaso del hormigón fresco entre el proveedor y el receptor, es conveniente tener en consideración que la normativa NCh1934 establece textualmente: *“la responsabilidad del suministrador, para cumplir con el asentamiento de cono pactado, es de 30 minutos contados desde el momento de la llegada del vehículo a la obra o desde que el camión mezclador realice el ajuste de la docilidad en obra antes de iniciar la descarga”*.



A su vez, también es importante considerar que las normas ASTM C94 y NCh170, establecen las consideraciones de ajustes de la docilidad, señalando que, cuando el asentamiento de cono de Abrams se encuentre por debajo del valor requerido, se puede ajustar la docilidad a los límites establecidos, por una única vez, agregando agua al hormigón, previo al inicio de la descarga. El proceso de ajuste se debe efectuar en un plazo máximo de 15 min debiendo el equipo de mezclado girar el número de revoluciones necesarias para asegurar la homogeneidad.



NORMA NCh1019

La norma NCh1019 establece el procedimiento para determinar la docilidad del hormigón fresco por el método del asentamiento del cono de Abrams, ya sea en laboratorio o en obra.

Esta norma se aplica a hormigones con árido grueso de tamaño máximo nominal hasta 37,5 mm cuya plasticidad y cohesión sean suficiente para realizar este ensayo.

El método del asentamiento del cono de Abrams permite evaluar la docilidad del hormigón fresco mediante la medición de la reducción de altura que experimenta un tronco de cono recién moldeado, sin embargo, este método no es aplicable para determinar la docilidad de hormigones cuyo asentamiento sea inferior a 1,5 cm o superior a 21 cm. Esta última cifra, se puede ampliar a 23 cm, si el hormigón en análisis presenta un tamaño máximo nominal inferior a 37,5 mm.

Se recomienda que la cantidad de hormigón necesaria para efectuar este ensayo no sea inferior a 8 litros.

PROCEDIMIENTO



Se coloca el molde sobre la plancha de apoyo horizontal, ambos limpios y humedecidos sólo con agua. No se permite emplear aceite ni grasa.



El operador se debe parar sobre las pisaderas, evitando el movimiento del molde durante el llenado.



El llenado del cono debe comenzar dentro de los 5 minutos siguientes a la obtención de la muestra.



Se llena el molde con tres capas de, aproximadamente, igual volumen y se apisona cada capa con 25 golpes de la varilla-pisón, distribuidos uniformemente en toda la sección.

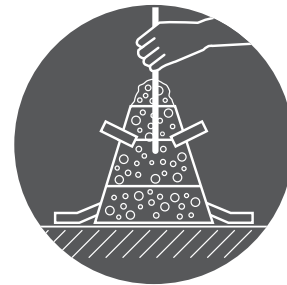


La capa inferior se llena hasta aproximadamente 6 cm de altura y la capa media hasta aproximadamente 15 cm de altura.

Al apisonar la capa inferior, se darán los primeros golpes con la varilla-pisón ligeramente inclinada alrededor del perímetro. Al apisonar la capa media y superior, se darán los golpes de modo que la varilla-pisón penetre la capa subyacente.



Durante el apisonado de la última capa, se deberá mantener permanentemente un exceso de hormigón sobre el borde superior del molde.



Se enrasa la superficie de la capa superior con la varilla pisón y se limpia el hormigón derramado en la zona adyacente al molde.

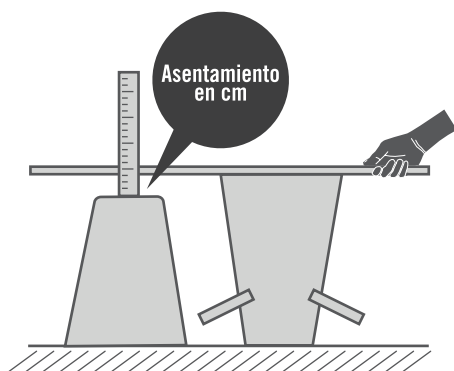


Inmediatamente después de terminado el llenado, enrase y limpieza, se carga el molde con las manos, sujetándolo por las asas y dejando las pisaderas libres para luego levantarlo en dirección vertical sin perturbar el hormigón en un tiempo de 5 ± 2 seg.



Toda la operación de llenado y levantamiento del molde no debe demorar más de 2,5 min.





MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO DE CONO

Una vez desmoldado, se mide inmediatamente la distancia vertical entre la altura original del hormigón, dada por el molde en posición inversa a la posición de moldeado, y el centro superior de la superficie del hormigón derramado después del levantamiento del molde, con una aproximación a 0,5 cm esta medición.

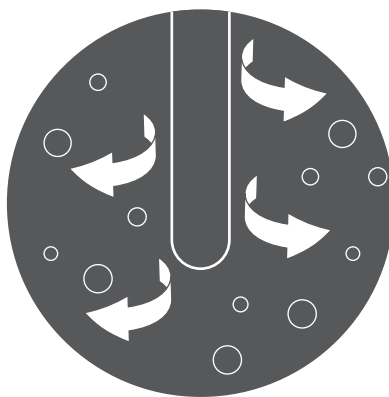
Si el hormigón moldeado se inclina notoriamente hacia un lado o sufre disgregaciones o corte, debe repetir el ensayo. Si por segunda vez se presenta este fenómeno, se considerará que el hormigón no es apto para efectuar el ensayo de asentamiento en el cono de Abrams por carecer de la plasticidad y cohesión necesarias.

Es importante estar atento a diversos errores que se pueden cometer en el desarrollo de este ensayo y por los cuales se puede llegar a conclusiones equivocadas.

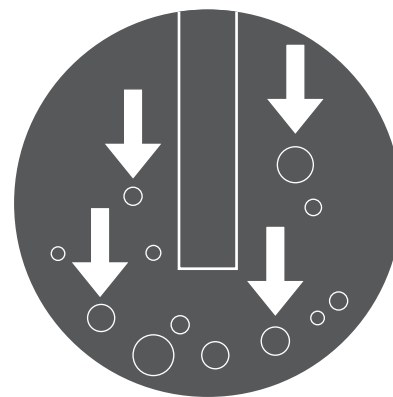
APARATOS PARA ENSAYO DE DOCILIDAD

Pisón sin punta redondeada

Varilla-Pisón: Barra cilíndrica de acero lisa con sus extremos redondeados para no golpear los áridos.



✓ La punta redondeada desplaza el árido

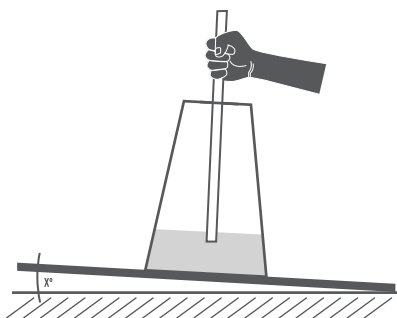


✗ La punta recta choca contra el árido y lo hunde

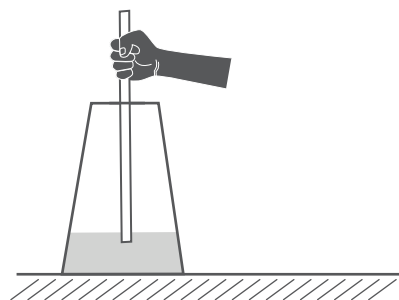
Cono, placa, poruña, carretilla y pisón no humedecidos previamente



Estos elementos pueden quitarle parte del agua y pasta al poco volumen de hormigón utilizado en estos ensayos

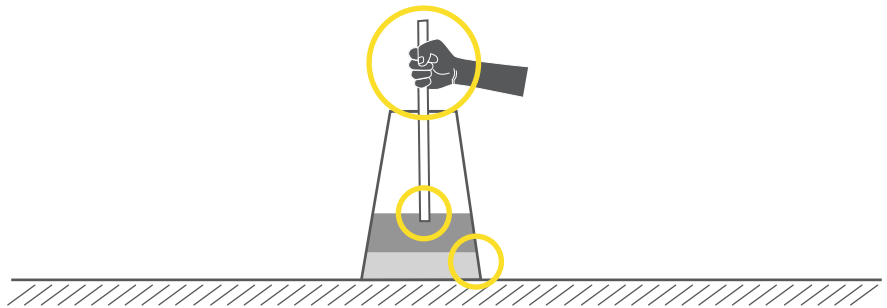


Placa inclinada



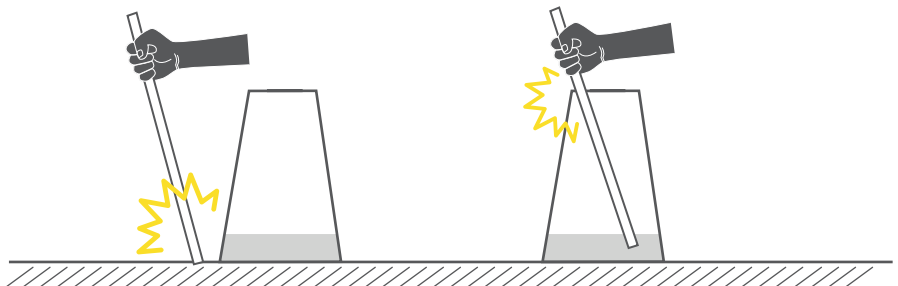
Ausencia de inclinación del pisón en el apisonado de la primera capa

En el caso de la placa inclinada, se generará una distorsión al momento de extraer el cono pues se aplicarán esfuerzos de roce no contemplados en el ensayo y, además, es probable que el cono de hormigón fresco se incline al quedar sin sostenimiento del molde cónico. En el caso de la varilla no inclinada, al apisonar la primera capa, esta no quedará bien compactada en sus zonas perimetrales, facilitando un aumento artificial del asentamiento.



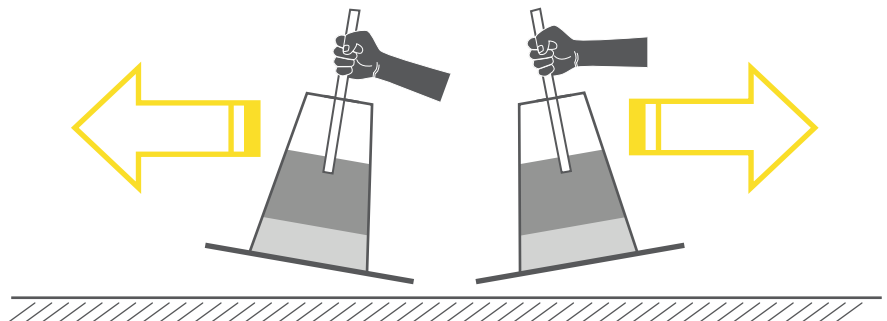
Insuficiente penetración del pisón en las capas anteriores, incorrecta cantidad de volumen de hormigón en cada capa y de cantidad de golpes del pisón.

Esta acción podría generar un aumento artificial del asentamiento y su lectura será incorrecta.



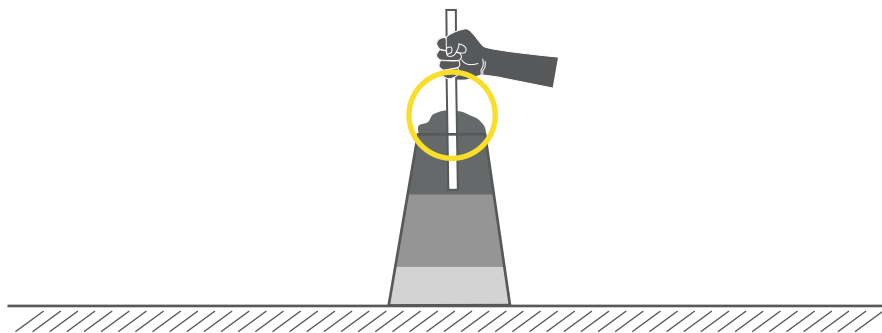
Golpes en la placa con el pisón o en el borde superior del cono

Esto podría alterar la lectura del asentamiento por la diferente cantidad y tipo de energía entregada al volumen de hormigón dentro del molde cónico.



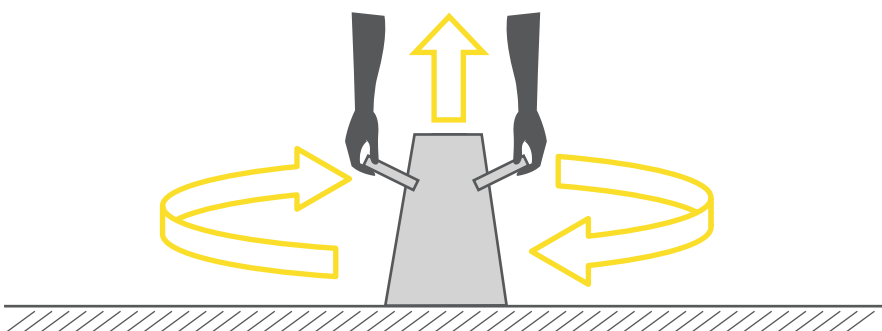
Movimiento de la placa por mal asentamiento

Al aplicar energía adicional se altera la lectura de asentamiento, porque se producen cambios en el grado de compactación.



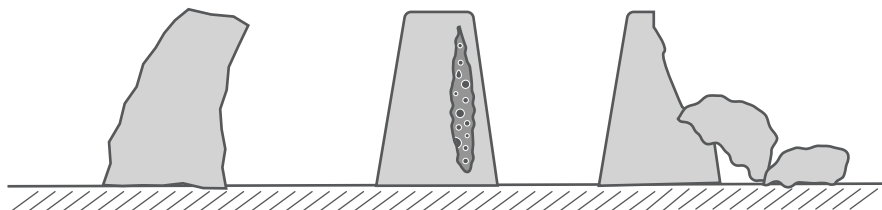
No mantener un leve exceso en la última capa superior

Ello, generalmente, obliga al operador a rellenar al final del proceso con sólo mortero y pasta extraída de la muestra, lo cual es completamente anormal.



Alta velocidad y/o giro del cono al subirlo

Ambas situaciones provocan una sollicitación indebida al cono ya confeccionado, el cual, al quedar libre del molde cónico, tendrá un descenso fuera de las condiciones normalizadas y su lectura quedará inválida.



Verificación del hormigón si es apto para este ensayo

Si al levantar el molde se inclina hacia un lado, o sufre disgregaciones, el ensayo debe repetirse. Si vuelve a suceder lo mismo, se considera que el hormigón no es apto para la ejecución del ensayo.

Un aspecto relevante es tener presente que la porción de hormigón usada en el ensayo de cono, **no se debe utilizar para la confección de probetas**, ni otros ensayos, debido a que ya ha estado solicitado a tensiones diferentes al resto de la muestra.



**NUNCA DEBE UTILIZARSE EL
HORMIGÓN EMPLEADO EN EL ENSAYO
DE CONO PARA CONFECCIONAR
PROBETAS PARA ENSAYO DE
RESISTENCIA**



CONFECCIÓN Y CURADO EN OBRA DE PROBETA PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN (NCh1017)

El presente Manual desarrolla el ensayo de compresión con base en probetas cilíndricas, conforme con lo señalado en la NCh170 vigente.

APARATOS

Moldes

Los moldes deben ser de metal u otro material resistente, estancos a la lechada de cemento, en forma de cilindros circulares rectos que se colocan con el eje cilíndrico vertical y la parte superior abierta para recibir al hormigón. Además, los moldes deben tener las superficies interiores lisas, libres de saltaduras, hendiduras o resaltes. Para el caso de moldes metálicos, las superficies curvas deben ser torneadas para asegurar la forma cilíndrica.

Como recomendación, la norma ASTM C 470 indica: Los planos del borde superior e inferior de la parte cilíndrica deben ser perpendiculares al eje del molde, con una tolerancia de hasta de 0,5 grados, aproximadamente; esto equivale a 3 mm en 300 mm, mientras que la superficie inferior del molde, en su parte interna, no se debe alejar de un plano en más de 1,5 mm en 150 mm (1% del diámetro del molde).

Se recomienda un especial cuidado en el armado de los moldes pues, cualquier descuido o mal ensamble, darán como resultado probetas no aptas para ser ensayadas y, en el caso de ensayarlas, el resultado será desviado y disminuido. Se debe tener siempre presente que, previo al llenado de la probeta, el molde debe estar limpio y cumplir con las dimensiones señaladas anteriormente en este documento.



Dimensiones de los moldes

La dimensión básica interior de los moldes cilíndricos son: diámetro interior d y altura $2d$, siendo preferida la dimensión 150 mm de diámetro y 300 mm de altura.

La tolerancia de fabricación de los moldes, en cualquiera de sus dimensiones interiores, debe ser ± 1 mm. Para moldes en uso, se puede permitir un aumento de 50% en las tolerancias.

Vibradores internos

Los vibradores internos deben tener acoplamiento rígido o flexible y de frecuencia igual o superior a 6.000 pulsaciones/minuto, sin embargo, se recomienda usar mayor o igual a 9.000 pulsaciones/minuto, porque los hormigones en la actualidad contienen mayor cantidad de arena; su diámetro deberá ser igual o inferior a "0,25 d " y no mayor de 40 mm; la longitud de acoplamiento deberá ser igual o superior a 500 mm.

REQUISITOS PREVIOS

Otro aspecto relevante, y que generalmente se olvida, es el relacionado con la aplicación del desmoldante.

La superficie de los moldes que entra en contacto con el hormigón, se debe untar con una delgada película de aceite mineral o, mejor aún, con un producto específico que prevenga la adherencia y no reaccione con los componentes del hormigón. En primera instancia se debe verificar, mediante auscultación visual, que el desmoldante utilizado no sea generador de porosidades, dado que ello disminuye la densidad y resistencia del hormigón y, también, es indicativo que esa capa de hormigón superficial es de menor calidad, dejando de ser representativa de la verdadera calidad resistente del hormigón.

En segunda instancia, una cantidad excesiva de material desmoldante provocará daños irreversibles en la forma geométrica del cilindro e impedirá un ensayo uniforme y real del hormigón que se pretende evaluar.



Obsérvese en las fotografías de arriba este tipo de daño provocado por exceso de material desmoldante.

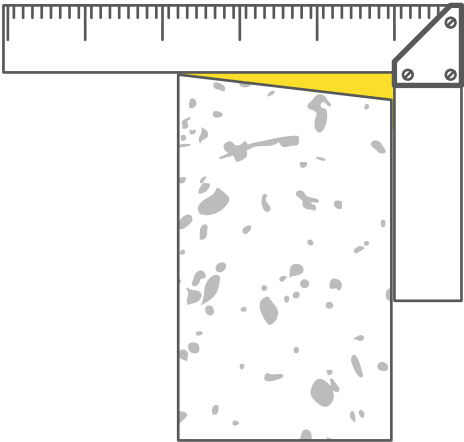
En las fotos siguientes se observa cómo el exceso de desmoldante provocó “vetas de arena” en el manto del cilindro, cuando dicho desmoldante ascendió a la parte superior del cilindro. Asimismo, el exceso de desmoldante impide generar una forma geométrica adecuada con la mezcla de hormigón fresco.



La falta de limpieza de restos de hormigón, u otros materiales, dentro de los moldes, también son generadores de alteraciones en los resultados, siempre en desmedro de la calidad del hormigón. Es importante señalar, que ensayar una muestra con estas características, sería no cumplir con la norma.



Por otra parte, la falta de nivelación horizontal del lugar en que se mantienen las probetas, puede generar alteraciones en la geometría de las mismas, ocasionando defectos que no permitirán representar las resistencias potenciales del hormigón. En la ilustración, se muestra el daño geométrico que se genera debido al desnivel de la zona donde las probetas se mantienen durante las primeras horas de fraguado y endurecimiento del hormigón.



La falta de humectación y/o limpieza de los equipos e instrumentos como la carretilla, poruña, pala, pisón, vibrador, llana, entre otros, harán que la mezcla de hormigón se vea afectada en su composición original.

Es de suma importancia que el laboratorio acuerde con el encargado de la obra, la habilitación de un lugar idóneo para el moldeado de las probetas, el cual debe contar de una base de apoyo para los moldes, de modo que éstos queden nivelados y protegidos de choques y vibraciones.

Además, se debe acordar el lugar donde se dispondrán temporalmente las probetas en la obra, el cual se debe encontrar lo más cercano posible al lugar de moldeado y contar con las condiciones idóneas para el curado inicial de las probetas, manteniendo dichas condiciones hasta su retiro por parte del personal del laboratorio.

Transporte de la muestra al lugar de moldeado

Se debe trasladar la muestra de hormigón fresco al lugar de moldeado en el menor tiempo posible, protegiéndola del sol, del viento u otras fuentes de evaporación rápida o de contaminación, mediante cualquier método o material que cumpla con dichos objetivos. En el caso de lluvia, la protección de la muestra debe evitar la incorporación de agua a la mezcla.

El tiempo que transcurra, desde el término de la extracción de la muestra hasta el inicio del moldeado de las probetas, debe ser menor que 15 minutos.

En situaciones particulares de la obra en que no se pueda asegurar un correcto moldeado, protección, curado inicial o existan posibilidades de daños o extravío de las probetas, entre otras razones, se puede trasladar la muestra a un punto alejado, ya sea dentro o fuera de la obra, aceptándose un tiempo mayor a 15 minutos. Para ello, debe haber un acuerdo previo entre las partes y se debe proteger la muestra durante el traslado, verificando que no se produzca una pérdida de asentamiento del cono de Abrams mayor a los valores que se indican en la siguiente tabla.

Pérdida máxima de asentamiento del cono de Abrams para el traslado de la muestra desde el punto de extracción al lugar de moldeado

Asentamiento de cono de Abrams del hormigón cm	Pérdida máxima de asentamiento de cono de Abrams de la muestra de hormigón cm
Menor que 10	2
Mayor o igual que 10	3



"Pérdida Máxima de Asentamiento"

Fuente: NCh1017

En caso de aplicar la situación particular, se podrá tomar un cono adicional para evaluar la pérdida mencionada, no obstante, el cono válido en el informe de ensayo seguirá siendo el tomado al inicio, en el lugar de la extracción de la muestra. Por lo señalado, es recomendable que el informe de ensayo incorpore una nota que identifique el cono tomado en el lugar de la elaboración de las probetas, para respaldar la aplicación excepcional de lo señalado en la norma en este punto.



Moldeado de probetas

Una vez en el lugar definido para el moldeado de las probetas, la muestra se debe remezclar enérgicamente dentro del contenedor, o recipiente, de muestreo con el objeto de homogeneizar el hormigón.



Se procede al llenado de los moldes, los que deben quedar en una superficie nivelada y protegidos de choques y vibraciones.

Colocar cuidadosamente el hormigón en los moldes, tratando de evitar las segregaciones y en la cantidad de capas según se indica en NCh1017.

Cabe señalar que la resistencia potencial, es una medida de control de calidad del hormigón fresco en la obra, por eso es importante que la empresa constructora resguarde su cuidado hasta que el laboratorio retire las probetas, conforme lo señala la norma.



COMPACTACIÓN DEL HORMIGÓN

La norma indica que la compactación de las probetas se debe efectuar por vibrado interno o apisonado.

Así también, señala que la selección del procedimiento de compactación de las probetas, se debe basar en el asentamiento del cono de Abrams del hormigón, establecido en NCh1019 y que se resumen en la tabla siguiente.

Asentamiento de cono de Abrams del hormigón, cm	Procedimiento de compactación
Menor o igual que 12	Vibrado
Mayor que 12	Vibrado o apisonado

No obstante, las probetas deben ser preferentemente compactadas mediante vibración. Si se usa otro procedimiento, o no se cumple lo establecido en tabla, se debe dejar constancia explícita en el informe.

Vibrado interno

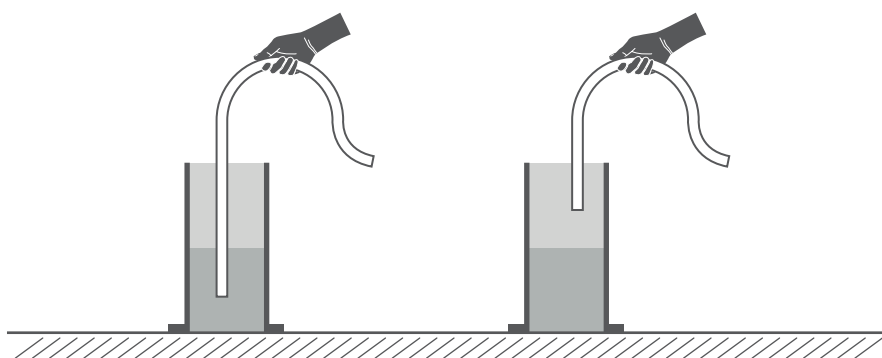
La norma indica lo siguiente para el caso de probetas destinadas a ensayos de compresión en moldes cilíndricos:

- Colocar el hormigón en dos capas de espesores similares.
- Vibrar las dos capas de los moldes cilíndricos con una inserción en la zona central.
- Introducir el vibrador verticalmente en la capa inferior hasta aproximadamente 2 cm del fondo del molde y en la capa superior hasta que penetre, aproximadamente, 2 cm en la capa subyacente. Realizar la operación sin tocar las caras ni el fondo del molde con el vibrador.

- d. Retirar el vibrador tan lentamente como sea posible, rellenando con hormigón fresco en la última capa, de modo de mantener el molde constantemente lleno.
- e. Vibrar solamente hasta que una delgada capa de lechada cubra la superficie del hormigón.

NOTA

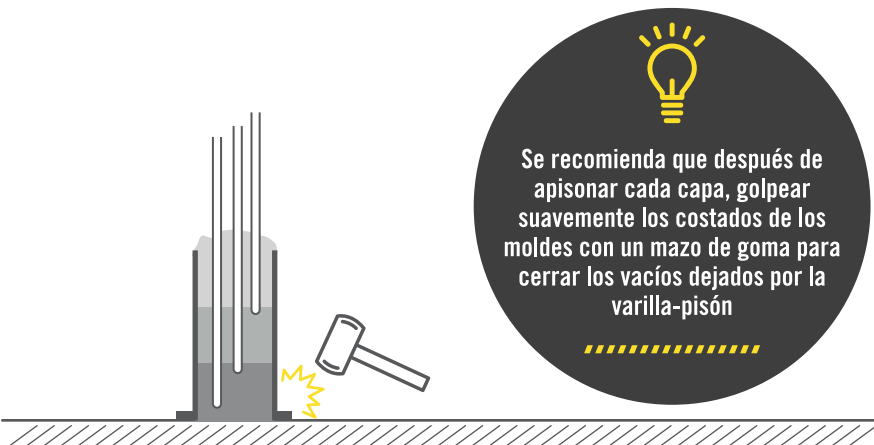
Después de vibrar cada capa, se recomienda golpear suavemente con un mazo de goma los costados de los moldes para cerrar los vacíos que deja la vibración y permitir que escape el aire atrapado.



Apisonado

La norma indica lo siguiente para el caso de probetas en moldes cilíndricos:

- a. Colocar el hormigón en tres capas.
- b. Uniformar las superficies de cada capa, empleando varilla pisón u otro elemento adecuado a dicho objetivo.
- c. Apisonar con la varilla pisón distribuyendo los golpes en toda la sección del molde, a razón de ocho golpes por cada 100 cm² de superficie.
- d. Apisonar la capa inferior en toda su altura sin golpear el fondo del molde.
- e. Apisonar la capa superior de modo que la varilla pisón penetre 2 cm aproximadamente en la capa subyacente.
- f. Durante el apisonado de la capa superior, mantener siempre un leve exceso de hormigón por sobre los bordes del molde, de forma tal que al realizar el enrasado, no se deba agregar hormigón no compactado.



Sin desmedro de lo anterior, es conocido el hecho de que los materiales más densos son los más resistentes. El hormigón no escapa a tal situación natural, por lo tanto, cuando no se logra compactar en el total de su capacidad, existe una pérdida importante de su resistencia. La mayor densidad se logrará cuando se disminuyan al mínimo las cantidades de burbujas de aire y agua atrapadas en la masa del hormigón. La faena de compactación con los vibradores de inmersión tiene ese objetivo y, por ello, debe ser el preferido.

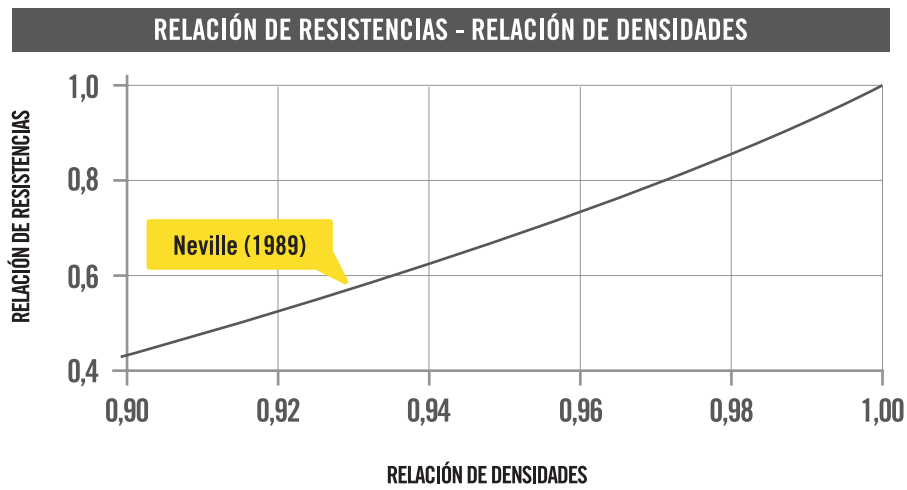
MUCHA POROSIDAD SUPERFICIAL EVIDENCIANDO COMPACTACIÓN INCOMPLETA



La resistencia disminuye cuando no se logra una total compactación, es decir, al no lograr la densidad potencial. Ello se puede observar en el Gráfico N°1 en el cual se puede observar que una disminución de un 3% en la densidad ($\text{Densidad Real} / \text{Densidad Potencial} = 0,97$) provocaría una pérdida de un 20% en la resistencia potencial a compresión a 28 días ($\text{Resistencia Real} / \text{Resistencia Potencial} = 0,80$).

Gráfico N° 1. →

Tasa de pérdida de resistencia a compresión por pérdida de densidad del hormigón. Adaptado por Arturo Holmgren en el tema: "Aportes al Análisis de la Resistencia Mecánica del Hormigón", publicado en Revista Ingeniería de Construcción (N°18), Pontificia Universidad Católica de Chile, 1998.



También es una realidad, la existencia de procesos de compactación totalmente inadecuados que pueden provocar oquedades, como las indicadas en las fotografías siguientes:



Una compactación descuidada, puede provocar deterioro debido a la falta de relleno de hormigón en parte de la cabeza del cilindro. Lo anterior, provocará una inevitable pérdida de resistencia en el ensayo, debido a la disminución de área que estará en contacto con la placa de la prensa al momento del ensayo.



Por lo tanto, es de suma importancia que las probetas sean compactadas de la mejor manera posible y acorde con el objetivo de la normativa, es decir, para lograr la mayor compactación a fin de obtener la verdadera resistencia potencial del hormigón.

Por lo tanto, esta faena requiere ser efectuada por personal capacitado y que conozca el daño que puede provocar una compactación deficiente.

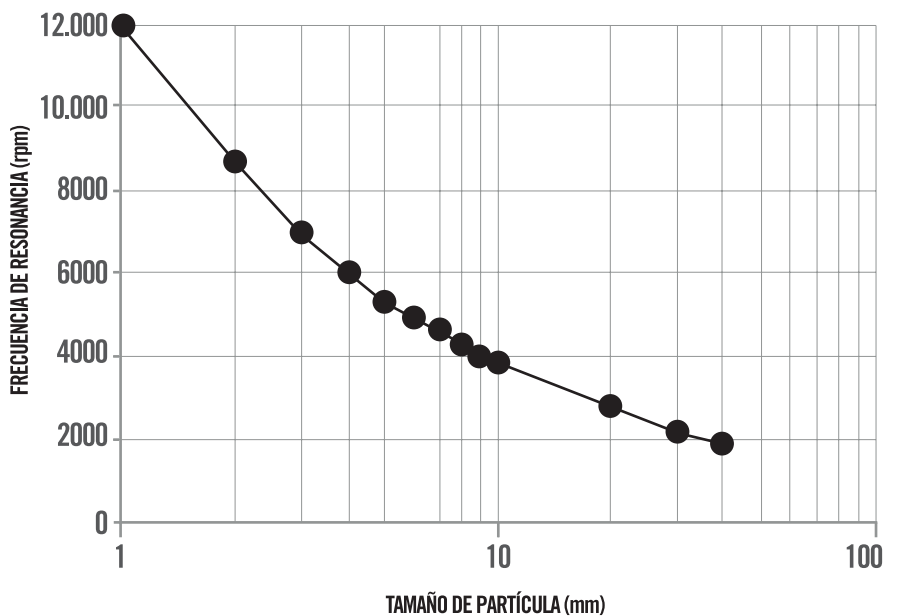
Asimismo, cabe destacar que una compactación más allá de lo aconsejable, irá en desmedro de la calidad del hormigón por los efectos de segregación que se pueden generar, como también, daños en la permeabilidad y durabilidad del elemento hormigonado.

Una manera de visualizar el período adecuado de compactación mediante vibrador de inmersión, es la de observar la superficie del hormigón y comenzar a retirar lentamente la sonda cuando disminuya la cantidad de burbujas de aire que llegan a ella.

Para un buen proceso de compactación, hay que tener presente que, cada partícula tiene su propia frecuencia natural, por tanto, para lograr el fenómeno de resonancia, es necesario aplicarle una frecuencia similar a su frecuencia natural. Es así como, para lograr su resonancia, las partículas de mayor tamaño requieren menores frecuencias y las partículas de menor tamaño requieren mayores frecuencias. La siguiente gráfica relaciona el tamaño de partículas con la frecuencia que debe ser aplicada para estar bajo el fenómeno de resonancia. (Gráfico N° 2).

Gráfico N° 2. →

Relación entre los tamaños de partículas y la frecuencia de oscilación necesaria para generar resonancia ("Fundamentos sobre la Compactación del Hormigón", Wacker, 2001).



Ejemplo de lo señalado, es que, de saber la diversidad de tamaños de partículas, desde un tamaño máximo nominal (20 mm o 40 mm) hasta tamaños de bastante menores que 1 mm, ello conlleva a inferir que la frecuencia adecuada debe ser mayor a 9.000 rpm. En caso de hormigones con mayores contenidos de partículas menores, por ejemplo, fluidos y de altas dosis de cemento, la frecuencia adecuada supera el 12.000 rpm.

Asimismo, el monitoreo y control de las densidades de las probetas para ensayos de resistencia reviste una importancia tal, que impide aceptar que se considere como una tarea que se realice en forma despreocupada.

ENRASE Y ALISADO

Se debe enrasar el hormigón superficial con platacho u otro elemento apropiado, evitando la separación del mortero y el árido grueso. Finalmente, se debe alisar la superficie con llana, de modo que no existan variaciones mayores que 2 mm con respecto al plano formado por los bordes superiores del molde.

IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS

El objetivo de la identificación de las probetas de hormigón es asegurar la trazabilidad de la información, desde dicha identificación hasta el ensayo de la probeta en el laboratorio.

Una recomendación, que plantea la norma para mantener la trazabilidad, es marcar los moldes con una identificación fija. Anotar esos números en el documento de registro de muestreo y, posteriormente, en la etapa de desmolde, marcar en forma indeleble en la superficie curva de cada uno de los cilindros, el número de registro y la fecha de confección del hormigón muestreado.

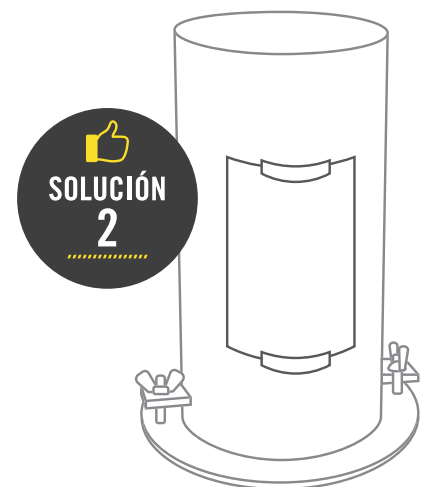
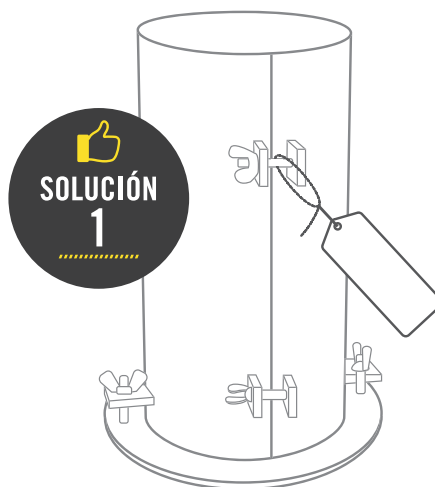
La identificación no recomendada es la de “papelitos” sobre las caras planas de los cilindros, más adecuado sería colocar en las asas del molde

un sello plástico para que cuando se desmolde en el laboratorio, este número sea transcrito a la superficie curva del cilindro en forma segura, legible y durable.

Las marcas, o etiquetas, sobre las caras planas de las probetas cilíndricas pueden alterar la forma y, posteriormente, la adherencia de dichas superficies con el material de refrentado. Por ello, se debe asegurar no generar daños que alteren la superficie de contacto con el refrentado y si esto se llega a producir, se debe desbastar, pulir o afinar de manera de restituir la superficie.

Lo adecuado es usar un método de identificación, mediante cualquier procedimiento, que no altere el tamaño, forma o características estructurales de las probetas.

Problemas con el uso de "Papelitos"



CURADO INICIAL DE PROBETAS EN OBRA

Las probetas, una vez moldeadas, enrasadas y alisadas, deben recibir protección y el curado inicial. Esto último se puede realizar en el mismo lugar de moldeo o en otro lugar cercano dispuesto para ello. El traslado de las probetas se debe realizar de forma inmediata y de manera cuidadosa por el mismo personal que las ha moldeado, con la precaución de volver a alisar la superficie si esta ha sido alterada por el movimiento. En este caso, asegurarse de trasladar las probetas al lugar de curado inicial, procurando no superar los 15 minutos después de haber confeccionado las probetas.

Durante el curado inicial de las probetas en obra se debe evitar siempre la pérdida de agua por evaporación y se debe mantener la temperatura del ambiente en torno a los 16°C y 27°C, desde el momento mismo del moldeo.

- a. Para mantener la humedad, y evitar la evaporación, se deben usar, entre otros, algunos de los procedimientos siguientes o una combinación de ellos:
 - Inmediatamente después de ser moldeadas, enrasadas y alisadas las probetas se deben mantener dentro de un recipiente con agua tranquila saturada con cal, de forma que siempre permanezcan completamente sumergidas.
 - Proteger el conjunto de probetas y moldes por todos sus lados con láminas plásticas, arena, aserrín o arpilleras constantemente húmedas, dentro de un envase o recinto adecuado hasta el momento del desmolde.
 - Cualquier otro método que permita evitar la evaporación del agua de las probetas.
- b. Para mantener las probetas en un ambiente de temperaturas especificadas en el rango entre 16°C y 27°C se debe recurrir, entre otros, a algunos de los métodos siguientes o una combinación de ellos:

- Uso de techos para dar sombra;
- Permitir libre circulación de aire;
- Uso de hielo;
- Sistemas de calefactores o enfriadores controlados con termostatos;
- Protecciones térmicas;
- Cualquier otro sistema que permita cumplir el rango de temperaturas especificadas.

El método más simple para lograr los rangos temperatura y evitar la evaporación de agua de las probetas, es dejarlas sumergidas en agua saturada con cal, en un recipiente tapado y en un recinto cerrado

Si el curado inicial se realiza a una temperatura inferior a la mínima establecida (16°C), la resistencia del hormigón, a edades tempranas, puede resultar inferior a la que se obtendría curando las probetas a una temperatura dentro del rango establecido ($16^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$). A edades mayores, los resultados pueden ser menores si las probetas han tenido un curado inicial a una temperatura mayor al máximo establecido (27°C).

Con el propósito de determinar la resistencia potencial del hormigón que contiene una probeta, es fundamental que ésta sea curada en forma estandarizada y de acuerdo con los procedimientos establecidos en las normativas pertinentes. Lamentablemente, se da una mala interpretación a lo especificado por la normativa vigente, cuando en ella se establece que se debe evitar la evaporación. En esa palabra es necesario detenerse para encontrar su verdadero significado, que es, impedir que la masa de hormigón pierda parte del agua que es componente de la mezcla del hormigón.

En ciertas oportunidades, es necesario confeccionar probetas que sean curadas en iguales condiciones ambientales que el hormigón colocado en los elementos de la obra. Esta situación se contempla en la normativa y se le denomina "Curado de probetas especiales", y obedece, exclusivamente, para efectos de estimar la resistencia real del hormigón del elemento y así determinar el momento de descimbre, puesta en servicio, entre otros, pero no puede ser considerada para evaluar la calidad potencial del hormigón. Incluso, la metodología de dejar las probetas en las condiciones ambientales en que se encuentra la obra, sólo sirve como un indicador aproximado de lo que ocurre en el elemento hormigonado, puesto que el nivel de compactación, desarrollo de temperatura, humedad relativa y efectos de confinamiento, entre otros, no son, en absoluto, similares entre un elemento que contiene muchos litros más de hormigón que los de una probeta.

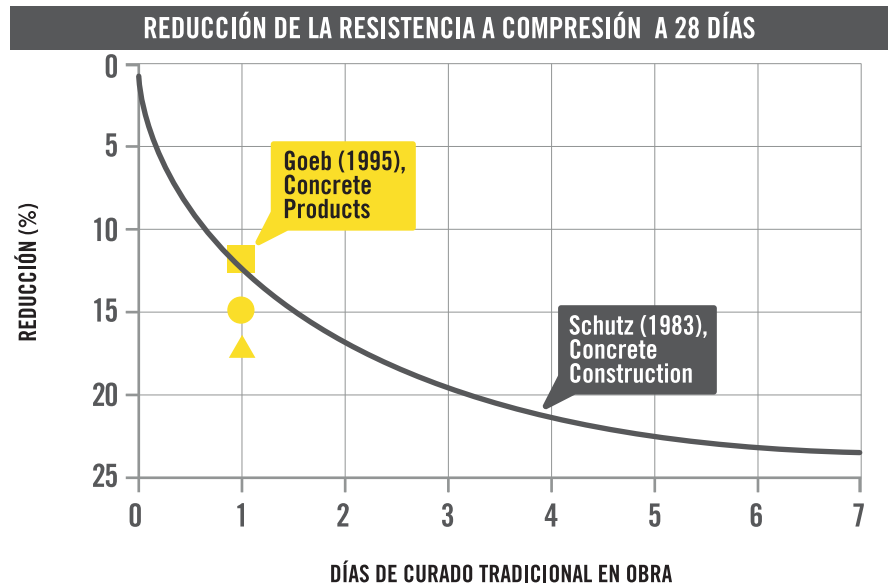
Las probetas curadas en condiciones de obra son útiles para verificar si el procedimiento de curado de la obra es adecuado o no. Según ACI318, el procedimiento se considerará adecuado si las resistencias de las probetas curadas bajo las condiciones de la obra resultan igual o mayor al 85% de las resistencias de las probetas curadas en forma estandarizada, todas ensayadas a la edad designada para la resistencia especificada f'_c . De lo contrario, se deben adoptar medidas adicionales para mejorar el sistema de curado de los elementos de hormigón de la obra.

El procedimiento y condiciones de curado de las probetas están claramente especificadas en todas las normas relacionadas con el tema. El no cumplimiento de estas especificaciones derivarán en una disminución, no despreciable, de las resistencias que arrojarán las probetas.

A modo de información, el Gráfico N° 3 presenta resultados que permiten estimar la reducción en la resistencia a compresión a 28 días, por el sólo hecho de que las probetas permanezcan en forma descuidada algunos días en terreno.

Gráfico N° 3. →

Efectos en la resistencia a 28 días por curados insuficientes durante los primeros días de permanencia de las probetas en obra (Adaptado por A. Holmgren de Goeb O. Eugene (1995), "New Strenght Test Research", Concrete Products y de Schutz J. Raymond (1983), "... On Sampling, Testing and Making Concrete Test Specimens", Technical Bulletin, Protex Industries, Inc., Concrete Construction.



- Desprotegida en ambiente seco, a la sombra, T=27 °C
- Desprotegida a todo sol. Entre las probetas T=42 °C
- ▲ Envueltas en arpilleras húmedas y selladas en polietileno, a todo sol. Bajo el polietileno T=57 °C

Asimismo, otras investigaciones demuestran que las magnitudes de disminución de las resistencias no son, en ningún caso, despreciables, llegando a valores entorno al 15% de reducción de la resistencia a compresión a 28 días, por haber curado las probetas durante las primeras 24 horas en forma no normalizada.

Implicancias y cuidados en el curado inicial

En una obra en época de invierno y situada en la zona central del país, se estableció que el suministro de hormigón, para la confección de vigas postensadas, se realizará los sábados de cada semana, a modo de ganar tiempo del fin de semana y obtener 30 MPa en probeta cilíndrica al tercer día, es decir, cada martes siguiente.

La faena del primer fin de semana se desarrolló sin sobresaltos. Sin embargo, al segundo fin de semana, los resultados de las probetas ensayadas al tercer día indicaron una resistencia promedio de 14,5 MPa.



Ante esta situación, se investigaron los registros de carga y los tiempos de vida del hormigón antes de entregarse, entre otros datos, sin éxito para encontrar una explicación.

En forma paralela, se solicitó inspeccionar visualmente los cilindros ensayados, sorprendiendo la excesiva rotura en las cabezas superiores de los cilindros y observando marcas tipo "rasguño" en sus superficies curvas.



Un técnico laboratorista de vasta experiencia recordó la apariencia que se tiene en los charcos de agua cuando han quedado expuestos a temperaturas de congelamiento, las que son exactamente iguales a las observadas en las superficies curvas de los cilindros.

La hipótesis que se planteó fue que los excesos de rotura en las cabezas expuestas de los cilindros evidenciaban baja resistencia por estar detenido su desarrollo normal, debido a la baja temperatura soportada por dicha parte del cilindro (las superficies curvas, al menos, habrían sido protegidas por el metal del molde), y que los "rasguños" observados provenían del congelamiento de la película de agua que se forma en la interfaz del hormigón en contacto con la superficie metálica interna de los moldes.

Para confirmar tal hipótesis, se procedió a revisar los registros de temperaturas de ese fin de semana, concluyéndose que habían existido temperaturas bajo cero, tanto el domingo (-2,0 °C) como el lunes (-1,0 °C).

Con estos antecedentes se inspeccionaron las superficies ya desmoldadas de la viga, dando cuenta que ellas, por haberse utilizado moldaje de madera de 25 mm de espesor, no presentaban los "rasguños". De esta forma, se pidió al ingeniero administrador extraer testigos y ensayarlos a la brevedad para confirmar que el hormigón de la viga no estaba afectado de la misma forma como lo fueron los cilindros.

Lo anterior demostró que la resistencia a los 9 días era de 47,8 MPa, en cambio, el ensayo a 9 días de un cilindro restante y que habría sufrido el congelamiento superficial indicó sólo 17,8 MPa, con lo cual se pudo constatar que no era necesario pensar en demoliciones ni refuerzos.

Posterior a este episodio fue factible convencer al ingeniero que era necesario proteger los cilindros de la intemperie para efectos de evaluar la calidad que se le estaba suministrando, a lo cual accedió disponiendo una gran caja de madera protegida con polietileno expandido y con una ampollita de 75 watt encendida en su interior, además de un termómetro de registro de temperaturas máximas y mínimas, a fin de verificar que no se obtuvieran temperaturas extremas.

Asimismo, se procedió a mantener protecciones térmicas en las futuras vigas, solucionándose de esa forma el problema en forma definitiva en las siguientes faenas.

Cabe señalar que en esa oportunidad no se atendió la necesidad de, también, aportarle humedad de saturación a las probetas como debió ser, por ejemplo, mediante el estanque con agua de temperatura controlada como se observa en la foto adjunta.



Con este tipo de curado en estanque lleno con agua, y equipo de sistema de termostato y calefactores, se asegura la temperatura y evita completamente la evaporación.

Curados totalmente inadecuados, como los que se observan en las fotografías adjuntas, son reales reflejos de situaciones conflictivas en la realidad.

Obsérvese el caso en que el registro de temperatura en la superficie exterior de la lámina de polietileno sobrepasa los 40°C , lo que permite inferir que, bajo dicha lámina, en el medioambiente de las probetas, la temperatura debe ser superior, lo que equivale a estar sometiendo al hormigón de las probetas a verdaderos procesos de curados acelerados, con la consecuente disminución de resistencia a las edades maduras, por ejemplo, de 28 días.



.....

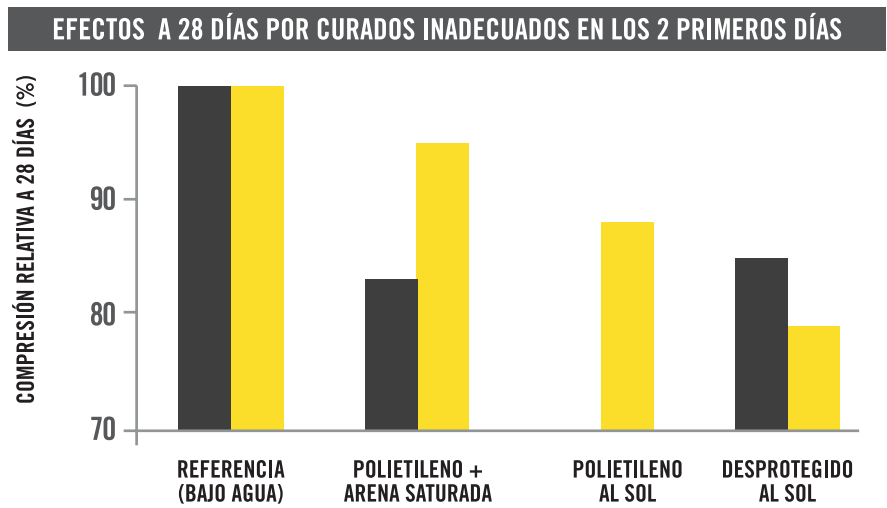
→

Probetas en que se evidencia la condensación bajo el polietileno del agua expulsada de la masa del hormigón, es decir, el hormigón ha perdido agua y con ello capacidad de hidratación y curado y, por ende, resistencia.



No es fácil comentar este tipo de situaciones inadmisibles, pero son reales y se deben evitar de todas maneras.

Las situaciones indicadas se han verificado mediante ensayos a fin de evaluar las posibles implicancias en los resultados. Parte de ello se resume en el Gráfico N°4.



← Gráfico N° 4.

Efectos en la resistencia a compresión a 28 días por diversos procesos de curados iniciales. Adaptado por A. Holmgren de "La importancia de un correcto curado de las probetas de hormigón", (Holmgren A. et al, II Encuentro Mundial de la Industria del Hormigón Preparado, Sevilla, Junio 2007 y Goeb O. Eugene (1995), "New Strength Test Research", Concrete Products, 1995).

- Fuente: Revista Concrete Products, Dic. 1995
- Fuente: "La Importancia de un Correcto Curado de las Probetas de Hormigón", Holmgren A, et al, Jun. 2007

Por lo tanto, las soluciones para evitar estas anomalías en la determinación de las resistencias a la compresión son variadas, pero la solución más recomendada es aquella en que se procede a sumergir completamente las probetas en saturada con cal, inmediatamente después de haberlas confeccionado.

Es importante hacer notar que este procedimiento también permite asegurar de mejor forma la horizontalidad del conjunto piscina, agua y, especialmente, probetas.



DESMOLDE Y TRASLADO DESDE LA OBRA HASTA EL LABORATORIO

Desmolde de probetas

Se deben desmoldar las probetas cilíndricas después de 20 horas, siempre que las condiciones de endurecimiento lo permitan, sin causar daños a las muestras.

Curado de las probetas desmoldadas

El curado de las probetas cilíndricas desmoldadas se debe realizar manteniéndolas completamente sumergidas en agua saturada con cal a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} + 2^{\circ}\text{C}$.



////// Para obtener la saturación del agua con cal se recomienda adicionar una dosis de 3 g/L de hidróxido de calcio (cal hidráulica o cal apagada).
 //////

Sólo para probetas cilíndricas se puede curar en cámara húmeda a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} + 2^{\circ}\text{C}$, manteniendo una humedad relativa del aire mayor o igual que 95%, exceptuando los momentos en que las probetas se estén introduciendo o sacando de la cámara húmeda. Esta cámara de curado debe asegurar que la superficie de las caras de todas las probetas almacenadas se mantenga permanentemente con agua libre superficial, de tal forma que ellas se vean y se sientan húmedas. El uso de equipos medidores y registradores de humedad relativa es opcional.



////// Para que las probetas mantengan agua libre superficial de forma que siempre se vean y se sientan húmedas, la cámara húmeda debería tener una adecuada distribución de los pulverizadores de agua para que alcancen todas las zonas y se debería realizar un adecuado mantenimiento de ellos de manera de evitar su obstrucción. La textura de las probetas o su edad puede influir para que algunas zonas localizadas de las probetas no se vean ni se sientan húmedas, lo que se debería tener en cuenta al momento de inspeccionar la cámara húmeda.
 //////

Es altamente recomendable hacer todos los esfuerzos factibles para que el curado siempre sea hecho sumergiendo la muestra bajo agua saturada con cal y a la temperatura dentro del rango ya señalado.

Plazos de traslado de las probetas

Para el traslado y/o desmolde de las probetas se debe tener en consideración que la resistencia del hormigón a temprana edad es aún baja y es fácil deteriorar su geometría.

Se deben proteger las probetas de golpes o raspaduras que puedan alterar sus aristas y superficie, evitando la pérdida de humedad hasta su recepción en el laboratorio.

a. En sus moldes:

Las probetas cilíndricas deben ser trasladadas al laboratorio después de 20 horas, siempre que las condiciones de endurecimiento permitan el traslado sin causar daños.

Las probetas pueden ser trasladadas al laboratorio en plazos menores a los señalados anteriormente, considerando un plazo no menor que 16 horas para las probetas cilíndricas, si las condiciones de endurecimiento lo permiten y si las partes involucradas lo acuerdan previamente, tomando las medidas técnicas correspondientes.

Todos los tipos de probetas no deben permanecer en obra más de tres días después de moldeadas, salvo en situaciones excepcionales en que se tomen todas las precauciones para mantener las condiciones de curado inicial indicadas previamente, sin exceder de ninguna manera los cinco días de permanencia en terreno.

b. Desmoldadas:

Aunque no se recomienda, en situaciones excepcionales, las probetas pueden ser transportadas desmoldadas al laboratorio, en un plazo igual o mayor que tres días desde el momento del moldeado, siempre

que las condiciones de endurecimiento permitan el traslado sin causar daños, salvo que por condiciones especiales de diseño del hormigón sea necesario realizar el traslado antes de tres días, según acuerdo previo de las partes.

En todo caso, desde el desmolde de las probetas en obra y hasta su retiro desde ésta para su traslado al laboratorio, deben ser sometidas al procedimiento de curado ya indicado.

Durante el traslado, las probetas desmoldadas se deben proteger cuidadosamente de golpes o raspaduras que afecten sus aristas o superficie y se deben usar sistemas para mantenerlas permanentemente saturadas de humedad.

Todas estas excepciones deberán quedar registradas y con acuerdo entre las partes.



//////
Un sistema para proteger la humedad de las probetas desmoldadas durante el transporte puede ser una caja de madera con otro material que amortigüe los golpes, como arena o aserrín húmedo u otros materiales compresibles que mantengan humedad.
 //////

En la etapa de desmolde se pueden generar daños físicos o deterioros en la forma de las probetas que son perjudiciales al momento de evaluar la resistencia a compresión.

A continuación, podemos apreciar casos en que el deterioro es significativo e irreversible.



Siempre se hace necesario trasladar las probetas al laboratorio para terminar allí su proceso de curado hasta el momento de los ensayos. Sin embargo, siempre será mejor trasladar las probetas en sus moldes, pues ayuda a asegurar su integridad física.

Traslado de probetas al laboratorio

Procedimiento completamente inadecuado que no asegura las condiciones de hidratación, de ausencia de golpes y vibraciones, etc., lo cual se atenta contra la resistencia potencial del hormigón.



CURADO DURANTE LA ESTADÍA EN EL LABORATORIO

Ya en el laboratorio y desmoldadas, se debe aplicar correctamente el proceso de curado; de no ser así se pueden generar anomalías en el resultado del ensayo. Veamos algunos casos.

//// ////
Cámara de curado en que se observan diferentes estados de humedad en el medioambiente
 //// ////



Si surgen dudas acerca de la capacidad de mantener un nivel de humedad por sobre el 95% durante las 24 horas de cada día, es recomendable utilizar el sistema de inmersión bajo agua hasta el día del ensayo.



Protección previa al ensayo

Las probetas para ensayar se deben mantener húmedas, mediante cualquier método conveniente, durante el periodo comprendido entre el retiro desde el sistema de curado de laboratorio, hasta el ensayo. Estas deben ser ensayadas en condición húmeda.

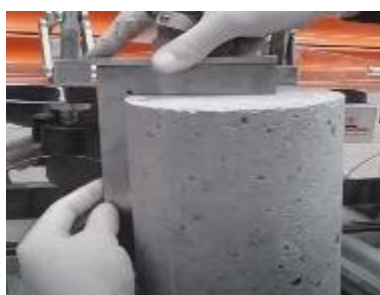
Para el caso de probetas cilíndricas, el tiempo desde el retiro del sistema de curado en laboratorio hasta su ensayo debe ser menor que 3 horas.

La pérdida de humedad provoca inmediatos efectos de diferencias de retracción por haber zonas de la probeta que se secan y otras (al interior) que aún se mantienen altamente húmedas. Lo anterior provocará diferenciales de tensiones en el hormigón antes de ser ensayado, por lo que sus resultados ya no serían representativos de la capacidad potencial del hormigón.



REFRENTADO DE PROBETAS (NCh1172)

El objetivo del refrentado es cubrir las irregularidades superficiales que pudieran presentarse en las caras de carga de la probeta, de manera que resulten superficies totalmente planas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje de la probeta, generando que, al proceder al ensayo de compresión, las presiones se repartan uniformemente en toda la superficie de las caras de carga. No obstante, se recomienda que dicho objetivo se logre mediante el rectificado mecánico de las caras de carga de la probeta, con equipos especialmente diseñados para esta función.



Se debe tener presente que el origen de las materias primas del refrentado, es relevante en su desempeño. Con lo anterior se quiere decir que, para cambiar de proveedor de materias primas, se debe evaluar previamente el desempeño del mortero de azufre que este provee. Diferentes fuentes de azufre, generan diferentes velocidades de endurecimiento y la resistencia requerida no siempre es lograda a las edades especificadas para realizar los ensayos.



No se deben aplicar procesos no contemplados en la normativa para apurar el secado de la superficie, aunque sea para aplicar prontamente el refrentado. Este tipo de malas prácticas, como el de someter a flamas directas las superficies de las probetas, genera un daño en la resistencia del hormigón superficial y en la adherencia entre dicha superficie y el material de refrentado que se le colocará. Cabe señalar que la norma señala que sólo es posible disminuir la velocidad de endurecimiento de la mezcla al momento del refrentado, entibiando la placa base del aparato alineador previo a su uso.

Debe comprobarse que la capa de refrentado haya quedado bien adherida, con golpes suaves de algún elemento metálico; si el sonido es hueco es indicativo de mala adherencia y debe removerse para rehacer.

El refrentado de azufre es aplicable a hormigones cuya resistencia a la compresión especificada (medida en probeta cilíndrica) es menor a 45 MPa. La resistencia del mortero de azufre debe ser mayor a la resistencia del hormigón que se ensaya.

Periódicamente, y cada vez que se cambien los materiales o las proporciones de la mezcla del mortero de azufre, debe determinarse una nueva curva resistencia-edad, de manera de poder saber cuándo el mortero está apto para ensayar el hormigón (1 - 1,5 - 2 - 2,5 o más horas).

Si el mortero de azufre no satisface las condiciones anteriores, no puede ser utilizado para refrentar probetas y estas deberán ser rectificadas.

Pese a no ser el más recomendado, la norma también señala el refrentado con pasta de cemento.

Veamos algunos casos de situaciones que se debe evitar



Roturas defectuosas: que deben alertar sobre la necesidad de realizar comparaciones y así asegurar que los resultados son fidedignos de la calidad del hormigón analizado.



Alta cantidad de porosidades: que provoca adherencia defectuosa, por lo que se debe mantener un protocolo de revisión periódica de esta tarea.

Calentar a mayores niveles de temperatura que lo necesario el material de refrentado, genera mayor contaminación ambiental.

Mantener un lugar de trabajo ordenado, limpio y con sistemas aprobados: para evitar inhalaciones y emisiones de gases tóxicos. Para evitar esto último, existe la posibilidad de aplicar trampas de agua u otro tipo de filtro. Es importante asegurar la efectividad de la trampa de agua o el filtro.



Refrentado confeccionado con mezcla segregada: hará que la distribución de tensiones hacia el hormigón no sea uniforme.

Refrentado de mala ejecución: arrojará resultados inadecuados, pues la distribución de tensiones hacia el hormigón no será uniforme y concentrará las tensiones en puntos en que se originarán fallas que llevarán a rotura general y sin lograr la representatividad de la resistencia potencial del hormigón.

Existen disposiciones normalizadas respecto a la aplicación y calidad del refrentado que debe utilizarse para lograr una superficie adecuada en las caras de carga de las probetas cilíndricas y los testigos de hormigón. Sin embargo, en opinión de este comité, dichas disposiciones no son siempre consideradas por los laboratorios al momento de refrentar, más aún, se han podido observar cilindros y testigos refrentados tan sólo en una cara, o bien con espesores de refrentado más allá de lo adecuado. Cabe recordar que, mientras menor sea el espesor, mejor será el traspaso de tensiones hacia el hormigón desde el refrentado mismo.

RECTIFICADO DE PROBETAS DE HORMIGÓN

La preparación de las caras de carga de las probetas se torna crítica cuando han de ensayarse resistencias a la compresión especificada para el hormigón mayores o iguales a 45 MPa, por lo que se debe proceder a rectificar mediante equipo mecánico de precisión, en lugar del uso del refrentado. La norma impide la utilización de refrentado para estos niveles de resistencia del hormigón.

El procedimiento de rectificado, debe asegurar la planeidad, paralelismo y perpendicularidad de las superficies de carga.

Si al aplicar el rectificado, la superficie de carga presenta desprendimiento de hormigón, la probeta se debe cortar y rectificar nuevamente. Si el daño es de poca profundidad respecto a la superficie, puede corregirse mediante la misma rectificación, sin necesidad de aserrar. Se debe verificar la esbeltez de la probeta a ensayar.



Cojines Elastoméricos

La otra alternativa que se presenta en la norma, para hormigones cuya resistencia a la compresión especificada se encuentre entre 10 y 45 MPa (medida en probeta cilíndrica), es la de usar cojines de neopreno insertos en anillos de retención (ASTM C1231), los que absorben las irregularidades de las superficies de carga. El método es mucho más rápido y no contaminante; sin embargo, hay opiniones contradictorias en cuanto a resultados.

El uso de placas de neopreno requiere un constante y acucioso seguimiento a fin de evitar roturas anómalas que sean reflejo de resultados inferiores a los que debieran ser. Quizás un programa de seguimiento de probetas hermanas podría ser recomendable.



Cojines y anillos de retención



MARGAL PULL

ND

ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NCh1037)

APARATOS

Prensa de ensayo

Debe tener la rigidez suficiente para resistir los esfuerzos del ensayo sin alterar las condiciones de distribución uniforme de las tensiones en la probeta. Además, un sistema de rótula que permita hacer coincidir la resultante de la carga aplicada con el eje de la probeta.

La superficie de la placa sobre la que se aplica la carga, debe ser lisa y plana, con una desviación máxima de 0,015 mm en 100 mm de planitud, medido en cualquier dirección.

La dimensión de la arista o del diámetro de las placas de carga debe ser mayor o igual al diámetro de la probeta.

Se permite el uso de placas suplementarias sólo para disminuir la distancia entre las placas. En ningún caso las placas suplementarias pueden tener dimensiones mayores a la de los platos originales de la prensa de ensayo. Las placas suplementarias deben tener sus caras rectificadas de y una dureza mayor o igual a la de las placas de la prensa.

Además de lo anterior, se requiere evitar todo tipo de suples para lograr el ajuste de la altura de la probeta y la distancia entre las placas.

En caso de no ser factible evitar dichos suples, éstos deben ser constantemente inspeccionados a fin de asegurar su buen estado y detectar deformaciones o desajustes que pudiesen generar movimientos durante el ensayo.



A continuación, se pueden observar situaciones que no son las adecuadas al respecto, pero comunes de encontrar.



Placas suplementarias

Situaciones de suples en malas condiciones que no evitan posibles movimientos y desajustes durante el ensayo generando, inevitablemente, resultados anómalos.



Es importante verificar, también, la verticalidad, centro a centro, entre placa inferior y superior. La fotografía anterior demuestra falta de verticalidad que es generadora de roturas anómalas e inadecuadas.

La sensibilidad de la prensa debe ser tal que la menor división de la escala de lectura sea menor o igual que el 1 % de la carga máxima.

La exactitud de la prensa debe tener un error de ± 1 % de la carga.

En general, el rango utilizable se considera comprendido entre el 10 % y 90 % de la lectura máxima en la respectiva escala de lectura, sin embargo, el rango utilizable queda definido en el certificado de calibración. La calibración se debe efectuar con una frecuencia que no exceda los 12 meses y según lo establecido en NCh 2598/1.

Las prensas de ensayo se deben calibrar cada vez que se efectúe una reparación y cada vez que se realice un traslado de la misma.

La prensa debe contar con dispositivos de regulación de la velocidad de aplicación de carga.

ACONDICIONAMIENTO DE LAS PROBETAS

Las probetas se deben retirar del curado inmediatamente antes del ensayo y en todo momento se debe resguardar la mantención de la condición de humedad. Una alternativa puede ser cubrir las muestras con arpilleras mojadas hasta el momento en que se colocan en la máquina de ensayo. Recomendaciones generales de la protección de las probetas pueden ser consultado en la NCh1017. De hecho, deben ensayarse en condición húmeda.



Cabe señalar que, producto que algunas probetas cilíndricas serán refrentadas, también se advierte en la normativa vigente respecto del tiempo desde el retiro del sistema de curado en laboratorio, hasta su ensayo, el cual debe ser menor a 3 horas y se reitera que las probetas deberán ser ensayadas en condición húmeda.

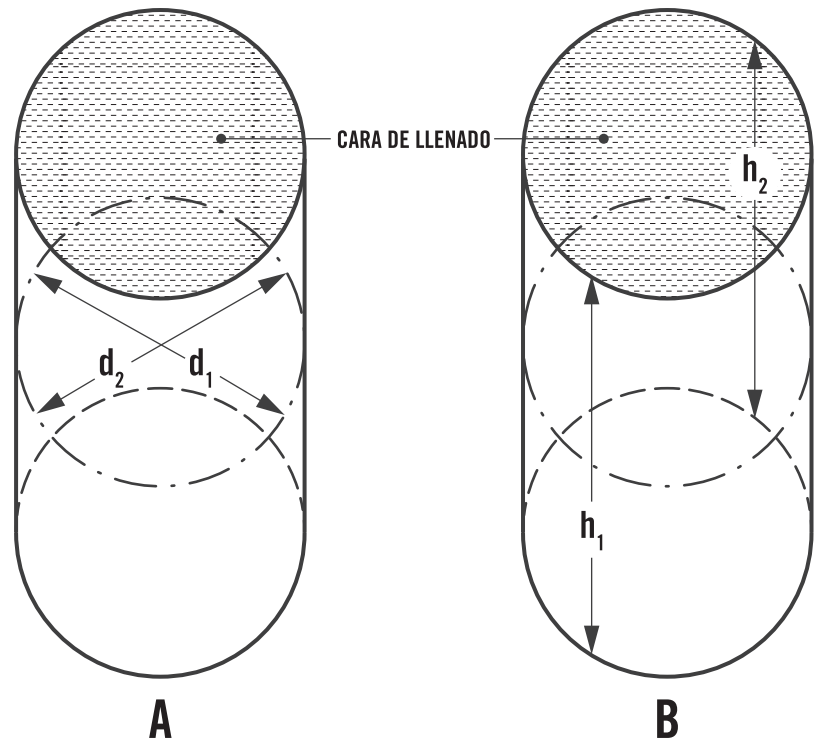
MEDICIÓN DE LAS PROBETAS CILÍNDRICAS

- a. Medir dos diámetros perpendiculares entre sí (d_1 y d_2) aproximadamente en la mitad de la altura de la probeta (ver Figura 1 A).
- b. Medir la altura de la probeta en dos generatrices opuestas (h_1 y h_2) antes de refrentar (ver Figura 1 B).

- c. Expresar estas medidas en milímetros (mm) con aproximación a 1 mm.
- d. Determinar la masa de la probeta en kilogramos (kg) inmediatamente antes de refrentar según NCh1172, aproximando, como máximo, a 0,02 kg.

Figura 1. →

Medición probetas cilíndricas



ENSAYO

- Limpiar las superficies de contacto de las placas de carga y de la probeta y ponerla en la máquina de ensayo alineada y centrada.
- Durante el proceso de acercamiento de la placa superior de la máquina, verificar que esta se apoye uniformemente en la probeta.
- La etapa de centrado es realmente compleja y requiere alta precisión. Para ello, existen aditamentos que ayudan a que la probeta quede centrada respecto al eje central de las placas de ensayo de la prensa.
- Colocar la probeta cilíndrica con una de sus caras, refrentada o rectificada, sobre la placa de carga inferior.
- Si la máquina lo requiere, asentar la placa superior sobre la probeta guiándola suavemente con la mano para poder obtener un apoyo de la placa lo más uniforme posible.



Elementos que ayudan al centrado de probetas respecto a las placas de la prensa.

Consideraciones a tener en cuenta que pueden afectar el resultado del ensayo:

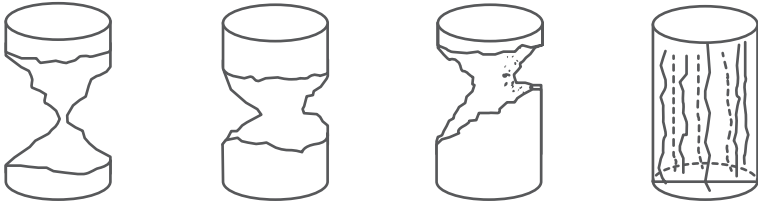
- Tener particular precaución y cumplimiento de lo solicitado en NCh1172, en cuanto a perpendicularidad y planeidad.
- Las probetas que no cumplan con la geometría no deberán ser ensayadas, por no cumplimiento de estándares señalados en la normativa de ensayo.
- Se debe cumplir la verificación de los moldes según el programa establecido por cada laboratorio acreditado.
- Se debe velar por el cumplimiento de las condicionantes dimensionales y de perpendicularidad, establecidas para los moldes según la NCh1017.
- Uno de los factores por los cuales se generan resultados anómalos son el incumplimiento geométrico de los moldes.
- Consideraciones adicionales.
- Se debe a realizar un análisis cuando los resultados son anómalos, invitando a revisar posibles causas, además de efectuar una investigación al respecto y dejando constancia de ello en el historial de la probeta.

Se debe verificar que las resistencias inferiores a las esperadas, sean causadas por variados efectos; es útil inspeccionar el tipo de rotura de las probetas. Para ello, se adjunta un esquema que permite identificar roturas anómalas de aquellas normales. Esto último es de bastante ayuda para el operador de la prensa de ensayo, que puede asignar un comentario conforme al tipo de rotura de cada probeta ensayada.

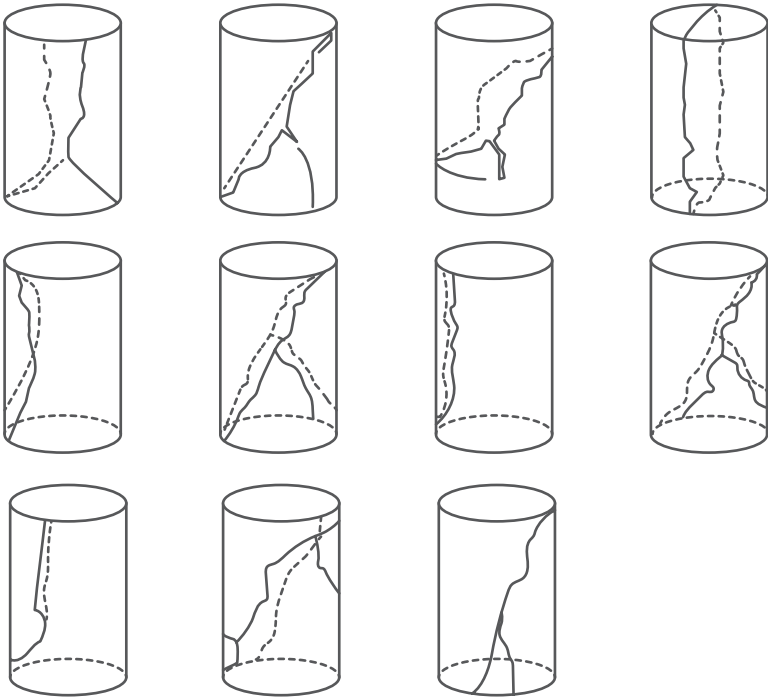
De no consignarse estas situaciones en ese mismo instante, se dificulta enormemente un posible análisis posterior, toda vez que, normalmente, las probetas son desechadas y difíciles de encontrar entre todas las que un laboratorio ensaya diariamente.

Las probetas con agrietamiento excesivo en una cara, a veces acompañado por grietas de tracción en una o más caras, deben ser descartadas del análisis de resultados.

ROTURAS CORRECTAS



ROTURAS INCORRECTAS



.....
→
Grietas de tracción por descentrado



.....
→
Roturas verticales por falta de roce entre las placas y las cabezas del cilindro.

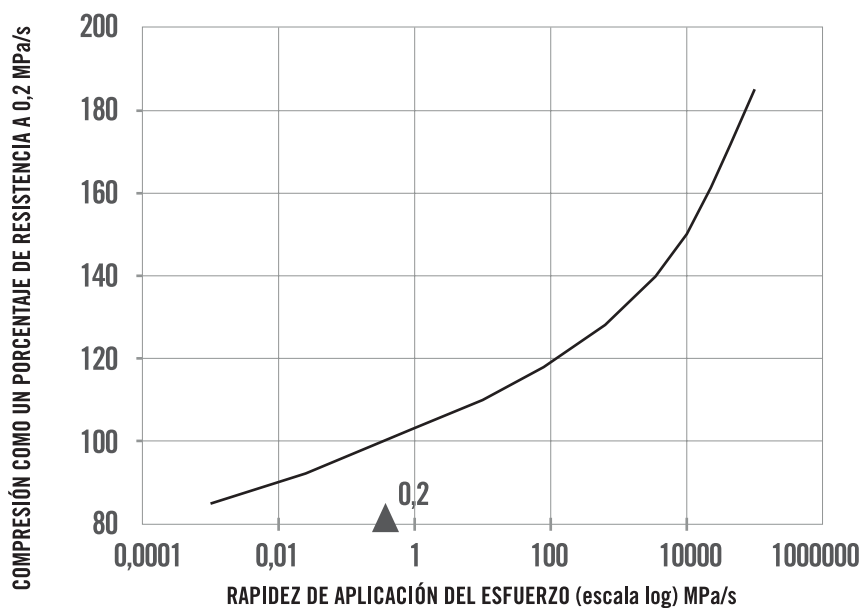


Consideraciones del resultado de ensayo de compresión en probetas gemelas

Generalmente se considera que por cada muestra se confeccionan: dos probetas gemelas para el ensayo de resistencias a 28 días y una para ensayo a 7 días. Al analizar los resultados del ensayo se debe vigilar que la diferencia de la resistencia a la compresión entre ellas no sea mayor al 10%; si fuera mayor, esta situación se debe alertar al laboratorio para realizar un análisis de producto no conforme.

Velocidad de Ensayo

La velocidad de ensayo, en forma continua y sin choques, debe ser de 0,25 MPa/s (con una tolerancia de 0,05 MPa/s).



← Gráfico N° 5

Fuente: Foto de Neville

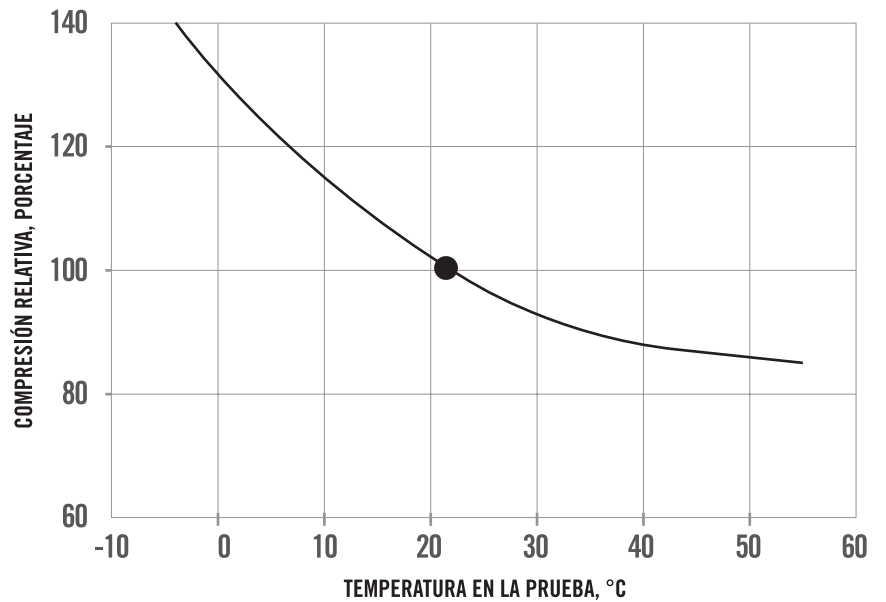
El control de velocidad es parte relevante para obtener un buen resultado del ensayo y cumplimiento de lo establecido en la norma; velocidades diferentes a las estipuladas en forma estandarizada generarán resultados no comparables, por lo que este aspecto debe estar verificado de acuerdo con el control de calidad interno del laboratorio.

Tener presente, además, que la temperatura de la probeta, al momento del ensayo, no debiera diferir mucho de aquella a la cual estuvo siendo

sometida durante el proceso de curado, esto es 20°C. Esta es la temperatura estandarizada y diferencias al respecto generarán resultados disímiles y poco reproducibles.

Gráfico N° 6. →

Fuente: Foto de Neville



Ensayo hasta la rotura total

Las calibraciones de las prensas son imprescindibles, sin embargo, no son suficientes para garantizar que los resultados sean los adecuados y representativos.



Es necesario controlar que el ensayo se realice hasta asegurar haber logrado la resistencia máxima. A veces se detiene el ensayo antes de llegar a esa situación, derivando en un registro menor al correcto. Para evitarlo, se recomienda esperar que exista involución de la lectura en un 10% de la carga máxima previamente registrada.

Disposición de las probetas ensayadas para su revisión

Es recomendable disponer de las probetas ensayadas en forma ordenada, para revisión en caso de una investigación de resultados distintos a los esperados. Hay casos en que la búsqueda de las probetas bajo interés se debe realizar con mucho esfuerzo y no todas las veces con éxito.



EXPRESIÓN DE RESULTADOS

Las fórmulas que se utilizan para expresar los resultados se encuentran en la misma norma. Sin embargo, es necesario comentar que se deben respetar a cabalidad la metodología y aproximaciones. A veces es factible encontrar que en esta etapa se generan resultados que no son los correctos.

Asimismo, toda la información solicitada debe ser completada; en especial, se debe atender y consignar:

- Defectos observados en cualquier instante del proceso,
- Procedimientos de curado en cada etapa (inicial en obra, durante el transporte desde la obra hasta el laboratorio, estadía en laboratorio, previo al ensayo), y
- Observaciones posteriores al ensayo (tipo de rotura, oquedades, porosidades, elementos extraños, segregación, estado de adherencia del refrentado, etc.), pues aportarán información relevante como para analizar y concluir de mejor forma la calidad del hormigón con los resultados que se obtengan.

TABLA RESUMEN DE ASPECTOS RELEVANTES

Esta tabla resumen entrega algunos aspectos relevantes del procedimiento completo que señalan las normas de ensayos y se pronuncia solamente respecto de las probetas cilíndricas.

Cada columna se identifica con los siguientes conceptos:

- **Etapas:** Hito relevante que se quiere resaltar de la aplicación de cada ensayo.
- **Procedimiento:** Esta columna indica los procedimientos que impactan en el resultado del ensayo de cada norma.
- **Complementos:** Entrega opiniones y condiciones necesarias que la experiencia considera importante resaltar.
- **Observaciones:** Advierte información adicional y destaca algunos temas, más allá de la normativa, que impactan en el resultado del ensayo.

Se debe tener presente que la calidad de los resultados de ensayos también se condice con los requisitos técnicos que señala la NCh-ISO/IEC 17025, en lo relativo a las competencias del personal, el resguardo de las condicionantes ambientales, la calibración, verificación y mantención de equipos, entre otros; con ello se persigue velar por el cumplimiento de los procedimientos de ensayos establecidos en las normas.

EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DEL HORMIGÓN (NCh171-2008)

ETAPA	PROCEDIMIENTO MÍNIMO	COMPLEMENTOS	OBSERVACIONES
MUESTREO	<ul style="list-style-type: none"> • Plazo inferior a 15 minutos. • El tamaño de la muestra para ensayo de resistencia debe ser como mínimo de 30 l. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recipientes como carretillas y elementos como pala, deben estar previamente humedecidos. Verificar que el recipiente no contenga residuos ni presente roturas que permitan pérdida de agua o lechada. • Realizar una completa y adecuada homogeneización en el mismo recipiente y con una pala, no poruñas ni similares. 	Lo relevante es asegurar la representatividad de la muestra respecto al hormigón que se está evaluando.
CONDICIONES DEL ENTORNO	Siempre proteger la muestra del medioambiente.	Se debe evitar cualquier situación que altere la composición y homogeneidad de la muestra (lluvia, viento, polvo, vibraciones e impactos entre otros).	Así como el viento o lluvia pueden alterar la cantidad de agua de la muestra, el polvo modifica su composición y las vibraciones e impactos su homogeneidad.
EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DESDE EQUIPOS MEZCLADORES	Muestrear entre el 10% y el 90% de la descarga mediante extracción en uno o más intervalos regulares durante la descarga.	En forma previa a la extracción es importante realizar un remezclado a máxima velocidad durante unos minutos (máximo 4 minutos para 8 m ³).	<ul style="list-style-type: none"> • Se potencia la homogeneidad de la mezcla y que sea representativa. • Otras extracciones se deben evaluar conforme a la NCh171 vigente.

EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DEL HORMIGÓN (NCh171-2008)

ETAPA	PROCEDIMIENTO MÍNIMO	COMPLEMENTOS	OBSERVACIONES
DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL HORMIGÓN Y MEDIOAMBIENTE	<p>El termómetro debe estar calibrado mediante un certificado externo y tener una variación máxima de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.</p>	<p>La temperatura del medioambiente es útil para relacionarla con la del hormigón fresco y la edad de éste desde el momento de su confección. Registrar la temperatura en el lugar de la toma de la muestra, a la sombra y alejado del cuerpo del lector, a una altura de 1,5 m del suelo, sin tocar el bulbo. Esperar estabilización de lectura (1 a 3 minutos según tipo de termómetro) y registrar aproximando a $0,5^{\circ}\text{C}$.</p>	<p>Temperaturas diferentes entre la del hormigón fresco y medioambiente, permiten contar con información para analizar y evaluar casos tales como, si la mezcla presenta inicio de fraguado, ambiente de alta evaporación, retardos u otros.</p>

DETERMINACIÓN DE LA DOCILIDAD (NCh1019.Of2009)

ETAPA	PROCEDIMIENTO MÍNIMO	COMPLEMENTOS	OBSERVACIONES
PROCEDIMIENTO	Características no absorbentes del material y geometría acorde a la normativa de los elementos a utilizar.	<ul style="list-style-type: none"> Los equipos y herramientas deben estar previamente humedecidos. La varilla debe ser lisa y de punta redondeada. La extracción del molde cónico debe evitar aplicar esfuerzos indebidos al cono de hormigón, por ejemplo, no debe existir rotación del molde ni golpes/impactos. 	Cualquier alteración al cono del hormigón invalida la medición y deberá repetirse.
MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO DE CONO	Se deben respetar cada uno de los pasos establecidos.	<ul style="list-style-type: none"> Se deben evitar diversos aspectos nocivos: inclinación de la placa y/o cono, movimientos e impactos de pisón en placa y/o molde cónico. Asegurar que el pisón penetre en la capa anterior y que en la última siempre exista un exceso al apisonar para luego enrasar. <p>(Llenar con tres capas y no tres capas y relleno).</p>	Siendo un ensayo manual, es importante la experiencia de quien realice estos ensayos para resguardar el cumplimiento de la norma.

CONFECCIÓN Y CURADO EN OBRA DE PROBETAS PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y TRACCIÓN (NCh1017-2009)

ETAPA	PROCEDIMIENTO MÍNIMO	COMPLEMENTOS	OBSERVACIONES
APARATOS	<ul style="list-style-type: none"> Moldes de materialidad y geometría normalizada. Deben ser estancos a la lechada de cemento. Vibradores internos de frecuencia mayores a 6.000 pulsaciones/minuto y de diámetro inferior o igual que 0,25 del diámetro interior del molde. 	<ul style="list-style-type: none"> La probeta que corresponde es el cilindro por ser la considerada en la norma NCh170 vigente, Para el caso de hormigones de granulometrías más finas, se recomienda usar frecuencias mayores a 9.000 pulsaciones/minuto, a modo de generar el fenómeno de resonancia de las partículas más pequeñas. 	<p>El valor de la resistencia de las probetas cilíndricas, no requiere de factores de conversión.</p> <p>Para otro tipo de probetas el factor de conversión lo debe definir el proyectista.</p>
REQUISITOS PREVIOS	Extracción acorde a NCh171.	Los mayores cuidados se deben concentrar en el adecuado armado y limpieza de los moldes y del tipo, cantidad y oportunidad de aplicación del desmoldante según recomendaciones del fabricante.	Suciedades, y/o excesos de desmoldante, pueden alterar la forma de la probeta cilíndrica y/o afectar la resistencia del hormigón por quedar contaminado.
TRANSPORTE DE LA MUESTRA AL LUGAR DE MOLDEADO	Evitar demasiadas vibraciones y trayectos largos durante el transporte, el tiempo no debe exceder los 15 minutos.	Se debe proteger la muestra, de modo que durante el transporte no exista alteración de la muestra (viento, polvo, lluvia, otros). Se aceptan tiempos mayores a los 15 minutos, siempre y cuando existan los acuerdos necesarios y las medidas que la norma indica.	Cualquier alteración de la muestra puede generar resultados no representativos del hormigón.

CONFECCIÓN Y CURADO EN OBRA DE PROBETAS PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y TRACCIÓN (NCh1017-2009)

ETAPA	PROCEDIMIENTO MÍNIMO	COMPLEMENTOS	OBSERVACIONES
MOLDEADO DE PROBETAS	Previamente se debe remezclar la muestra.	<ul style="list-style-type: none"> • El remezclado debe ser enérgico, con pala y no poruña, dentro del recipiente que la contiene. • El lugar escogido debe proporcionar seguridad en cuanto a evitar contaminaciones y golpes, entre otros factores. Además de ello, se debe asegurar horizontalidad del lugar de moldeado. • El llenado de los moldes debe ser completo y no permitir déficit. 	Las inclinaciones del lugar de moldeado y déficit de llenado de los moldes son comunes y alteran los resultados de resistencias.
COMPACTACIÓN DEL HORMIGÓN	Seleccionar el método de compactación acorde con la docilidad del hormigón.	<p>Es recomendable utilizar siempre una compactación mediante vibrado. El vibrador interno no debe tocar las paredes del molde</p> <p>Para el caso de hormigones especiales, el tipo de compactación se realizará según sus especificaciones.</p>	La experiencia indica que se debe asegurar la densidad potencial, extrayendo el máximo posible de aire atrapado. Se estima que por cada 1% de pérdida de densidad se pierde ~5% de resistencia. Por otra parte, el exceso de vibrado puede generar segregación.
IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS	Para la trazabilidad usar una identificación indeleble que no altere las caras de las probetas.	Lo relevante es no marcar de forma alguna las cabezas de las probetas cilíndricas, pues daña la superficie. Lo más adecuado para marcar los cilindros es usar sello o etiqueta fijada en las asas del molde.	Los “papelitos” en las caras de los cilindros pueden generar hendiduras y/o problemas de adherencia con el refrentado, alterando la resistencia durante el ensayo a compresión.

CONFECCIÓN Y CURADO EN OBRA DE PROBETAS PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y TRACCIÓN (NCh1017-2009)

ETAPA	PROCEDIMIENTO MÍNIMO	COMPLEMENTOS	OBSERVACIONES
PROTECCIÓN Y CURADO INICIAL DE PROBETAS EN OBRA	Esta etapa se debe ejecutar de forma de evitar la evaporación y asegurar un rango de temperatura ambiente de entre 16°C y 27°C.	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe asegurar cumplir con los rangos de temperatura que pide la norma y evitar la pérdida de humedad. • La inmersión inmediata en agua saturada con cal puede ser el método más fácil y adecuado para mantener las condiciones de humedad y temperatura requeridas para el curado inicial en obra. 	<ul style="list-style-type: none"> • La pérdida de las condiciones de buen curado inicial, dentro de las primeras horas de vida del hormigón, pueden generar importantes descensos de resistencias en todas las edades. • La resistencia en edades tempranas puede ser inferior, si las probetas se almacenan a temperaturas menores al rango especificado. En edades posteriores, las resistencias pueden ser más bajas si las probetas se exponen a temperaturas de curado iniciales superiores al rango especificado.
TRASLADO DESDE LA OBRA HASTA EL LABORATORIO	<ul style="list-style-type: none"> • En general el desmolde se debe realizar una vez transcurridas 20 horas desde el moldeado, y siempre evitando alteraciones y respetando las condiciones de curado. • El traslado a laboratorio en sus moldes debe ser luego de las 20 horas y antes de los 3 días. • En condiciones desmoldadas debe ser luego de 3 días. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lo recomendable es evitar traslados de probetas desmoldadas para evitar riesgos de golpes y alteraciones. • En el traslado de las probetas se deben mantener las condiciones de humedad y evitar generar daños por golpes. 	Las pérdidas de humedad durante las primeras horas de vida, o exposición a altas temperaturas, arrojan menores resistencias a los 28 días.

CONFECCIÓN Y CURADO EN OBRA DE PROBETAS PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y TRACCIÓN (NCh1017-2009)

ETAPA	PROCEDIMIENTO MÍNIMO	COMPLEMENTOS	OBSERVACIONES
DESMOLDE Y CURADO DURANTE ESTADÍA EN EL LABORATORIO	<ul style="list-style-type: none"> • Las probetas que llegan al laboratorio en sus moldes, deberán resguardar las condiciones de humedad y, en tiempo reducido, ingresar al curado controlado en laboratorio, piscina o cámara. • El curado debe ser con humedad relativa $\geq 95\%$ y temperatura en $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. 	<p>El mejor método es mantener las probetas bajo agua saturada con cal y temperatura en $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta el momento del ensayo.</p>	<p>Las pérdidas de humedad, o exposición a temperaturas inadecuadas, arrojan alteraciones en las resistencias tempranas y también a los 28 días.</p>

REFRENTADO DE PROBETAS NCh1172. Of2010

ETAPA	PROCEDIMIENTO MÍNIMO	COMPLEMENTOS	OBSERVACIONES
REFRENTADO	<ul style="list-style-type: none"> • El refrentado debe contar con equipos que aseguren la planeidad, paralelismo y perpendicularidad mencionadas en la norma. • El material de refrentado debe ser capaz de ofrecer una resistencia mayor a la del hormigón al momento de ensayar la probeta y, al menos, de 35 MPa. • Su espesor no debe superar los 5 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es importante conocer la curva resistencia- edad a fin de saber el momento en que se puede ensayar la probeta. • El espesor recomendado es de menor a 3 mm. • La adherencia y eliminación de porosidades es relevante, toda vez que se requiere transmitir adecuada, y uniformemente, las tensiones que genera la placa de la prensa al hormigón de la probeta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Una mala ejecución y resultado de esta capa puede generar sólo resistencias más bajas que las que el hormigón de la probeta puede ofrecer. • En ningún caso se pueden aplicar métodos que debiliten la adherencia del refrentado con el hormigón, por ejemplo, no es aceptable usar recalentamiento directo a la cara de la probeta para acelerar el proceso de secado de la misma.
RECTIFICADO DE PROBETAS DE HORMIGONES	<ul style="list-style-type: none"> • Para resistencias especificadas del hormigón por sobre G 45 MPa se debe proceder a rectificar mediante equipo mecánico de precisión a cambio del uso del refrentado. • El procedimiento debe asegurar la planeidad, paralelismo y perpendicularidad. 	<p>El rectificado se puede usar en probetas con cualquier tipo de resistencias, siendo el procedimiento más recomendado.</p>	<p>En particular, para los casos de altas resistencias, el material de refrentado presenta distorsiones que impiden un resultado representativo del hormigón, es por esta razón que en esos casos las probetas deberán ser rectificadas.</p>

ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NCh1037-2009)

ETAPA	PROCEDIMIENTO MÍNIMO	COMPLEMENTOS	OBSERVACIONES
APARATOS	<ul style="list-style-type: none"> • La prensa debe tener un sistema de rótula que permita hacer coincidir la resultante de la carga aplicada con el eje de la probeta. • Se permite el uso de placas suplementarias sólo para disminuir la distancia entre las placas. 	Existen prensas diseñadas para ensayar cilindros y otras para ensayar cubos. Aquellas para ensayar cubos están habilitadas para ensayar cilindros, y no al revés.	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe verificar mantener y calibrar las prensas, como máximo, cada 12 meses. • Tener presente que la prensa debe ser anclada a una base fija y rígida, que la aisle de impactos o vibraciones del entorno.
ACONDICIONAMIENTO DE LAS PROBETAS	Se deben mantener las probetas siempre húmedas, desde el retiro del sistema de curado de laboratorio, hasta el ensayo, siendo ensayadas en dicho estado.	<ul style="list-style-type: none"> • Un aporte para disminuir la probabilidad de no estar siempre húmedas es la de disminuir el tiempo desde su retiro desde el sistema de curado de laboratorio hasta el instante de ensayo. • También se puede cubrir con arpilleras saturadas durante este proceso. 	El secamiento parcial genera tensiones por diferenciales de humedad y éstos distorsionan a las tensiones provenientes del ensayo mismo.
MEDICIÓN DE LAS PROBETAS	El proceso de medición se debe cumplir con esmero y exactitud. El equipo de medición deberá ser con regla, huincha o pie de metro, graduada en mm.	<ul style="list-style-type: none"> • La precisión y cumplimiento es importante dado que ello permite que los resultados sean fidedignos. • Todos los equipos de medición deben contar con verificación, contrastada con su patrón, conforme con el sistema de calidad de cada laboratorio. 	Alteraciones en las mediciones generarán distorsiones de los resultados.

ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NCh1037-2009)

ETAPA	PROCEDIMIENTO MÍNIMO	COMPLEMENTOS	OBSERVACIONES
ENSAYO	<ul style="list-style-type: none"> • La ubicación centrada de la probeta en relación con las placas de la prensa se debe cumplir con exactitud. • La velocidad de aplicación de carga es de 0,25 MPa/s \pm 0,05 MPa/s, y en forma continua. • Cumplir con la franca rotura de la probetas (rotura completa). 	<ul style="list-style-type: none"> • El centrado debe ser exacto, para lo cual se debe contar con elementos de apoyo como el mostrado en el cuerpo de este documento. Con ello se reduce la probabilidad de roturas anómalas. • Limpiar siempre las superficies de placas y de las caras de ensayo de las probetas. 	Se recomienda guardar las probetas conforme a lo establecido previamente por el mandante o conforme al sistema de calidad de cada laboratorio.
EXPRESIÓN DE RESULTADOS	Se deben indicar los resultados de los ensayos, conforme lo establece el punto 6 de la norma.	Se recomienda incluir fotografías de las anomalías en cualquiera de las etapas involucradas y complementar con antecedentes adicionales, tales como temperatura ambiente de la sala de ensayo.	Toda información es relevante y ayuda a la correcta interpretación de los resultados y validez del ensayo.



“ El control de calidad del hormigón, en general, se considera conforme si cumple con la resistencia especificada. Es la característica técnica que lo identifica en forma primordial y, por tanto, es la forma cuantitativa de determinar si este material cumple o no, con las exigencias que impone el diseñador estructural para estos efectos. ”

