



### 3.10. Control de calidad del hormigón

Debido a que el hormigón en obra es un material esencialmente variable, se debe verificar que éste mantenga las características previstas, para lo cual se realizan ensayos sobre determinadas propiedades del mismo. El nivel de ensayos, el cual es función directa de las características de la obra, principalmente de su costo, será más estricto cuanto más estrecho sea el rango de variación deseable.

Cabe destacar al respecto que, independientemente del nivel de control en obra, es necesario tomar medidas mínimas respecto a los materiales y al proceso de fabricación, con la finalidad de tener un proceso de buena calidad, y así eliminar o minimizar fuentes de variación y tener un mejor aprovechamiento de los mismos, implicando menores costos.

<b>Temas tratados</b>	3.10.1. Medidas mínimas para tener un proceso de buena calidad 3.10.2. Niveles de control 3.10.3. Ejecución de los controles 3.10.4. Evaluación del nivel de control de los ensayos de probetas (Ref. NCh1998).
-----------------------	--

#### 3.10.1. MEDIDAS MÍNIMAS PARA TENER UN PROCESO DE BUENA CALIDAD

Las características del hormigón fresco (por ende del hormigón endurecido) y la homogeneidad que se obtenga, van a depender de los materiales componentes y del proceso de fabricación.

RECOMENDACIONES	
MATERIALES	EQUIPOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- No variar características de los materiales:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedencia de acopios</li> <li>• Tipo de cemento</li> </ul> </li> <li>- Manejo y almacenamiento adecuado de los áridos (Ref. Capítulo 3 pto. 3.1.3. Áridos):               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acopios separados según tamaños y en forma adecuada.</li> </ul> </li> <li>- Control del cemento (Ref. Capítulo 3, pto. 3.1.1. Cemento).               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adecuado almacenamiento</li> <li>• Uso cronológico según recepción</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- (Ref. Capítulo 3, pto.3.3. Fabricación del hormigón)               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibración periódica</li> <li>• Mantenimiento mecánico periódico</li> </ul> </li> </ul>
PERSONAL	PROCESO DE FABRICACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacitación y especialización en determinadas áreas</li> <li>- No rotar personal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- (Ref. Capítulo 3, pto.3.3. Fabricación del hormigón)               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición de peso y pesaje con precisión</li> <li>• Usar cemento en bolsas o 1/2 bolsas</li> <li>• Evitar segregaciones</li> <li>• Tiempo de revoltura</li> </ul> </li> </ul>

### 3.10.2. NIVELES DE CONTROL

Se pueden establecer niveles de control, los cuales son función directa del costo de la obra. En el siguiente cuadro se indican niveles recomendados.

NIVEL	PARÁMETROS A CONTROLAR	OBSERVACIONES
1	Resistencia mecánica (generalmente a compresión)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel mínimo de control</li> <li>• Permite comprobar la calidad del hormigón a posteriori</li> <li>• Se evalúa por métodos:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Directos: ensayos de probetas del hormigón en obra y ensayo de testigos (si corresponde)</li> <li>• Ensayos no destructivos (Martillo Schmidt)</li> </ul> </li> </ul>
2	Proceso de fabricación del hormigón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generalmente se mide mediante el asentamiento de cono</li> <li>• Es un control de carácter preventivo (permite tomar medidas a tiempo)</li> <li>• Permite controlar en forma indirecta la razón w/c (agua/cemento) del hormigón y por ende tener una idea de su resistencia</li> <li>• Para su determinación es necesario controlar la humedad de los áridos y el asentamiento de cono</li> <li>• Permite controlar la granulometría total del hormigón e indirectamente controlar la trabajabilidad y la razón A/C</li> <li>• Permite verificar el rendimiento en obra y por ende la cantidad de cemento</li> <li>• Tanto ambiente como del hormigón</li> <li>• Mediante un registro se puede verificar que esté dentro de límites aceptables (en caso contrario se deben tomar precauciones especiales).</li> <li>• Permite verificar la dosificación y hacer correcciones</li> <li>• Requiere de personal capacitado y experimentado independiente del ejecutante que realice:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección sobre operadores</li> <li>• Verificación del tiempo de amasado</li> <li>• Inspección visual del proceso:                   <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad y cantidad de componentes</li> <li>• Tamaño máximo del agregado</li> <li>• Consistencia de la amasada</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
	2.1. Trabajabilidad	
	2.2. Razón A/C (agua/cemento)	
	2.3. Granulometría	
	2.4. Densidad aparente	
	2.5. Temperatura	
	2.6. Contenido de aire	
2.7. Inspección del proceso		
3	Ejecución de la obra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de personal capacitado y experimentado independiente del ejecutante que inspeccione y controle entre otros:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocación (controlando además desviaciones con respecto a planos)</li> <li>• Compactación</li> <li>• Curado</li> <li>• Otros</li> </ul> </li> </ul>



### 3.10.3. EJECUCIÓN DE LOS CONTROLES

Se recomienda llevar un registro sistemático de los parámetros a controlar.

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A Muestreo del hormigón fresco**
  - A.1. Características generales
  - A.2. Frecuencias de muestreo
  - A.3. Tratamiento de muestras para verificación de resistencias mecánicas (Ref. NCh1017)
  
- B Ejecución de los ensayos**
  - B.1. Formas de medición y tolerancias para controles del hormigón fresco.
    - B.1.1. Asentamiento de cono
    - B.1.2. Densidad aparente
    - B.1.3. Rendimiento
    - B.1.4. Razón A/C
    - B.1.5. Contenido de aire
  - B.2. Tipos de ensayos para evaluar la resistencia mecánica
  
- C Evaluación de la resistencia a la compresión**
  - C.1. Métodos directos (Ref. NCh1998)
    - C.1.1. Características del método de evaluación por grupos de muestras consecutivas
    - C.1.2. Características del método de evaluación por el total de muestras
  - C.2. Métodos indirectos
  
- D Evaluación de la resistencia a la tracción**

## **A Muestreo del hormigón fresco**

Para evaluar las características del hormigón fresco y endurecido por medio de muestras de hormigón fresco, se debe considerar:

### **A.1. Características generales**

<b>METODO DE EXTRACCIÓN (Ref. NCh171)</b>								
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ La muestra debe tomarse al azar (Ref. NCh1998)</li><li>▪ Si se efectúa de la descarga de hormigoneras o camiones mixer, debe realizarse entre el 10 y el 90% de la descarga, pasando un recipiente a través de todo el flujo de hormigón sin restringirlo.</li><li>▪ Se recomienda no extraer el hormigón desde canoas o cintas transportadoras</li><li>▪ Se recomienda que la extracción sea encomendada a personal entrenado y experimentado.</li></ul>								
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA</b>								
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ La muestra debe ser representativa y uniforme</li><li>▪ El tamaño debe ser superior a 1 1/2 veces el volumen necesario para efectuar los ensayos, y en ningún caso inferior a 30 litros.</li></ul> <p>A título de referencia se tiene que:</p> <table><tr><td>3 cubos 20 cm</td><td>= 36 L</td></tr><tr><td>3 cubos 15 cm</td><td>= 15 L</td></tr><tr><td>3 cilindros</td><td>= 24 L</td></tr><tr><td>3 viguetas</td><td>= 61 L</td></tr></table>	3 cubos 20 cm	= 36 L	3 cubos 15 cm	= 15 L	3 cilindros	= 24 L	3 viguetas	= 61 L
3 cubos 20 cm	= 36 L							
3 cubos 15 cm	= 15 L							
3 cilindros	= 24 L							
3 viguetas	= 61 L							
<b>CARACTERÍSTICAS DEL LOTE</b>								
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Lote es un volumen de hormigón de igual grado representado por "N" muestras (*)</li><li>▪ Para evaluar correctamente las características del hormigón se recomienda:<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Si en un mismo grado hay algún cambio significativo del hormigón, como el tamaño máximo, cemento, incorporación de aditivos, docilidad (trabajabilidad), temperatura del hormigón (invierno-verano), entre otros, las muestras correspondientes deben separarse en sublotes.</li></ul></li></ul>								

#### **OBSERVACIÓN:**

\* Una muestra está formada por dos o más probetas, y la resistencia individual de ésta será la del promedio aritmético de las probetas correspondientes a la edad de ensayo especificada.

### **A.2. Frecuencias de muestreo**

Si las frecuencias de muestreo no vienen establecidas en las especificaciones de la obra, se recomiendan las frecuencias mínimas dadas en tabla N°6 para hormigones elaborados en obra.

Cabe destacar que con un mayor número de muestras, se puede controlar mejor la calidad del hormigón en estado fresco y consecuentemente en estado endurecido, aparte del hecho de tener un valor más real de la dispersión en los resultados de resistencias mecánicas sobre éste último.

#### **OBSERVACIÓN:**

La NCh170 y NCh1998 indican frecuencias mínimas.



**TABLA N° 6**  
**Recomendación de frecuencias mínimas de muestreo para hormigón elaborado en obra**

<b>PARÁMETROS A CONTROLAR</b>	DOCILIDAD (recomendaciones)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Según volumen de hormigón de la obra y su grado</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;"></th> <th style="width: 50%; text-align: center;">HASTA 500 m<sup>3</sup></th> <th style="width: 50%;"></th> <th style="width: 50%; text-align: center;">SOBRE 500 m<sup>3</sup></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 cada 10 amasadas</li> <li>• mínimo 4 diarias</li> </ul> </td> <td></td> <td style="text-align: center;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 cada 10 amasadas</li> <li>• mínimo 8 diarios</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Según extracción de muestras para control de resistencia mecánica           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada vez que se extraiga una muestra</li> </ul> </li> </ul>				HASTA 500 m <sup>3</sup>		SOBRE 500 m <sup>3</sup>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 cada 10 amasadas</li> <li>• mínimo 4 diarias</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 cada 10 amasadas</li> <li>• mínimo 8 diarios</li> </ul>											
		HASTA 500 m <sup>3</sup>		SOBRE 500 m <sup>3</sup>																			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 cada 10 amasadas</li> <li>• mínimo 4 diarias</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 cada 10 amasadas</li> <li>• mínimo 8 diarios</li> </ul>																			
	DENSIDAD APARENTE Y RENDIMIENTO (NCh170)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Según el volumen del hormigón de la obra y resistencia especificada</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="3" style="text-align: center;">RESISTENCIA ESPECIFICADA ( kgf/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th style="text-align: center;">&lt; 150</th> <th style="text-align: center;">150 - 300</th> <th style="text-align: center;">&gt; 300</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">VOLUMEN HORMIGÓN (m<sup>3</sup>)</td> <td style="text-align: center;">&lt; 500</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">1 mínimo</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≥ 500</td> <td style="text-align: center;">1 de cada 400 m<sup>3</sup></td> <td style="text-align: center;">1 de cada 300 m<sup>3</sup></td> <td style="text-align: center;">1 de cada 200 m<sup>3</sup></td> </tr> </tbody> </table>					RESISTENCIA ESPECIFICADA ( kgf/cm <sup>2</sup> )					< 150	150 - 300	> 300	VOLUMEN HORMIGÓN (m <sup>3</sup> )	< 500	1 mínimo			≥ 500	1 de cada 400 m <sup>3</sup>	1 de cada 300 m <sup>3</sup>	1 de cada 200 m <sup>3</sup>
			RESISTENCIA ESPECIFICADA ( kgf/cm <sup>2</sup> )																				
		< 150	150 - 300	> 300																			
VOLUMEN HORMIGÓN (m <sup>3</sup> )	< 500	1 mínimo																					
	≥ 500	1 de cada 400 m <sup>3</sup>	1 de cada 300 m <sup>3</sup>	1 de cada 200 m <sup>3</sup>																			
CONTENIDO DE AIRE EN HORMIGÓN CON INCORPORADOR DE AIRE (NCh170)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Según el volumen del hormigón de la obra y resistencia especificada</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="3" style="text-align: center;">RESISTENCIA ESPECIFICADA ( kgf/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th style="text-align: center;">&lt; 150</th> <th style="text-align: center;">150 - 300</th> <th style="text-align: center;">&gt; 300</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">VOLUMEN HORMIGÓN (m<sup>3</sup>)</td> <td style="text-align: center;">&lt; 500</td> <td style="text-align: center;">1 mínimo</td> <td style="text-align: center;">2 mínimo</td> <td style="text-align: center;">2 mínimo</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≥ 500</td> <td style="text-align: center;">1 de cada 100 m<sup>3</sup></td> <td style="text-align: center;">1 de cada 75 m<sup>3</sup></td> <td style="text-align: center;">1 de cada 50 m<sup>3</sup></td> </tr> </tbody> </table>					RESISTENCIA ESPECIFICADA ( kgf/cm <sup>2</sup> )					< 150	150 - 300	> 300	VOLUMEN HORMIGÓN (m <sup>3</sup> )	< 500	1 mínimo	2 mínimo	2 mínimo	≥ 500	1 de cada 100 m <sup>3</sup>	1 de cada 75 m <sup>3</sup>	1 de cada 50 m <sup>3</sup>	
		RESISTENCIA ESPECIFICADA ( kgf/cm <sup>2</sup> )																					
		< 150	150 - 300	> 300																			
VOLUMEN HORMIGÓN (m <sup>3</sup> )	< 500	1 mínimo	2 mínimo	2 mínimo																			
	≥ 500	1 de cada 100 m <sup>3</sup>	1 de cada 75 m <sup>3</sup>	1 de cada 50 m <sup>3</sup>																			
TEMPERATURA DEL HORMIGÓN Y DEL AMBIENTE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Llevar un registro del hormigón y ambiente durante:           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricación</li> <li>• Colocación</li> </ul> </li> </ul>																						
EXTRACCIÓN DE MUESTRAS PARA VERIFICACIÓN RESISTENCIA MECÁNICA (Recomendación)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Según el volumen de hormigón de la obra</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;"></th> <th style="width: 50%;"></th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">HASTA 500 m<sup>3</sup></th> <th style="text-align: center;">SOBRE 500 m<sup>3</sup></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 muestra cada 25 m<sup>3</sup> hasta completar 100 m<sup>3</sup></li> <li>- 1 muestra cada 100 m<sup>3</sup> sobre 100 m<sup>3</sup></li> <li>- Mínimo 3 muestras.</li> </ul> </td> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 muestra cada 25 m<sup>3</sup> hasta completar 100 m<sup>3</sup></li> <li>- 1 muestra cada 100 m<sup>3</sup> sobre 100 m<sup>3</sup></li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>					HASTA 500 m <sup>3</sup>	SOBRE 500 m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 muestra cada 25 m<sup>3</sup> hasta completar 100 m<sup>3</sup></li> <li>- 1 muestra cada 100 m<sup>3</sup> sobre 100 m<sup>3</sup></li> <li>- Mínimo 3 muestras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 muestra cada 25 m<sup>3</sup> hasta completar 100 m<sup>3</sup></li> <li>- 1 muestra cada 100 m<sup>3</sup> sobre 100 m<sup>3</sup></li> </ul>														
HASTA 500 m <sup>3</sup>	SOBRE 500 m <sup>3</sup>																						
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 muestra cada 25 m<sup>3</sup> hasta completar 100 m<sup>3</sup></li> <li>- 1 muestra cada 100 m<sup>3</sup> sobre 100 m<sup>3</sup></li> <li>- Mínimo 3 muestras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 muestra cada 25 m<sup>3</sup> hasta completar 100 m<sup>3</sup></li> <li>- 1 muestra cada 100 m<sup>3</sup> sobre 100 m<sup>3</sup></li> </ul>																						

### A.3. Tratamiento de muestras para verificación de resistencias mecánicas (Ref. NCh1017)

Un tratamiento inadecuado de las muestras da origen a resultados de resistencias mecánicas no representativas del hormigón correspondiente.

- Antes de llenar los moldes el hormigón debe remezclarse en el recipiente de muestreo (para evitar segregación y tener uniformidad de la muestra).
- El tiempo entre la extracción de muestras y confección de probetas debe ser inferior a 15 minutos. En este período se deben proteger las muestras (arpilleras, lonas húmedas, láminas de polietileno, etc.).
- Los moldes deben estar limpios y con una delgada capa de aceite para facilitar el desmolde.
- Por cada muestra se confeccionan en general dos probetas gemelas para ensayo de resistencias a 28 días y una probeta para ensayo a 7 días, a menos que se especifique otra cosa.
- Cada probeta debe estar debidamente identificada.
  
- Protección y curado
  - Las probetas deben protegerse de cualquier golpe o movimiento brusco, y no deben moverse hasta después de 20 horas de la fabricación, si se trata de probetas cúbicas o cilíndricas, y de 44 horas si se trata de probetas prismáticas, siempre y cuando permanezcan en sus moldes. En caso de estar desmoldadas debe esperarse mínimo 5 días. Si se transportan desmoldadas, debe protegérselas, colocándolas en cajones, totalmente rodeadas de aserrín o arena húmeda.
  - Las probetas deben ser sometidas a un curado inicial cubriéndolas con láminas impermeables y protegiendo al conjunto con aserrín o arenas saturadas, arpilleras húmedas, etc. (mientras están en moldes). Después del desmolde, pueden curarse con agua saturada con cal, arena húmeda, etc.

## B Ejecución de los ensayos

### B.1. Formas de medición y tolerancias para controles del hormigón fresco

#### B.1.1. ASENTAMIENTO DE CONO

##### MEDICIÓN (NCh1019)

- Se llena un molde troncocónico en 3 capas de igual volumen apisonando cada capa con 25 golpes, con una barra de hierro de 16 mm y 60 cm de largo de punta redondeada. (La capa inferior se llena hasta aproximadamente 7 cm de altura y la capa media hasta aproximadamente 16 cm de altura). Después de compactada la masa de hormigón, se enrasa y se levanta el cono, tomándolo por las asas (8 - 12 segundos máximo), y se mide inmediatamente la disminución de altura del hormigón respecto al molde, con aproximaciones de 0,5 cm.
- Toda la operación de llenado y levantamiento no debe demorar más de 3 minutos. (Este método no determina docilidad de hormigones cuyo asentamiento sea menor a 2 cm o mayor a 18 cm).



TOLERANCIAS			
Asentamiento previsto (cm)	≤2	3 a 9	≥10
Tolerancia (cm)	±1	±2	±3

**OBSERVACIÓN:**  
Si la muestra de hormigón se asienta lateralmente o se disgrega, el ensayo debe repetirse. Si esta situación se mantiene, se considera el hormigón como falto de cohesión y que el método de asentamiento de cono de Abrams no es el adecuado.

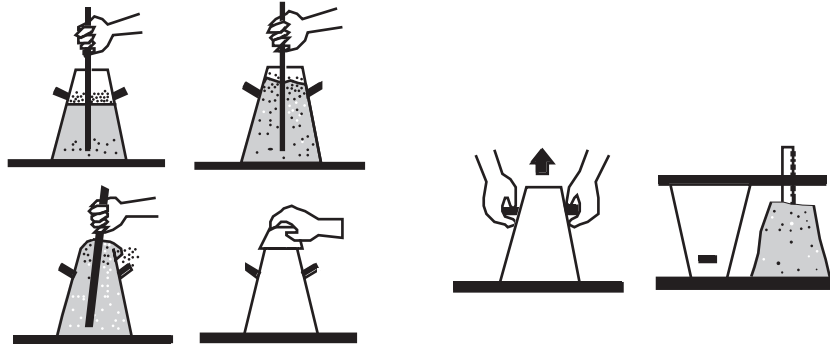


FIG. 44

#### B.1.2. DENSIDAD APARENTE



#### B.1.3. RENDIMIENTO

RENDIMIENTO
MÉTODO DE DENSIDAD APARENTE (Ref. NCh1564)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se determina la densidad aparente (en uso), «<math>d_a</math>»</li> <li>- Se determina el rendimiento relativo de la amasada, «<math>R_r</math>»</li> </ul> $R_r = \frac{d_t}{d_a} \times 100 \%$ <p>(<math>d_t</math> = densidad teórica de la dosificación en uso)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se acepta 2 % de variación, con respecto a la densidad teórica presupuestada en la dosificación (Ref. NCh170)</li> </ul>
<p><b>NOTA:</b> Valores de rendimiento mayores a 100 % indican dosis de cemento inferior a la especificada, lo que perjudica la resistencia. Se acepta variación en dosis de cemento de ± 2 % con respecto a la dosis establecida en la dosificación.</p>

#### MEDICIÓN DE TERRENO

1. Rendimiento es la cantidad de litros de hormigón que se pueden fabricar con la dosificación teórica.
2. Se determina la densidad aparente compactada de la dosificación en uso. Mediante la suma de los pesos de todos los materiales (considerando la cantidad real de agua adicionada) y dividiéndola por la densidad anteriormente determinada, se obtiene el volumen realmente preparado.
3. El volumen anterior debe compararse con el teórico.
4. El volumen resultante debe ser similar al teórico, aceptándose  $\pm 2\%$  de desvío.

#### B.1.4. RAZÓN A/C

##### MEDICIÓN

- Determinar contenido de humedad de los áridos
- Determinar, en prueba de laboratorio, el agua libre total (agua libre de amasado + agua libre de los áridos) y el asentamiento de cono.
- $(\text{Agua libre total} / \text{cantidad de cemento en uso}) = \text{A/C}$  para la trabajabilidad en cuestión. Esta última es la que servirá como método de control, en obra, de la razón A/C (manteniendo las características de la dosificación original).

##### TOLERANCIAS

A/C :  $\pm 0,03$  a  $0,05$  de la usada en la dosificación

#### B.1.5. CONTENIDO DE AIRE

MEDICIÓN	TOLERANCIAS
Según ASTM C 231 o NCh1564	$\pm 1,5$ puntos porcentuales del valor especificado

## B.2. Tipos de ensayos para evaluar la resistencia mecánica

Las probetas deben ensayarse de acuerdo a las normas respectivas.

TIPO DE ENSAYO	NORMA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compresión</li> <li>• Flexotracción</li> <li>• Tracción por hendimiento</li> </ul>	<p>NCh1037 NCh1038 NCh1170</p>



## © Evaluación de la resistencia a la compresión

### C.1. Métodos directos (Ref. NCh1998)

Dentro de los métodos directos se tienen el ensayo de probetas y el ensayo de testigos.

ENSAYO DE PROBETAS	ENSAYO DE TESTIGOS (Ref. NCh1171)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- El método de evaluación debe ser el especificado</li> <li>- La evaluación debe realizarse por cada lote o sublote (Ref. punto.A.1. Muestreo del hormigón fresco - Características generales.)</li> <li>- Si no se especifica método, adoptar:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criterio de muestras consecutivas (promedio móvil) sólo si la cantidad de muestras, N, por lote es:                   <math display="block">N \geq 10</math> </li> <li>• Si <math>N &lt; 10</math>, se debe evaluar por criterio de evaluación total de muestras.</li> </ul> </li> </ul> <p>Nota: en Chile se utiliza, mayoritariamente, el ACI como código de diseño estructural, el cual utiliza, exclusivamente, el criterio de muestras consecutivas (promedio móvil). Por lo tanto, debería ser el método de control a utilizar en la mayoría de los casos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si se especifica evaluar resistencia por medio de testigos del hormigón endurecido en obra, pero no está definido el número de muestras, considere 3 testigos por zona a evaluar.</li> <li>- En general se evalúa por este método cuando la resistencia especificada de una obra no ha sido cumplida, o bien, cuando la calidad de los ensayos efectuados a las probetas se considera deficiente (Ref. punto 3.10.4.).</li> <li>- Se puede considerar como aceptable (salvo que se especifique otra cosa) un hormigón:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si el promedio aritmético de las resistencias obtenidas de los 3 testigos extraídos en una zona es mayor o igual a <math>0,85 f_c</math> (con <math>f_c</math> = resistencia especificada) y</li> <li>• Cada valor individual es mayor o igual a <math>0,75 f_c</math>.</li> </ul> </li> </ul>

#### C.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN POR GRUPOS DE MUESTRAS CONSECUTIVAS

TOTAL DE MUESTRAS	
Se considera que la resistencia del lote es satisfactoria si se cumplen simultáneamente:	
•	$f_3 \geq f_c + K_1$
•	$f_i \geq f_c - K_2$ , con
$f_3$	= Resistencia media de 3 muestras consecutivas del lote, en MPa (1 MPa $\approx$ 10 kgf/cm <sup>2</sup> )
$f_c$	= Resistencia especificada a la rotura por compresión, en MPa
$f_i$	= Resistencia individual de cada muestra, en MPa. Corresponde al promedio de las resistencias de cada probeta para una misma muestra (Ref. punto A.1. Muestreo del hormigón fresco - Características generales).
$K_1, K_2$	= Constantes de evaluación. Referirse a tabla N° 7

### C.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN POR EL TOTAL DE MUESTRAS

TOTAL DE MUESTRAS	
Se considera que la resistencia del lote es satisfactoria si se cumplen simultáneamente:	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <math>f_m \geq f_c + s \times t</math></li><li>• <math>f_i \geq f_c - K_2</math>, con</li></ul>	
$f_m$ = Resistencia media del lote, en MPa	
$f_m = \sum_{i=1}^N \frac{f_i}{N}$	
(N = cantidad de muestras)	
$f_c, f_i, K_2$ = Definidos anteriormente	
s = Desviación normal de las resistencias individuales $f_i$ , en MPa	
$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f_i - f_m)^2}{N - 1}}$	t = factor estadístico, referirse a tabla N° 8

RECOMENDACIONES DERIVADAS DE LA EVALUACIÓN
Si el hormigón no cumple con la resistencia especificada, se debe dar aviso a los proyectistas estructurales. Sin perjuicio de lo anterior, se recomienda que para cada «fi» defectuoso se evalúe la resistencia por medio de extracción de testigos, pudiendo utilizarse previamente valores complementarios de resistencias obtenidas mediante ensayos no destructivos (Martillo Schmidt).

### C.2. Métodos indirectos

Dentro de los métodos indirectos, el de mayor uso es el ensayo esclerométrico. (Martillo Schmidt Ref. NCh1565)

#### CARACTERÍSTICAS

- No determina resistencias mecánicas, sino otras propiedades generalmente elásticas, las que mediante correlaciones con la resistencia, permiten obtener una estimación cualitativa de la calidad del hormigón.
- Es un ensayo complementario o adicional, no sustituto de ensayos de resistencias.
- Su campo de aplicación es:
  - Comprobación de la uniformidad de la calidad del hormigón en relación a una calidad promedio.
  - Comprobación de un hormigón con otro de referencia.
- No sirve como valor de aceptación o rechazo del hormigón.



## D Evaluación de la resistencia a la tracción

Se recomienda para la evaluación de la resistencia a la tracción, ya sea por flexotracción o por hendimiento, aplicar los métodos expuestos en C.1. reemplazando lo siguiente:

- $f_c$  = Por su valor correspondiente «ft» (resistencia a flexotracción) en MPa, o «fh» (resistencia por hendimiento) en MPa.
- $k_1$  = Tomar valor : - 0,2 MPa
- $k_2$  = Tomar valor : 0,7 MPa

$k_1, k_2$ : Antecedentes según LNV (Laboratorio Nacional de Vialidad), considerando fracción defectuosa de un 20%.

### 3.10.4. EVALUACIÓN DEL NIVEL DE CONTROL DE LOS ENSAYOS DE PROBETAS (Ref. NCh1998)

Es importante evaluar la calidad de los ensayos realizados con el objetivo de determinar si éstos representan o no al hormigón controlado.

La evaluación se realiza si se dispone de un número mínimo de 10 muestras por lote ( $N \geq 10$ ) con 2 o más probetas por muestra.

(Determina la calidad del laboratorio y por lo tanto la confiabilidad de los valores de los ensayos).

#### PASOS A SEGUIR

1. Determinar el rango de cada muestra «Ri» (diferencia entre el valor máximo y el mínimo de las probetas en la muestra)

2. Calcular en rango medio  $\bar{R}$

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^N \frac{R_i}{N}$$

Con N = cantidad de muestras por lote

3. Calcular la desviación normal de los ensayos  $S_1$

$S_1 = R/d_2$  (obtener valor  $d_2$  de la tabla N° 9)

4. Calcular el coeficiente de variación del ensayo  $V_1$

$$V_1 = \frac{S_1}{f_m} \times 100 \%$$

Con  $f_m$  = resistencia media del lote

$$f_m = \sum_{i=1}^N \frac{f_i}{N}$$

5. Evaluación

- Calificar el nivel de control de los ensayos según la tabla N°10.
- Si  $V_1 > 6 \%$ , se debe emplear otro método para evaluar o verificar la resistencia del hormigón.
- Se puede evaluar el nivel de control de los ensayos para sublotes, de no menos de 10 muestras consecutivas, reemplazando en este caso:

- N : por número de muestras del sub lote
- $f_m$  : por la resistencia media de cada sub lote.

**TABLA N°7**  
**Constantes de evaluación MPa (Ref. NCh1998)**

FRACCIÓN DEFECTUOSA ACEPTADA %	CONSTANTES	GRADO DE HORMIGÓN			
		H5	H10	H15	H20 o SUPERIOR
5	K <sub>1</sub>	0,3	0,3	0,8	1,0
	K <sub>2</sub>	0,6	1,2	1,9	2,5
10	K <sub>1</sub>	0	0	0	0
	K <sub>2</sub>	0,9	1,7	2,6	3,5
20	K <sub>1</sub>	- 0,4	- 0,7	- 1,1	- 1,5
	K <sub>2</sub>	1,4	2,7	4,1	5,5

NOTA:

Las constantes indicadas se aplicarán tanto para probetas cúbicas como cilíndricas.

**TABLA N°8**  
**Factores estadísticos (Ref. NCh1998)**

CANTIDAD DE MUESTRAS (N)	FRACCIÓN DEFECTUOSA %		
	5	10	20
3	2,920	1,886	1,061
4	2,353	1,638	0,978
5	2,132	1,533	0,941
6	2,015	1,476	0,920
7	1,943	1,440	0,906
8	1,895	1,415	0,896
9	1,860	1,397	0,889
10	1,833	1,383	0,883
11	1,812	1,372	0,879
12	1,796	1,363	0,876
13	1,782	1,356	0,873
14	1,771	1,350	0,870
15	1,761	1,345	0,868
16	1,753	1,341	0,866
17	1,746	1,337	0,865
18	1,740	1,333	0,863
19	1,734	1,330	0,862
20	1,729	1,328	0,861
21	1,725	1,325	0,860
22	1,721	1,323	0,859
23	1,717	1,321	0,858
24	1,714	1,319	0,858
25	1,711	1,318	0,857
26	1,708	1,316	0,856
27	1,706	1,315	0,856
28	1,703	1,314	0,855
29	1,701	1,313	0,855
30 ó más	1,645	1,282	0,842



**TABLA N°9**  
Factor para el cálculo de la desviación normal de ensayos  
(Ref. NCh1998)

CANTIDAD DE PROBETAS POR MUESTRA	$d_2$
2	1,128
3	1,693
4	2,059
5	2,326
6	2,534

**TABLA N°10**  
Evaluación del nivel de control de ensayos (Ref. NCh1998)

$V_1$ (%)	NIVEL DE CONTROL ENSAYOS
$0 \leq V_1 \leq 3,0$	EXCELENTE
$3,0 < V_1 \leq 4,0$	MUY BUENO
$4,0 < V_1 \leq 5,0$	BUENO
$5,0 < V_1 \leq 6,0$	ACEPTABLE
$6,0 < V_1$	DEFICIENTE