

TABLA DE CONTENIDOS

1 MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGÓN

- 1.1 Términos
- 1.2 Ligantes
- 1.3 Agregados para hormigón
- 1.4 Aditivos químicos para hormigón
- 1.5 Adiciones minerales y pigmentos para el hormigón
- 1.6 Contenido de finos
- 1.7 Agua de amasado
- 1.8 Cálculo de volumen de los materiales

2 NORMA EN 206-1:2000

- 2.1 Definiciones a partir de la norma
- 2.2 Tipos de exposición con relación a las acciones ambientales
- 2.3 Clasificación por consistencia
- 2.4 Tipos de resistencia a la compresión
- 2.5 El Valor k (extraído de la norma EN 206-1)
- 2.6 Contenido de cloruros (extraído de EN 206-1)
- 2.7 Especificaciones para hormigón
- 2.8 Control de conformidad
- 2.9 Prueba de otras propiedades del hormigón

3 HORMIGÓN

3.1 Usos principales del hormigón

- 3.1.1 Hormigón colado in situ
- 3.1.2 Hormigón para estructuras premoldeadas

3.2 Hormigones especiales

- 3.2.1 Hormigón bombeado
 - 3.2.2 Hormigón para áreas de tránsito
 - 3.2.3 Hormigón autocompactante (SCC)
 - 3.2.4 Hormigón resistente a las heladas y al congelamiento/deshielo
 - 3.2.5 Hormigón de alta resistencia
 - 3.2.6 Hormigón para encofrado deslizante
 - 3.2.7 Hormigón de baja permeabilidad
 - 3.2.8 Hormigón visto
 - 3.2.9 Hormigón masivo
-

-
- 3.2.10 Hormigón reforzado con fibras
 - 3.2.11 Hormigón pesado
 - 3.2.12 Hormigón bajo agua
 - 3.2.13 Hormigón liviano
 - 3.2.14 Hormigón compactado a rodillo
 - 3.2.15 Hormigón coloreado
 - 3.2.16 Hormigón semiseco para fabricación de productos de hormigón premoldeado
 - 3.2.17 Hormigón con mayor resistencia al fuego
 - 3.2.18 Hormigón para túneles
 - 3.2.19 Hormigón monolítico
 - 3.2.20 Hormigón granolítico
-

4 HORMIGÓN FRESCO

4.1 Propiedades del Hormigón Fresco

- 4.1.1 Trabajabilidad
- 4.1.2 Hormigón con retardador para clima caluroso
- 4.1.3 Aceleración del fraguado/Hormigón para clima frío
- 4.1.4 Consistencia
- 4.1.5 Exudación
- 4.1.6 Acabado o Terminación
- 4.1.7 Densidad del hormigón fresco
- 4.1.8 Contenido de vacíos de aire
- 4.1.9 Bombeabilidad
- 4.1.10 Cohesión
- 4.1.11 Temperatura del hormigón fresco
- 4.1.12 Relación agua/cemento

4.2 Pruebas del hormigón fresco

- 4.2.1 Trabajabilidad
 - 4.2.2 Muestreo
 - 4.2.3 Consistencia, ensayo de asentamiento
 - 4.2.4 Consistencia, ensayo de compacidad
 - 4.2.5 Consistencia, ensayo de diámetro de flujo
 - 4.2.6 Determinación de densidad del hormigón fresco
 - 4.2.7 Determinación de contenido de aire incorporado
 - 4.2.8 Otros métodos de ensayo de consistencia del hormigón fresco
-

5 HORMIGÓN ENDURECIDO

5.1 Propiedades del hormigón endurecido

- 5.1.1 Resistencia a la compresión
 - 5.1.2 Hormigón de alta resistencia temprana
 - 5.1.3 Permeabilidad
 - 5.1.4 Resistencia al congelamiento/deshielo
 - 5.1.5 Superficie del hormigón
 - 5.1.6 Contracción
 - 5.1.7 Resistencia a los sulfatos
-

- 5.1.8 Resistencia química
 - 5.1.9 Resistencia a la abrasión
 - 5.1.10 Resistencia a la flexión
 - 5.1.11 Desarrollo de calor de hidratación
 - 5.1.12 Reacción álcali-agregado
 - 5.2 Pruebas de hormigón endurecido**
 - 5.2.1 Requisitos para muestras y moldes
 - 5.2.2 Preparación y probetas de muestras
 - 5.2.3 Resistencia a la compresión de probetas
 - 5.2.4 Especificaciones para máquinas y equipos de ensayo
 - 5.2.5 Resistencia a la flexión de probetas
 - 5.2.6 Resistencia a la tracción de probetas
 - 5.2.7 Densidad del hormigón endurecido
 - 5.2.8 Profundidad de penetración del agua a presión
 - 5.2.9 Resistencia a las heladas y al congelamiento/deshielo
-

6 HORMIGÓN GUNITADO O PROYECTADO

- 6.1 Definición
 - 6.2 Requisitos de calidad del hormigón gunitado
 - 6.3 Desarrollo de resistencia temprana
 - 6.4 El proceso de gunitado
 - 6.5 Métodos de prueba/Métodos de medición
 - 6.6 El sistema Sika de gunitado húmedo
 - 6.7 Hormigón gunitado reforzado con fibra de acero
 - 6.8 Hormigón gunitado resistente a los sulfatos
 - 6.9 Hormigón gunitado con mayor resistencia al fuego
-

7 DESENCOFRANTES

- 7.1 Estructura de los agentes desencofrantes**
 - 7.2 Requisitos para los agentes desencofrantes**
 - 7.3 Selección de agentes desencofrantes apropiados**
 - 7.3.1 Desencofrantes para encofrados absorbentes
 - 7.3.2 Desencofrantes para encofrados no absorbentes
 - 7.4 Instrucciones de uso**
 - 7.4.1 Aplicación de desencofrantes
 - 7.4.2 Tiempo de espera previo al hormigonado
 - 7.4.3 Operación de hormigonado
-

8 CURADO

- 8.1 Generalidades
 - 8.2 Métodos de curado
 - 8.3 Precauciones para el curado del hormigón
 - 8.4 Período de curado
-

1 MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGÓN



1.1 TÉRMINOS

Los elementos principales para producir hormigón son básicamente tres:

- Ligante (cemento)
- Agregados
- Agua

Debido a la continua y creciente demanda con respecto a la calidad del hormigón (principalmente durabilidad) y al gran avance en los compuestos impermeabilizantes y la tecnología de hormigón, en este momento es posible producir muchos tipos de hormigón.

■ Hormigón estándar	Hormigón con tamaño máximo de partícula > 8 mm Densidad (secado en horno) > 2000 kg/m ³ , máximo 2900 kg/m ³
■ Hormigón pesado	Densidad (secado en horno) > 2800 kg/m ³
■ Hormigón liviano	Densidad (secado en horno) > 800 kg/m ³ y < 2000 kg/m ³
■ Hormigón fresco	Hormigón mezclado mientras todavía puede trabajarse y compactarse
■ Hormigón endurecido	Hormigón fraguado con resistencia medible
■ Hormigón “verde” o “joven”	Recientemente colocado y compactado, estable antes del comienzo del fraguado (el hormigón verde es un término de la industria de premoldeado)

Otros términos utilizados son hormigón proyectado, gunitado o shotcrete, hormigón bombeado, hormigón para colado con grúa y balde, etc. Definen el método de colocación en los encofrados y la trabajabilidad y/o manipulación hasta el punto de instalación (véase el próximo capítulo)

1.2 LIGANTES

El cemento es el aglomerante hidráulico (endurece al combinarse con agua) que se utiliza en la elaboración de hormigón. La pasta de cemento (cemento mezclado con agua) fragua y se endurece por hidratación, tanto en el aire como bajo agua.

Las principales materias primas del cemento son, entre otros, calizas y arcillas, que pulverizados y mezclados en proporciones determinadas, se calcinan a 1450°C en horno rotativos formando un producto denominado clinker, al que luego de enfriado se le adiciona yeso, aditivos y aditivos especiales, y se muele hasta alcanzar la finura del cemento.

Normas del cemento

En Europa, los cementos se incluyen en la norma EN 197-1 (composición, especificaciones y criterios de conformidad). La norma divide los cementos comunes en 5 tipos principales, como se indica a continuación:

CEM I	Cemento Portland
CEM II	Cementos compuestos (constan principalmente de cemento Portland)
CEM III	Cementos de alto horno
CEM IV	Cemento puzolánico
CEM V	Cemento compuesto

De acuerdo con esta tabla, los diferentes tipos de cemento pueden contener también otros componentes además del clinker (K) del cemento Portland:

Componentes principales	
Escoria granulada	(S)
Humo de sílice	(D)
Puzolana natural e industrial	(P o Q)
Cenizas muy finas de silicio y filler calcáreo	(V o W)
Esquistos quemados (por ej., de petróleo)	(T)
Filler calcáreo	(I o LL)

Componentes adicionales

Son principalmente materiales inorgánicos minerales, naturales y seleccionados que se originan en la producción del clinker, o los componentes descritos (a menos que ya se encuentren en la composición del cemento como elementos principales). Véase la tabla en la página 7.

Tipos de cemento y su composición de acuerdo con EN 197-1

Tipo de cemento principal	Composición % (proporción en masa) ¹												Componentes Adicionales
	Componentes principales											Componentes Adicionales	
	Clinker de cemento Portland	Escoria de alto horno	Humo de sílice	Puzolanas		Cenizas volantes (fly ashes)		Esquistos calcinados	Caliza	L ⁴	LL ⁵		
				Natural	Artificial	Alto componente de Silíceas	Alto componente de Calcáreas						
Designación	Tipo de cemento	K	S	D ²	P	Q	V	W	T	L ⁴	LL ⁵		
CEM I	Cemento Portland	CEM I	95–100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
CEM II	Cemento Portland con escoria	CEM II/A-S	80–94	6–20	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
		CEM II/B-S	65–79	21–35	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
	Cemento Portland con humo de sílice	CEM II/A-D	90–94	–	6–10	–	–	–	–	–	–	–	0–5
CEM II	Cemento Portland con puzolana	CEM II/A-P	80–94	–	–	6–20	–	–	–	–	–	–	0–5
		CEM II/B-P	65–79	–	–	21–35	–	–	–	–	–	–	0–5
		CEM II/A-Q	80–94	–	–	–	6–20	–	–	–	–	–	0–5
		CEM II/B-Q	65–79	–	–	–	21–35	–	–	–	–	–	0–5
CEM II	Cemento Portland con cenizas volantes	CEM II/A-V	80–94	–	–	–	–	6–20	–	–	–	–	0–5
		CEM II/B-V	65–79	–	–	–	–	21–35	–	–	–	–	0–5
		CEM II/A-W	80–94	–	–	–	–	–	6–20	–	–	–	0–5
		CEM II/B-W	65–79	–	–	–	–	–	21–35	–	–	–	0–5
CEM II	Cemento Portland con esquistos calcinados	CEM II/A-T	80–94	–	–	–	–	–	–	6–20	–	–	0–5
		CEM II/B-T	65–79	–	–	–	–	–	–	21–35	–	–	0–5
CEM II	Cemento Portland con caliza	CEM II/A-L	80–94	–	–	–	–	–	–	–	6–20	–	0–5
		CEM II/B-L	65–79	–	–	–	–	–	–	–	21–35	–	0–5
		CEM II/A-LL	80–94	–	–	–	–	–	–	–	–	6–20	0–5
		CEM II/B-LL	65–79	–	–	–	–	–	–	–	–	–	21–35
CEM II	Cemento Portland compuesto ³	CEM II/A-M	80–94	6–20							–	–	0–5
		CEM II/B-M	65–79	21–35							–	–	0–5
CEM III	Cemento con escoria de alto horno	CEM III/A	35–64	36–65	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
		CEM III/B	20–34	66–80	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
		CEM III/C	5–19	81–95	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
CEM IV	Cemento puzolánico ³	CEM IV/A	65–89	–	11–35				–	–	–	0–5	
		CEM IV/B	45–64	–	36–55				–	–	–	0–5	
CEM V	Cemento compuesto ³	CEM V/A	40–64	18–30	–	18–30		–	–	–	–	0–5	
		CEM V/B	20–39	31–50	–	31–50		–	–	–	–	0–5	

¹ Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios

² El humo de sílice se limita al 10%.

³ En los cementos Portland con adiciones (Portland compuestos) CEM II/A-M y CEM II/B-M, los cementos puzolánicos CEM IV/A y CEM IV/B y los cementos compuestos CEM V/A y CEM V/B, el componente mayoritario debe estar declarado en la designación del cemento

⁴ El contenido de carbono orgánico total (TOC) no debe exceder el 0,2% en masa

⁵ El contenido de carbono orgánico total (TOC) no debe exceder el 0,5% en masa

Resistencias

Los cementos poseen tres clases de resistencia de acuerdo con la resistencia el mortero estándar a la edad de 28 días. Los niveles representan las resistencias mínimas requeridas a la compresión de 32.5/42.5/52.5 N/mm²

Los cementos con alta resistencia a la compresión a la edad de dos días tienen la designación adicional "R".

Se proporciona información detallada con respecto a los componentes individuales en EN 197-1:

Capítulo 5: Componentes

5.1 Generalidades

5.2 Componentes Principales

5.3 Componentes Secundarios

1.3 AGREGADOS PARA HORMIGÓN

Las gravas, piedra y arena forman la estructura granular cuyos vacíos deberían llenarse con el ligante. La estructura granular constituye aproximadamente el 80% del peso y el 70-75% del volumen de hormigón. El uso óptimo del tamaño y la calidad del árido mejora la calidad del hormigón. Los áridos pueden ser de origen natural (fluviales o glaciares), o de trituración. En algunos casos es necesario proceder a su lavado, clasificación y mezcla en instalaciones industriales para mejorar su comportamiento como esqueleto granular en el hormigón.

Para que un material sea adecuado para ser usado como árido se requiere que no interfiera con el fraguado, tenga una adherencia suficientemente fuerte con la pasta de cemento endurecida y no comprometa la resistencia y durabilidad del hormigón.

Agregados comunes y especiales

Agregados estándar	Densidad 2.2 – 3 kg/dm ³	Proveniente de depósitos naturales, por ej., grava de río, grava de morena, etc. Material redondeado o triturado (por ej., excavación de túneles)
Agregados pesados	Densidad > 3.0 kg/ dm ³	Baritinas, mineral de hierro, granulado de acero. Para la producción de hormigón pesado (por ej., hormigón para protección de radiación)
Agregados livianos	Densidad < 2.0 kg/ dm ³	Hormigón liviano: arcilla expandida por cocción. Hormigón asilante no estructural: piedra pómez / poliestileno
Agregados duros	Densidad > 2.0 kg/ dm ³	Cuarzo, carburo de silicio, por ej. para la elaboración de superficies de hormigón granolíticas
Partículas recicladas	Densidad approx. 2.4 kg/ dm ³	A partir de hormigón ya utilizado, molido

Agregados estándar

En Europa, la norma EN 12620 define los agregados. Debido a que esta norma es muy amplia, proporcionar más detalles de los incluidos en la lista que se encuentra a continuación estaría fuera del alcance de este documento. Para mayor profundidad sobre la misma, favor referirse al capítulo 2 (Pág. 20).

Términos importantes de la norma

(con notas adicionales)

- **Agregados naturales**
Proviene de depósitos minerales y se someten a tratamientos y/o lavados mecánicos.
- **Mezcla de áridos**
Árido que consiste en una mezcla de agregados finos y gruesos. Una mezcla puede ser producida sin separación previa de agregados finos y gruesos o combinando agregados finos (arena) y gruesos.
- **Agregados reciclados**
Agregados elaborados a partir de material inorgánico procesado mecánicamente y que había sido empleado anteriormente como material de construcción .
- **Filler (polvo de roca molida)**
Árido que pasa predominantemente el tamiz de 0.063 mm, que se agrega para obtener propiedades específicas.
- **Agrupación por tamaño de partícula**
Designación de un árido por tamaño de tamiz más bajo (d) y más alto (D), expresado como d/D.
- **Agregados finos (arena)**
Designación para fracciones de tamaño pequeño donde D no es mayor que 4 mm. (IRAM: 4.75 mm.). Los agregados finos pueden producirse por roturas naturales de piedra o grava y/o trituración de roca o grava, o por el procesamiento de minerales de producción industrial.
- **Agregados gruesos**
Designación para fracciones de tamaño mayor donde D no es menor a 4 mm y d no es menor que 2 mm.
- **Agregados de formación natural 0/8 mm.**
Designación para agregados naturales de origen glacial o fluvial donde D no es mayor que 8 mm (también puede producirse mezclando agregados procesados).
- **Finos**
Proporción de un árido que pasa el tamiz de 0.063.
- **Composición granulométrica**
Distribución de partículas por tamaño expresadas como la fracción que pasa en porcentaje por peso a través de una cantidad definida de tamices.

Fracción pasante, curvas de distribución por tamaño de partícula

El tamaño de partícula se expresa de acuerdo con el tamaño de orificio o abertura de malla de los tamices de ensayo por los que pasa la partícula.

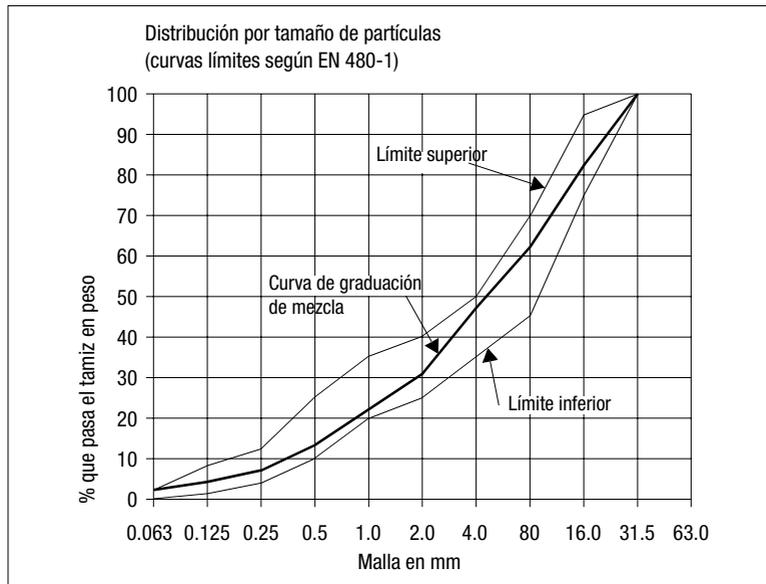
De acuerdo con la norma EN 933-2, se deben utilizar tamices malla de abertura cuadrada.

Tipo de tamiz especificado

Tamaño del orificio < 4 mm	Malla de cables de metal
Tamaño ≥ 4 mm	Placa de metal perforado

El tamaño de los orificios de los tamices individuales (tamaños de tamices) se encuentra en la ISO 3310-1 & 2. Se puede tomar como ejemplo la sección estándar de la serie principal R20. Se requieren los siguientes tamaños de tamices (medida de la abertura en mm)

Mezcla de áridos 0 - 32 mm: 0.063 / 0.125 / 0.25 / 0.50 / 1.0 / 2.0 / 4.0 / 8.0 / 16.0 / 31.5



Elemento	Tamaño de partícula en mm	Contenido de la mezcla en %
Caliza en polvo	0-0.25	2.5
Arena redondeada	0-1	18.0
Arena redondeada	1-4	27.5
Grava redondeada	4-8	12.0
Grava redondeada	8-16	20.0
Grava redondeada	16-32	20.0

En este caso, se trata de arenas y gravas lavadas, por lo tanto se agrega filler para mejorar la consistencia

Información práctica

- **Forma óptima de grano, triturado/fino**
Las formas cúbicas/esféricas son más adecuadas que las lineales o planas que pueden afectar la consistencia y resistencia del hormigón. Los áridos triturados tienen un requerimiento de agua levemente superior para la misma consistencia debido a su gran superficie específica pero se puede obtener mayor resistencia a la compresión y especialmente a la tracción debido a un mayor interlocking (trabazón de agregados).
- **Áridos predominantemente triturados**
La superficie de los materiales triturados de roca, grandes bloques, etc. constan solamente de superficies fracturadas mientras que la superficie de materiales finos triturados también incluye áreas redondeadas naturalmente. En la actualidad, los materiales de roca triturados se utilizan principalmente en túneles, siguiendo el principio "Punto de extracción = punto de instalación".
- **Arenas de canteras**
Son angulares y también más alargadas o más chatas, dependiendo de la roca. No conducen a una mejor consistencia, y su requerimiento de agua es generalmente mayor.
- **Contaminantes dañinos**
Greda, humus, arcilla calcárea, arcilla, yeso y áridos que contienen sulfatos, cloruros y álcalis son potencialmente dañinos y su presencia y posibles consecuencias deben aclararse.

Requerimientos físicos para los áridos

La norma EN 12620 clasifica los áridos según los siguientes criterios:

- Resistencia a la tracción
- Resistencia al desgaste
- Resistencia al pulido y a la abrasión
- Densidad de partículas y absorción de agua
- Densidad a granel
- Durabilidad

Durabilidad

La durabilidad se asocia fundamentalmente con la reacción alcali-silice y la resistencia a las heladas y al congelamiento/deshielo de los áridos gruesos que deben ser adecuados para el propósito específico y deben verificarse, si fuese necesario.

Áridos alternativos (material reciclado)

Los grandes depósitos naturales de grava y arena a menudo constituyen recursos valiosos, no renovables. Cada vez es más difícil obtener y utilizar grava de estas áreas naturales.

Los posibles sustitutos son:

- Triturar y procesar el hormigón viejo para formar gránulos de hormigón
- Reutilizar microfinos a partir de las instalaciones de lavado de hormigón.

Es aconsejable verificar en cada caso la conveniencia de utilizar material reciclado.

1.4 ADITIVOS QUÍMICOS PARA HORMIGÓN

Los Aditivos químicos para hormigón son líquidos o polvos que se agregan al hormigón durante el mezclado en pequeñas cantidades, normalmente basándose en el contenido de cemento. Influyen favorablemente en las propiedades del hormigón fresco y/o endurecido.

La EN 206-1 define a los aditivos para el hormigón y la EN-934-2 establece sus requisitos. La norma incluye lo siguiente bajo "Definiciones Especiales" (ligeramente resumido).

Aditivos químicos – definiciones y efectos

- *Reductor de agua*
Permite reducir el contenido de agua en una mezcla de hormigón sin afectar la consistencia o aumenta la trabajabilidad sin cambiar el contenido de agua, o combina ambos efectos.
- *Superplastificante*
Permite reducir en gran medida el contenido de agua en una mezcla de hormigón sin afectar la consistencia, o aumenta en gran medida la trabajabilidad sin cambiar el contenido de agua, o combina ambos efectos.
- *Estabilizador*
Reduce la exudación del agua de amasado en el hormigón fresco.
- *Incorporador de aire*
Introduce una cantidad específica de pequeñas burbujas de aire bien distribuidas durante el proceso de mezclado. Este aire permanece en el hormigón luego de su endurecimiento.
- *Acelerante de fraguado*
Reduce el tiempo de fraguado inicial, con aumento de la resistencia inicial.
- *Acelerante del endurecimiento*
Acelera la resistencia inicial con o sin efecto sobre el tiempo de fraguado.
- *Retardador*
Retarda el tiempo de fraguado inicial y prolonga la consistencia.
- *Reductor de la absorción de agua*
Reduce la absorción de agua por capilaridad del hormigón endurecido.
- *Retardador/reductor de agua*
Tiene efectos combinados como reductor de agua (efecto principal) y retardador (efecto adicional).
- *Retardador/superplastificante*
Tiene efectos combinados como superplastificante (efecto principal) y retardador (efecto adicional)
- *Acelerante de fraguado/reductor de agua*
Tiene efectos combinados como reductor de agua (efecto principal) y acelerador de fraguado (efecto adicional)

Otros productos como los reductores de retracción, inhibidores de corrosión, etc. no se encuentran todavía cubiertos por la norma EN-934-2.

Dosificación de aditivos químicos según la norma EN-206-1:

Dosis permitida	≤ 5% en peso de cemento. (Debe verificarse el efecto de una dosis mayor en el desempeño y la durabilidad del hormigón)
Dosis menores	Solamente se permiten cantidades de aditivos químicos < 0,2 % en peso de cemento si se disuelven en parte del agua de amasado

Si la cantidad total de los aditivos líquidos es ≥ 3 l/m³ de hormigón, la cantidad de agua contenida en ellos se debe incluir el cálculo de la relación agua/cemento.

Si se agrega más de un aditivo, su compatibilidad debe verificarse con pruebas específicas.

Los efectos y usos de los aditivo enumerados más arriba (y otros) se detallan en los capítulos siguientes.

1.5 ADICIONES MINERALES Y PIGMENTOS PARA DE HORMIGÓN

Son materiales finos que generalmente se agregan en proporciones significativas (aprox. 5-20%). Se utilizan para mejorar u obtener propiedades específicas en el hormigón fresco y/o endurecido.

La EN-206-1 enumera dos tipos de aditivos inorgánicos para el hormigón.

Tipo I

Materiales virtualmente inactivos como filler calcáreo, polvo de cuarzo y pigmentos colorantes.

- *Pigmentos*
Para dar u obtener hormigón con color se pueden emplear óxidos de metal, principalmente de hierro.
Se agregan en proporciones de 0,5-5% en peso de cemento. Deben dar color rápidamente y permanecer estables en el entorno alcalino del cemento. Con algunos tipos de pigmentos, el requerimiento de agua de la mezcla puede aumentar.
- *Polvo de roca (polvo de cuarzo, caliza)*
Las mezclas con finos insuficientes pueden mejorarse agregando roca en polvo. Estos materiales inertes se utilizan para mejorar la granulometría. El requerimiento de agua es mayor, especialmente cuando se agrega caliza.

Datos técnicos para polvos de roca (según DIN 4226-1)

Parámetro	Producto		
	Polvo de roca		
	Polvo de cuarzo	Caliza polvo	Unidad
Densidad (peso específico) ¹	2650	2600-2700	kg/m ³
Superficie específica	≥ 1000	≥ 3500	cm ² /g
Peso de la unidad de volumen, suelto* ¹	1300-1500	1000-1300	kg/m ³
Pérdida por calcinación	0.2	~ 40	%

* Este factor debe considerarse para la capacidad de llenado de los silos, etc.
¹ Experiencia actual

Tipo II

Materiales puzolánicos o hidráulicos latentes como las puzolanas naturales (trass), cenizas volantes (fly ash) y humo de sílice.

La ceniza volante es una ceniza de plantas generadoras alimentadas a carbón que se utiliza como adición para el cemento y el hormigón. Su composición depende principalmente de la naturaleza y tipo de carbón, y de las condiciones de quemado.

El humo de sílice (Silicafume) consta principalmente de partículas esféricas de dióxido de silicio amorfo que proviene de la producción de sílice y aleaciones de sílice. Tiene una superficie específica de 18-25 m² por gramo y es una puzolana altamente reactiva.

La dosis estándar de humo de sílice es 5 a 10% max. del peso del cemento.

Tabla de comparación cemento/puzolanas

Parámetro	Producto				Unidad
	Cementos		Puzolanas industriales		
	CEM I 42.5*	CEM II A-LL 32.5 R*	Fly ashes	Humo de Sílice	
Densidad (peso específico) ¹	~3100	~3000	2200-2600	~2200	kg/m ³
Superficie específica	~3000	~4000	3000-5500	180 000-250 000	cm ² /g
Peso de la unidad de volumen, suelto* ¹	~1200	~1100	1000-1100	300-600	kg/m ³
Pérdida por calcinación	2.4	6.9	≤ 5	≤ 3	%
Contenido SiO ₂			40-55	hasta 98	%

* Datos de cementos seleccionados al azar según EN-197-1

**Este factor debe considerarse para la capacidad de llenado de los silos, etc.

¹ Experiencias actuales con puzolanas

1.6 CONTENIDO DE FINOS

La parte granular más fina está constituida por:

- El Cemento
- El % de agregados comprendidos en la fracción 0 a 0,125 mm
- Y el/los aditivo/s del hormigón

Los granos más finos actúan como plastificantes del hormigón fresco para mejorar la trabajabilidad y la retención de agua. Se reduce el riesgo de separación de la mezcla durante la colocación y se facilita la compactación.

Sin embargo, un excesivo contenido de granos muy finos producen un hormigón más elástico y pegajoso (tixotrópico). También puede haber mayor contracción y tendencia a la retracción y al creep (mayor contenido de agua).

Se ha comprobado que las siguientes cantidades son las mejores:

	Áridos redondos	Áridos triturados
Para hormigón de tamaño máximo 32 mm	Contenido de granos muy finos entre 350 y 400 kg/m ³	Contenido de granos muy finos entre 375 y 425 kg/m ³
Para hormigón de tamaño máximo 16 mm	Contenido de granos muy finos entre 400 y 450 kg/m ³	Contenido de granos muy finos entre 425 y 475 kg/m ³

Los mayores contenidos de granos muy finos generalmente se utilizan para hormigones auto-compactantes.

1.7 AGUA DE AMASADO

La naturaleza del agua determina que sea o no adecuada para la fabricación de hormigón. La EN 1008 enumera los siguientes tipos:

- **Agua potable**
Es adecuada para el hormigón. No necesita pruebas.
- **Agua recuperada de procesos en la industria del hormigón (por ejemplo, agua de lavado)**
Generalmente es adecuada para el hormigón pero debe cumplir con los requerimientos del Anexo A de la norma (por ej., que el peso adicional de sólidos en el hormigón que aparecen cuando se usa el agua recuperada de los procesos en la industria debe ser menor que el 1% del peso total de los áridos que se encuentran en la mezcla).
- **Agua subterránea**
Puede ser adecuada para el hormigón pero se debe verificar.
- **Agua superficial y agua de procesos industriales**
Puede ser adecuada para el hormigón pero se debe verificar.
- **Agua de mar o agua salobre**
Puede ser adecuada para el hormigón no reforzado pero no es adecuada para el hormigón armado o pretensado.
Se debe verificar el contenido máximo de cloro permitido en el hormigón con refuerzo armado o insertos metálicos.
- **Agua de desechos**
No es adecuada para el hormigón.

El agua combinada es una mezcla de agua recuperada de procesos en la industria del hormigón y agua de un origen diferente. En este caso se aplican los requerimientos para los tipos de agua combinada.

Ensayos preliminares (EN 1008, Tabla 1)

En primer lugar, el agua debe ser analizada en busca de trazas de petróleo y grasas, espuma (detergentes), sustancias suspendidas, olor (por ej., que no tenga olor a sulfuro de hidrógeno luego del agregado de ácido clorhídrico), contenido de ácido ($\text{pH} \geq 4$) y humus.

El agua que no cumple con uno o más de los requerimientos de la Tabla 1 sólo puede utilizarse si reúne las siguientes especificaciones químicas y su uso no tiene consecuencias negativas en el tiempo de fraguado ni en el desarrollo de la resistencia (véase EN 1008 para métodos de ensayo).

Propiedades químicas

■ Cloruros

El contenido de cloruros del agua no debe exceder los niveles de la tabla que se encuentra a continuación:

Uso final	Máximo contenido de cloruros en mg/l
Hormigón pretensado o microhormigón (grout)	500
Hormigón armado o partes de metal incorporadas	1000
Hormigón sin armaduras ni partes de metal incorporadas	3400

■ Sulfatos

El contenido de sulfatos del agua no debe ser mayor que 2000 mg/l

■ Alcalis

Si se utilizan áridos sensibles a los álcalis en el hormigón, debe verificarse el contenido de álcalis del agua. El contenido de álcalis (equivalente a Na_2O) normalmente no debe exceder 1500 mg/l. Si se excede este nivel, el agua solamente debe ser usada si puede comprobarse que se han tomado medidas para impedir reacciones deletéreas alcali-sílice.

■ Contaminantes dañinos

En primer lugar se deben realizar los ensayos de calidad para azúcares, fosfatos, nitratos, plomo y zinc. Si los resultados son positivos, se debe determinar el contenido del material en cuestión o se deben realizar los ensayos de tiempo de fraguado o resistencia a la compresión.

Límites de los análisis químicos

Material	Contenido máximo en mg/l
Azúcares	100
Fosfatos, expresados como P_2O_5	100
Nitratos, expresados como NO_3	500
Plomo, expresado como Pb^{2+}	100
Zinc, expresado como Zn^{2+}	100

■ Tiempo de fraguado y resistencia

El fraguado inicial verificado en muestras con el agua en estudio no debe ser menor a una hora y no debe diferir en más del 25% del fraguado inicial obtenido en muestras con agua destilada o deionizada. El fraguado final no debe ser mayor a 12 horas y no debe diferir en más del 25% del tiempo de fraguado final obtenido en muestras con agua destilada o deionizada.

La resistencia promedio a la compresión a la edad 7 días en las muestras producidas con el agua a verificar debe alcanzar al menos el 90% de la resistencia a la compresión de las muestras con agua destilada o deionizada.

1.8 CÁLCULO DE VOLUMEN DE LOS MATERIALES

El objetivo de calcular el volumen del material es determinar el volumen de hormigón a partir del volumen los materiales componentes por cálculo. El volumen del material significa el volumen de los componentes individuales del hormigón. El cálculo supone que las cantidades indicadas de cemento, agua, áridos, aditivos químicos y adiciones minerales mezclados para 1 m³ de hormigón fresco más los vacíos posteriores a la compactación realmente suman un volumen de 1 m³.

Cálculo de masa y volumen para 1 m³ de hormigón

Materia prima usada para el diseño de hormigón	Dosis en %	Necesita kg por 1 m ³ (de acuerdo con diseño de mezcla)	Peso Especifico en kg/l	Rinde litros por 1 m ³
Tipo de cemento		kg	3.15 (verificar localmente)	→
Tipo ligante Adicional		kg		→
Aditivo SikaFume (ligante adicional)		kg	2.2 (verificar localmente)	→
Aditivo 1 Tipo: Comp. Estabilizante		kg		
Aditivo 2 Tipo: Comp. Estabilizante		kg		
Aire esperado o planificado 1% = 10 l en 1 m ³	%		–	→
Agua de amasado agua/ cemento (a/c) o agua/ligante (a/l)= (incluyendo contenido de agua en los áridos)		kg	1.0	→
Volumen total sin considerar agregados				↓
Agregados fino y grueso (estado seco)		kg ↓	2.65 (verificar localmente)	← = diferencia hasta 1000 litros
Total hormigón		kg (para 1 m ³) →	kg/l (peso espec. del hormigón fresco)	← 1000 l (= 1 m³)

→ = pasos del cálculo

Comentario: si la cantidad total de aditivos excede un volumen de 3 litros por m³ de hormigón, el contenido de agua que viene con los aditivos debe considerarse en el cálculo de la relación agua/cemento.

Ejemplo

Materia prima usada para el diseño de hormigón	Dosis en %	Necesita kg por 1 m ³ (de acuerdo con diseño de mezcla)	Peso Especifico en kg/l	Rinde litros por 1m ³
Tipo de Cemento CEM I		kg 325	3.15 (verificar localmente)	→ 103
Tipo de ligante adicional		kg		→
Tipo SikaFume (ligante adicional)	6	kg 19.5	2.2 (verificar localmente)	→ 9
Aditivo 1 ViscoCrete® 6 ViscoCrete® 20 HE ViscoCrete® 3085 (calculado considerando cemento+Silicafume)	1.2	kg 4.13		(incl. en agua)
Aditivo 2 Tipo:		kg		
Aire esperado o planificado % = 10 l en 1 m ³	%	3.0	–	→ 30
Agua de amasado agua/cemento (a/c) o agua/ligante (a/l) =0,45 (a/l) (incluyendo contenido de agua en los áridos)		kg 155	1.0	→ 155*
Volumen total sin considerar agregados				297 ↓
Agregados fino y grueso (estado seco)		kg 1863 ↓	2.65 (verificar localmente)	← 703 =diferencia hasta 1000 litros
Total hormigón		kg 2362 (para 1 m ³) →	2.362 kg/l (peso espec. del hormigón fresco)	← 1000 l (= 1 m³)

* Teóricamente se debe agregar aprox. 1 litro de agua (reemplazando aprox. el contenido seco de los compuestos estabilizantes).

2 NORMA EN 206-1:2000

La Norma Europea para Hormigón se adoptó en diferentes momentos en los distintos países de Europa. Para simplificar, la llamaremos EN 206:1.

Se aplica a las estructuras de hormigón colado in situ, elementos y estructuras premoldeados y productos estructurales premoldeados para construcción y usos de la ingeniería civil.

Se aplica a:

- hormigón de peso normal
- hormigón pesado
- hormigón liviano
- hormigón pretensado

Hay Normas Europeas en preparación para

- hormigón proyectado
- hormigón a utilizar en caminos y otras áreas de tránsito

No se aplica a:

- hormigón aireado
- hormigón celular
- hormigón con estructura abierta (hormigón sin finos)
- morteros con partículas de diámetro máximo menor o igual a 4mm
- hormigón de densidad < 800 kg/m³
- hormigón refractario

El hormigón se denomina hormigón diseñado (en función de los requisitos y condiciones de exposición) u hormigón prescripto (cuando se especifica la composición).

2.1. DEFINICIONES DERIVADAS DE LA NORMA.

Propiedades del hormigón, exposición

- *Hormigón diseñado*
Hormigón cuyas características y propiedades adicionales deseadas se especifican al fabricante, que tiene la responsabilidad de proveer un producto conforme a dichas características y propiedades.
- *Hormigón prescripto*
Hormigón cuya composición y materiales se especifican al fabricante, que tiene la responsabilidad de proveer un producto conforme con dicha composición.
- *Acción del entorno (→ clases de exposición)*
Son las fuerzas físicas y químicas a las que está expuesto el hormigón, y que pueden producir efectos sobre el hormigón o sobre armaduras y refuerzos que no se consideran como cargas en el diseño estructural.
- *Especificación*
La compilación final de los requisitos técnicos documentados en términos de desempeño o de composición que se entrega al productor de hormigón.
- *Hormigón estandarizado prescripto*
Hormigón especificado cuya composición está prescripta en una norma válida en el lugar de uso.
- *Especificador*
Persona u organismo que establece la especificación para el hormigón fresco y endurecido.
- *Fabricante*
Persona u organismo que produce el hormigón fresco.
- *Usuario*
Persona u organismo que usa el hormigón fresco en la ejecución de una obra.

Equilibrio de agua en el hormigón

- *Contenido total de agua*
La suma total del agua agregada más el agua contenida en los áridos y en la superficie de los áridos, en los aditivos y adiciones usados en forma de lechada y el agua proveniente del agregado de hielo o suministro de vapor.
- *Contenido efectivo de agua*
La diferencia entre la totalidad de agua presente en el hormigón fresco y la cantidad de agua absorbida por los agregados.
- *Relación agua/cemento*
Relación entre el contenido efectivo de agua y el contenido de cemento en masa en el hormigón fresco.

Carga, entrega, lugar de uso

- *Hormigón mezclado in situ*
Hormigón elaborado por el usuario para su propio uso en el lugar de la obra.
- *Hormigón pre-mezclado (elaborado)*
Hormigón entregado en estado fresco por una persona u organismo que no es el consumidor final. En el contexto de esta norma, hormigón pre-mezclado es también

- hormigón producido por el usuario en un sitio diferente al del uso
- hormigón producido en el lugar de uso por una persona u organización diferente del usuario.

■ **Carga**

Cantidad de hormigón transportada en un vehículo, que puede incluir uno o más pastones.

■ **Pastón**

Cantidad de hormigón fresco que se produce en un ciclo de operación de una mezcladora, o la cantidad descargada en un minuto por una mezcladora continua.

2.2 CLASES DE EXPOSICIÓN REFERIDAS A ACCIONES DEL ENTORNO

Las acciones del entorno se clasifican como clases de exposición.

Las clases de exposición que se admitan dependerán de las disposiciones vigentes en el lugar de uso del hormigón. Esta clasificación de exposiciones no excluye la consideración de condiciones especiales existentes en el lugar de uso del hormigón, ni la aplicación de medidas de protección tales como el uso de acero inoxidable u otro metal resistente a la corrosión y el uso de revestimientos protectores para el hormigón o el material de refuerzo.

El hormigón puede estar sujeto a más de una de las acciones descriptas. Puede ser necesario expresar las condiciones atmosféricas que deben enfrentarse como la combinación de dos o más categorías de exposición.

Tabla 2.2.1

Designación de la clase	Descripción del medio ambiente	Ejemplos informativos donde pueden aparecer clases de exposición
Sin riesgo de ataque o corrosión		
X0	Para hormigón simple, sin refuerzos, toda exposición, salvo en lugares donde hay congelamiento / deshielo, abrasión o ataque químico. Para hormigón con armaduras o refuerzos, en estado siempre seco	Interior de edificios de hormigón con baja humedad
Corrosión por carbonatación		
XC1	Seco o permanentemente húmedo	Hormigón en el interior de edificios con ambiente de baja humedad. Hormigón permanentemente sumergido en agua
XC2	Húmedo, raramente seco	Superficies de hormigón sujetas a contacto prolongado con el agua. La mayoría de los cimientos
XC3	Humedad moderada	Hormigón dentro de edificios con humedad moderada o alta. Hormigón exterior protegido de la lluvia

Designación de la clase	Descripción del medio ambiente	Ejemplos informativos donde pueden aparecer clases de exposición
XC 4	Cíclicamente mojado y seco	Superficies de hormigón sujetas al contacto con el agua, no comprendidas dentro de la exposición Clase X C 2
Corrosión inducida por cloruros que no sean agua de mar		
XD 1	Humedad moderada	Superficies de hormigón expuestas a cloruros transportados por el aire
XD 2	Mojado, raramente seco	Piletas de natación, hormigón expuesto a aguas industriales que contienen cloruros
XD 3	Cíclico, mojado y seco	Parte de puentes expuestos a rociado con cloro; pavimentos, losetas de estacionamientos
Corrosión inducida por cloruro de agua de mar		
XS 1	Expuesto a sal transportada por aire pero no en contacto directo con agua de mar	Estructuras cercanas, en la costa o sus cercanías
XS 2	Permanentemente sumergido	Partes de estructuras marinas
XS 3	Zonas de olas, salpicaduras y rociado	Partes de estructuras marinas
Ataque de congelamiento/deshielo con o sin agentes descongelantes		
XF 1	Moderada saturación de agua sin agente descongelante	Superficies de hormigón vertical de estructuras expuestas a la lluvia y al congelamiento
XF 2	Moderada saturación de agua con agente descongelante	Superficies de hormigón vertical de estructuras de caminos expuestas a congelamiento y a agentes descongelantes transportados en el aire
XF 3	Alta saturación de agua sin agente descongelante	Superficies horizontales de hormigón expuestas a la lluvia y al congelamiento
XF 4	Alta saturación de agua con agente descongelante	Caminos y puentes expuestos a agentes descongelantes, superficies de hormigón expuestas al congelamiento y al rociado directo con agentes descongelantes
Ataque químico		
XA 1	Entorno químico levemente agresivo de acuerdo con la Tabla 2.2.2	Hormigón en plantas de tratamiento, contenedores de lodo
XA 2	Entorno químico moderadamente agresivo de acuerdo con la Tabla 2.2.2	Componentes de hormigón en contacto con agua de mar, componentes en el suelo corrosivos al hormigón.
XA 3	Entorno químico altamente agresivo de acuerdo con la Tabla 2.2.2	Plantas de efluentes industriales corrosivos para el hormigón, silos, estructuras de hormigón para descarga de gases de combustión.

Valores límites para los tipos de exposición de ataque químico proveniente del suelo y del agua subterránea

Nombre común	Características químicas		X A 1 (levemente agresivo)	X A 2 (moderadamente agresivo)	X A 3 (altamente agresivo)
Agua subterránea					
Sulfato	SO ₄ ²⁻	mg/l	≥ 200	> 600	> 3000
			y ≤ 600	y ≤ 3000	y ≤ 6000
	pH	mg/l	≤ 6.5	< 5.5	< 4.5
			y ≥ 5.5	y ≥ 4.5	y ≥ 4.0
Dióxido de carbono	CO ₂ agresivo	mg/l	≥ 15	> 40	> 100
			y ≤ 40	y ≤ 100	hasta saturación
Amoníaco	NH ₄ ⁺	mg/l	≥ 15	≥ 30	> 60
			y ≤ 30	y ≤ 60	y ≤ 100
Magnesio	Mg ²⁺	mg/l	≥ 300	> 1000	> 3000
			y ≤ 1000	y ≤ 3000	hasta saturación
Suelo					
Sulfato	SO ₄ ²⁻	mg/kg	≥ 2000	≥ 3000	> 12 000
			y ≤ 3000	y ≤ 12 000	y ≤ 24 000

Se encuentra una lista de los tipos de exposiciones y los contenidos mínimos de cementos relacionados al final del capítulo 2 (pág 30).

2.3 CLASIFICACIÓN POR CONSISTENCIA

Los tipos de consistencia en las tablas que se encuentran a continuación no están directamente relacionados. Para hormigones húmedos, es decir hormigón con bajo contenido de agua, la consistencia no se ha clasificado.

Tipos de compactación	
Tipo	Clasificación por Compactabilidad
C0 ¹	≥ 1.46
C1	1.45 a 1.26
C2	1.25 a 1.11
C3	1.10 a 1.04
Tipos de extendido	
Tipo	Diámetro de fluidez en mm
F1 ¹	≤ 340
F2	350 a 410
F3	420 a 480
F4	490 a 550
F5	560 a 620
F6 ¹	≥ 630
Tipos de asentamiento	
Tipo	Clasificación por Asentamiento en mm
S1	10 a 40
S2	50 a 90
S3	100 a 150
S4	160 a 210
S5 ¹	≥ 220
Tipos de Vebe	
Tipo	Clasificación por Vebe en segundos
V0 ¹	≥ 31
V1	30 a 21
V2	20 a 11
V3	10 a 6
V4 ²	hasta 3

¹ Fuera del área recomendada de aplicación

² Fuera del área recomendada de aplicación
(pero frecuente en el caso de hormigones autocompactantes)

2.4 NIVELES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se puede utilizar para esta clasificación la resistencia a la compresión característica de cilindros de 150 mm por 300 mm o cubos de 150 mm.

Niveles de resistencia a la compresión para hormigón de peso normal y pesado

Niveles de resistencia a la compresión	Resistencia característica mínima medida en cilindros $f_{ck,cyl}$ N/mm ²	Resistencia característica mínima medida en cubos $f_{ck,cubo}$ N/mm ²
C 8/ 10	8	10
C 12/ 15	12	15
C 16/ 20	16	20
C 20/ 25	20	25
C 25/ 30	25	30
C 30/ 37	30	37
C 35/ 45	35	45
C 40/ 50	40	50
C 45/ 55	45	55
C 50/ 60	50	60
C 55/ 67	55	67
C 60/ 75	60	75
C 70/ 85	70	85
C 80/ 95	80	95
C 90/ 105	90	105
C 100/ 115	100	115

Niveles de resistencia a la compresión para hormigón liviano

Niveles de resistencia a la compresión	Resistencia característica mínima medida en cilindros $f_{ck,cyl}$ N/mm ²	Resistencia característica mínima medida en cubos $f_{ck,cubo}$ N/mm ²
LC 8/ 9	8	9
LC 12/ 13	12	13
LC 16/ 18	16	18
LC 20/ 22	20	22
LC 25/ 28	25	28
LC 30/ 33	30	33

Niveles de resistencia a la compresión	Resistencia característica mínima medida en cilindros $f_{ck,cyl}$ N/mm ²	Resistencia característica mínima medida en cubos $f_{ck,cubo}$ N/mm ²
LC 35/ 38	35	38
LC 40/ 44	40	44
LC 45/ 50	45	50
LC 50/ 55	50	55
LC 55/ 60	55	60
LC 60/ 66	60	66
LC 70/ 77	70	77
LC 80/ 88	80	88

Niveles de densidad para hormigón liviano

Niveles de densidad	D 1.0	D 1.2	D 1.4	D 1.6	D 1.8	D 2.0
Rango de densidad Kg/m ³	≥ 800 y ≤ 1000	> 1000 y ≤ 1200	> 1200 y ≤ 1400	> 1400 y ≤ 1600	> 1600 y ≤ 1800	> 1800 y ≤ 2000

2.5 EL VALOR K (EXTRAÍDO DE EN 206-1)

Si se utilizan adiciones tipo II (cenizas volantes y Silicafume, véase el capítulo 1, pág. 14), el valor k permite que se tomen en cuenta estos elementos en el cálculo de agua para el hormigón fresco. (El concepto de valor k puede diferir de país en país).

Uso de:

Cemento "relación agua/cemento"

Cemento y adición tipo II "relación agua/(cemento + k x adición)"

El valor real de k depende de cada adición.

Concepto de valor k para cenizas volantes de acuerdo con EN 450

La cantidad máxima de cenizas volantes a tomarse en cuenta para el concepto de valor k cumplirá con los siguientes requerimientos:

Ceniza volante/cemento ≤ 0.33 por masa

Si se utiliza una mayor cantidad de ceniza volante, el exceso no se tomara en cuenta para el cálculo de la relación agua/(cemento + k x ceniza volante) y el contenido mínimo de cemento.

Se permiten los siguientes valores k para el hormigón que contenga CEM I, conforme a EN 197-1:

CEM I 32.5	$k = 0.2$
CEM I 42.5 en adelante	$k = 0.4$

Contenido mínimo de cemento para clases de exposición relevante (véase la pág. 30)

Este puede reducirse a una máxima cantidad de $k \times$ (contenido mínimo de cemento - 200) kg/m^3 . Además, la cantidad de (cemento + cenizas volantes) no deberá ser menor que el contenido mínimo de cemento requerido.

El concepto de valor k no se recomienda para el hormigón que contenga una combinación de cenizas muy finas y sulfato que resista el cemento CEM I en el caso de tipos de exposición XA2 y XA3 cuando la sustancia agresiva es el sulfato.

Concepto de valor k para Silicafume conforme a prEN 13263:1998

La máxima cantidad de Silicafume a ser tenida en cuenta para la relación agua/cemento y el contenido de cemento debe cumplir con el requerimiento siguiente:

Silicafume/cemento ≤ 0.11 en masa

Si se utiliza una cantidad mayor de Silicafume, el exceso no se tomará en cuenta para el concepto de valor k .

Los valores k permitidos a ser aplicados para el hormigón que contiene cemento tipo CEM I conforme a EN 197-1:

Relación agua/cemento:	
≤ 0.45	$k = 2.0$
> 0.45	$k = 2.0$ Excepto para clases de exposición XC y XF Donde $k = 1.0$

Contenido mínimo de cemento para clases de exposición relevante (véase la pág. 30)

Este no se deberá reducir en más de 30 kg/m^3 en hormigones a utilizarse bajo clases de exposición para los cuales el mínimo contenido de cemento es $\leq 300 \text{ kg}/\text{m}^3$

Además, la cantidad de (cemento + $k \times$ Silicafume) no debe ser menor que el contenido mínimo de cemento requerido para el tipo de exposición relevante.

Uso combinado de cenizas volantes en conformidad con EN 450 y de Silicafume de acuerdo con prEN 13263

Para asegurar suficiente alcalinidad de la solución de poros en hormigón armado y pretensado, se deberán cumplir los siguientes requerimientos con respecto a la máxima cantidad de cenizas volantes y humo de sílice (Silicafume).

- Cenizas volantes $\leq (0.66 \times \text{cemento} - 3 \times \text{Humo de sílice})$ en masa
- Humo de sílice/cemento ≤ 0.11 en masa

2.6 CONTENIDO DE CLORO (EXTRAÍDO DE EN 206-1)

El contenido de cloruros de un hormigón, expresado como porcentaje de iones de cloro por masa de cemento no deberá exceder el valor del tipo seleccionado que se describe a continuación.

Máximo contenido de cloruros en el hormigón

Uso del hormigón	Clase por contenido de cloruros ^a	Contenido máximo de cloruros en peso de cemento ^b
Sin armaduras de acero u otros refuerzos incorporados con excepción de dispositivos de izamiento resistentes a la corrosión	CI 1.0	1.0%
Con armaduras de acero u otros refuerzos	CI 0.20	0.20%
	CI 0.40	0.40%
Con armaduras para pretensado	CI 0.10	0.10%
	CI 0.20	0.20%

^a Para usos específicos de hormigón, el tipo a aplicar depende de las disposiciones válidas en el lugar donde se utilizará el hormigón.

^b Cuando se utilicen adiciones tipo II y se consideren para el contenido de cemento, el contenido de cloruros se expresa como porcentaje de iones de cloruro en peso de cemento más la masa total de adiciones que se consideren.

2.9 PRUEBA DE OTRAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

De acuerdo con EN 206-1, se deben suministrar certificados de conformidad para otras propiedades del hormigón fresco y endurecido, además de los ensayos de resistencia a la compresión.

Para la resistencia a la tracción, consistencia (trabajabilidad), densidad, contenido de cemento, contenido de aire, contenido de cloruros y relación agua/cemento se deberá indicar un plan de muestro, ensayos y correspondientes y criterios de conformidad (véanse las secciones relevantes en EN 206-1).

Los detalles de los métodos de ensayo individuales se encuentran en el capítulo 4 (pág. 83) y el capítulo 5 (pág. 105).

3 HORMIGÓN



3.1 PRINCIPALES USOS DEL HORMIGÓN

Es importante clasificar los usos del hormigón sobre la base de dónde y cómo se produce, juntamente con el método de colocación, pues éstos tienen diferentes requerimientos y propiedades. Como ejemplo de cómo varían los porcentajes con respecto a los diferentes canales de distribución y uso, se incluyen las ventas de cemento en dos países europeos durante 2002:

Suiza	Alemania
■ Aprox. 72% a plantas de hormigón elaborado	■ Aprox. 55% a plantas de hormigón elaborado
■ Aprox. 17% a constructores de hormigón	■ Aprox. 20% a fabricantes de productos de hormigón
■ Aprox 7% a premoldeado	■ Aprox. 11% a productores de componentes premoldeados
■ Aprox. 4% en otros puntos de venta	■ Aprox. 14% en otros puntos de venta

3.1.1 HORMIGÓN COLADO IN SITU

El hormigón colado in situ es hormigón preparado a mano o elaborado en planta, colado en un encofrado que es su destino final.

En la actualidad, las plantas de hormigón elaborado son tantas que los contratistas pueden ser abastecidos rápida y confiablemente.

Sin embargo, una planta en el lugar de la construcción ofrece ventajas económicas y logísticas en el caso de grandes construcciones que requieren hormigón continuamente.

El hormigón colado en el lugar puede producirse de variadas maneras y debe cumplir con una gran cantidad de especificaciones. Su aplicación puede dividirse en las siguientes etapas:

Preparación del diseño del hormigón

Para diseñar un hormigón es necesario contar con los requerimientos específicos del proyecto y definir los siguientes parámetros:

- Requerimientos de resistencia
- Requerimientos de durabilidad
- Requerimientos estéticos
- Tamaño máximo de agregados (TMA)
- Método de colocación
- Frecuencia de colocación
- Consistencia del hormigón
- Condiciones generales de borde (temperatura, etc.)
- Método y tiempo de descarga
- Tiempo de curado/espera
- Definición de requerimientos de ensayo
- Diseño de la mezcla y especificaciones
- Ensayos preliminares
- Ajuste de diseño de la mezcla si fuese necesario.

Los hormigones obtenidos a partir de estos parámetros se detallan en la sección 3.2 (pág. 37). Las propiedades del hormigón fresco se discuten en detalle en el capítulo 4 (pág. 72), y las propiedades del hormigón endurecido en el capítulo 5 (pág. 91). Los ensayos del hormigón fresco se encuentran en el capítulo 4 (pág. 83) y del hormigón endurecido en el capítulo 5 (pág. 105)

Producción

La producción es un factor crítico para el hormigón y consiste básicamente en dosificar y mezclar sus materiales componentes. Los siguientes parámetros pueden afectar las propiedades del hormigón durante la mezcla:

- Tipo de mezcladora
- Tamaño de la mezcladora
- Intensidad del mezclado
- Tiempo de mezclado
- Forma de ingreso de los materiales a la mezcladora
- Control de calidad de la planta
- Operador de la planta de hormigón
- Limpieza/mantenimiento de la mezcladora

Generalmente, los superplastificantes deben mezclarse con agua de mezclado o agregarse a la mezcla con ella (al principio). Para más información, consúltense las Hojas de Especificaciones de los productos Sika Materiales de Sika.

■ Preparación en el lugar

La preparación en el lugar incluye lo siguiente:

- Instalación de los sistemas de manipulación/colocación del hormigón
- Preparación del encofrado (incluyendo la aplicación del agente desencofrante)
- Verificación de refuerzos
- Verificación del encofrado (armado, integridad, presión)
- Provisión de herramientas de compactación (vibradores, etc.) y terminación (reglas, fratás, etc.)

■ Descarga

Si el hormigón se entrega en camiones mixer, se deben considerar los siguientes criterios adicionales:

- Tiempo de transporte y descarga (condiciones de tránsito, posibles esperas, etc.)
- Definir las revoluciones necesarias del tambor mezclador durante el viaje
- No dejar que el camión mixer se detenga en el sol durante los períodos de espera
- Para una consistencia fluida (autocompactante), definir la capacidad máxima que se transportará
- No agregar agua o dosis extra de aditivos (a menos que se especifique lo contrario)
- Mezclar nuevamente antes de descarga (1 minuto por m³)

■ Colocación del hormigón

El hormigón generalmente se coloca en un período de tiempo limitado y definido. Los siguientes factores contribuyen al éxito de esta operación, que es crítica para la calidad del hormigón:

- Verificación de la nota de entrega
- Uso del equipo apropiado (vibradores, etc.)
- Evitar manipular el hormigón en exceso
- Colocar y compactar en forma ordenada, continua y con igual velocidad
- Recompactar en caso de coladas extensas
- Tomar las medidas adecuadas durante las interrupciones
- Realizar las terminaciones necesarias (inspección final)

■ Curado

Para lograr una calidad constante es esencial aplicar un curado adecuado y correcto del hormigón. Las medidas de curado que se dan a continuación contribuyen a esto:

- En general, proteger de las influencias del clima (sol directo, viento, lluvia, helada, etc.)
 - Impedir la vibración (luego de la terminación)
 - Utilizar un agente de curado
 - Usar cubiertas o mantas aislantes
 - Mantener húmedo si fuese necesario
 - Mantener temperaturas adecuadas durante el tiempo de curado
- Véase información más detallada en el capítulo 8 (pág. 134)

3.1.2 HORMIGÓN PARA ESTRUCTURAS PREMOLDEADAS

El hormigón premoldeado se utiliza para formar estructuras que se entregan una vez endurecidas. Los extensos períodos en estado fresco desaparecen, lo que cambia toda la secuencia de producción. El hormigón usado para la producción de estructuras premoldeadas requiere un proceso de producción industrial, con un buen diseño de mezcla en continua optimización, lo cual es esencial. Los siguientes puntos resultan importantes a través de los diferentes estados del proceso:

■ Preparación del diseño del hormigón

Para el diseño del hormigón debe considerarse los requerimientos específicos del proyecto, el uso y las condiciones de exposición. Normalmente se definirán los siguientes parámetros:

- Requerimientos de resistencia
- Requerimientos de durabilidad
- Requerimientos estéticos
- Tamaño máximo de agregado (TMA)
- Método de colocación
- Frecuencia de colocación
- Consistencia del hormigón
- Condiciones generales de borde (temperatura, etc.)
- Manipulación del hormigón y su colocación
- Definición de los requerimientos de ensayo
- Consideración de los parámetros específicos del elemento hormigón
- Definición de curado
- Diseño y especificación de la mezcla
- Ensayos preliminares
- Ajuste del diseño de la mezcla si resultase necesario

El hormigón obtenido a partir de estos parámetros se detalla en la sección 3.2 (pág. 37). Las propiedades del hormigón fresco se discuten en detalle en el capítulo 4 (pág. 72) y las propiedades del hormigón endurecido en el capítulo 5 (pág. 91). Los ensayos del hormigón fresco se discuten en la sección 4.2 (pág. 83) y del hormigón endurecido en la sección 5.2 (pág. 105).

■ Producción

La producción es un factor crítico para el hormigón y consta básicamente de dosificar y mezclar la materia prima. Los parámetros que siguen a continuación pueden afectar las propiedades del hormigón durante la mezcla:

- Tipo de mezcladora
- Tamaño del mezclado
- Intensidad de la mezcla
- Tiempo de mezclado
- Ingreso de los materiales a la mezcladora
- Control de calidad de la planta
- Operador de la planta de hormigón
- Limpieza/mantenimiento de la mezcladora

Generalmente, los superplastificantes deben mezclarse con agua de mezclado o agregarse a la mezcla con ella (al principio). Para más información, consúltense las Hojas de Especificaciones de los productos Sika.

■ Preparación

La preparación en la planta de premoldeado incluye los siguientes puntos:

- Provisión del encofrado y equipo de manipulación
- Preparación del encofrado (incluyendo la aplicación del agente desencofrante)
- Verificación de refuerzos
- Verificación del encofrado (armado, integridad, presión)
- Provisión de herramientas para colocación y terminación

■ Colocación del hormigón

El hormigón se coloca generalmente durante un corto período de tiempo definido. Los siguientes factores contribuyen al éxito de la operación para la calidad del hormigón:

- Inspección del hormigón que será colocado
- Utilización del equipo correcto (vibradores)
- Evitar la manipulación excesiva del hormigón
- Colocación y compactación continua
- Terminación muy cuidadosa
- Verificación final

■ Curado

La industria del premoldeado implica un proceso continuo y se necesitan intervalos cortos en todas las fases de producción. El curado por lo tanto, resulta particularmente importante debido a las limitaciones de tiempo:

- Incluir el curado en el diseño del hormigón
 - Utilizar curado por vapor si fuese necesario
 - Impedir la vibración (luego de la terminación)
 - Utilizar un agente de curado
 - Usar cubiertas o mantas aislantes
 - Mantener húmedo o aplicar rociado si fuese necesario
 - Mantener el tiempo de curado acorde a la temperatura
- Véase información más detallada en el capítulo 8 (pág. 134)

3.2 HORMIGONES ESPECIALES

3.2.1 HORMIGÓN BOMBEADO

En la actualidad, el hormigón bombeado se utiliza para muchos requerimientos y aplicaciones. Para que el hormigón pueda ser bombeado sin segregación ni bloqueos de cañerías es esencial el diseño apropiado del hormigón.

Composición

■ Áridos

- Máximo E de partícula < 1/3 del orificio de la cañería
- La parte fina del mortero de la mezcla a bombear debe tener una buena cohesión para impedir que el hormigón se separe durante la operación.

Valores estándar para el contenido de finos (contenido ≤ 0.125 mm) según la EN 206-1:2000.

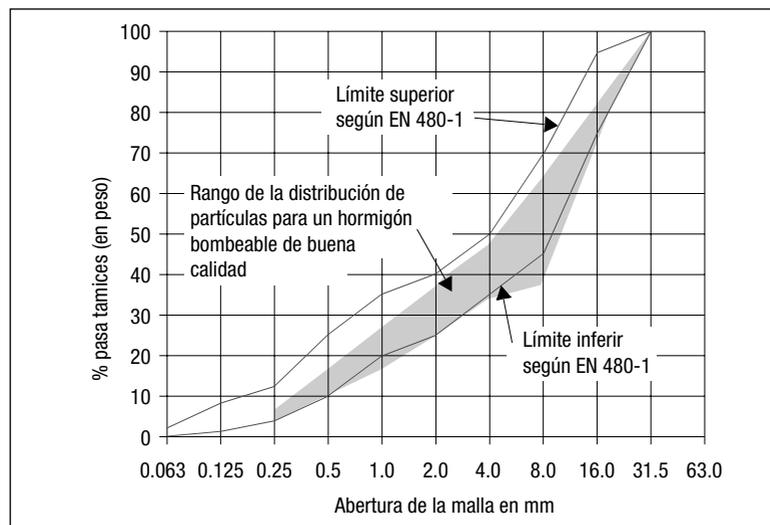
TMA

Partícula E 8 mm	Partícula E 16 mm	Partícula E 32 mm
450 kg/m ³	400 kg/m ³	350 kg/m ³

Recomendaciones Sika:

Máx. E de partícula	Áridos redondeados finos	Áridos triturados
8 mm	500 kg/m ³	525 kg/m ³
16 mm	425 kg/m ³	450 kg/m ³
32 mm	375 kg/m ³	400 kg/m ³

Curva de distribución del tamaño de partícula: El hormigón bombeado debe componerse de diferentes fracciones de agregados, si fuese posible. El contenido de la fracción 4-8 mm debe mantenerse bajo.



■ Cemento

Mínimo contenido de cemento recomendado

Máx. E de partícula	Áridos redondeados	Áridos triturados
8 mm	380 kg/m ³	420 kg/m ³
16 mm	330 kg/m ³	360 kg/m ³
32 mm	300 kg/m ³	330 kg/m ³

■ Relación agua/ligante

Si el contenido de agua es demasiado alto, el hormigón se segregará y exudará durante el bombeado y esto puede llevar a obstrucciones. El contenido de agua siempre puede reducirse utilizando superplastificantes.

Trabajabilidad

El hormigón fresco debe tener una consistencia suave con buena cohesión interna. Idealmente, la consistencia del hormigón bombeado debe determinarse de acuerdo con el grado de compactabilidad

■ Consistencia del hormigón fresco

Método de Ensayo	Tipo de consistencia	Medidas
Grado de compactabilidad	C2-C3	1.04-1.25
Diámetro de Flow	F3-F4	42-55 cm

Agentes bombeantes

Los áridos difíciles, la materia prima variable, largas distancias para la descarga o la frecuencia del colado de grandes volúmenes requieren un agente de bombeo. Esto reduce la fricción y la resistencia en los caños, reduce el desgaste de la bomba y las cañerías, y aumenta la producción.

■ Líneas de bombeo

- E 80 a 200 mm (normalmente E 100, 125 mm)
- A menor E mayor la complejidad del bombeado (superficie/transversal)
- Los acoplamientos deben estar perfectamente ajustados para impedir la pérdida de presión y los finos
- Los primeros metros deben colocarse lo más horizontalmente posible y sin curvas. (Esto es especialmente importante antes de que aparezcan las tuberías verticales)
- Proteger las cañerías del sol fuerte en el verano

■ Mezclas lubricantes

El propósito de la mezcla lubricante es recubrir las paredes internas de la cañería con una capa de finos para facilitar el comienzo del bombeado.

- Mezcla convencional: Mortero 0-4 mm, contenido de cemento para la calidad de hormigón a bombear o levemente superior. La cantidad depende del E y de la longitud de la cañería.

■ Efecto del contenido de aire en el hormigón bombeado

El hormigón resistente al congelamiento/deshielo que contiene microporos puede bombearse si el contenido de aire es $< 5\%$, pues se genera una mayor resiliencia con un contenido de aire mayor.

Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® * ViscoCrete® **	Superplastificante	Reducción de agua. Mayor resistencia y baja permeabilidad con consistencia garantizada (trabajabilidad) y bombeabilidad.
SikaFume®	Humo de sílice	Alta resistencia, menor permeabilidad, mejor bombeabilidad
SikaPump®	Agente de bombeo	Mejora las mezclas con agregados difíciles de bombeo y protege el equipo del desgaste excesivo
Sika® Stabilizer 100	Estabilizador	Mantiene la cohesión interna. Mejora las mezclas con agregados difíciles de bombeo y protege el equipo del desgaste excesivo

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

(**) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

3.2.2 HORMIGÓN PARA ÁREAS DE TRÁNSITO

El hormigón para las áreas de tránsito tiene muchas aplicaciones, y a menudo se coloca como una alternativa a superficies bituminosas debido a su durabilidad y otras ventajas.

Los usos del hormigón para áreas de tránsito son:

- Construcción convencional de caminos
- Rotondas de hormigón
- Pistas de aterrizaje
- Pisos industriales

Cuando el hormigón se utiliza para estas aplicaciones, la capa de hormigón actúa tanto como capa de carga como de desgaste. Para cumplir con los requerimientos, el hormigón debe tener las siguientes propiedades:

- Alta resistencia a la flexión
- Resistencia al congelamiento/deshielo
- Buena resistencia al deslizamiento
- Baja abrasión

La composición es un factor vital para alcanzar los requerimientos deseados. Los criterios para seleccionar los materiales componentes son los siguientes:

- Áridos
 - Uso de mezclas bajas en finos
 - Uso de una curva granulométrica continua
 - Los agregados triturados o parcialmente triturados aumentan la resistencia al deslizamiento y la resistencia a la flexión
- Cemento
 - Generalmente se utilizan cont. unitarios de 300-350 kg/m³ y CEM I 42.5

■ Aditivos

- Para aumentar la durabilidad o la resistencia en pavimentos de tránsito pesado puede incorporarse humo de sílice
- La resistencia al deslizamiento puede aumentarse distribuyendo superficialmente partículas especiales como carburo de sílice

El hormigón para áreas de tránsito es un hormigón especial. Los siguientes puntos requieren atención especial:

- Las grandes áreas a menudo se construyen utilizando máquinas pavimentadoras. La consistencia debe ser adecuada para el tipo de máquina
- Mejorar la resistencia al deslizamiento con terminaciones especiales: peinado, cepillado, etc
- Es esencial aplicar un curado adecuado

Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de Producto	Uso del producto
Sikament® * Sika® ViscoCrete® **	Superplastificante	Reducción de agua. Mejora las resistencias a compresión y flexión. Facilidad de colocación y compactación.
SikaFume®	Humo de sílice	Alta resistencia, menor permeabilidad
SikaAer®	Incorporador de aire	Incorporador de aire para aumentar la resistencia al congelamiento/deshielo
Sika® Rapid C-100	Acelerante de endurecimiento	Desarrollo más rápido de resistencia
Sika Retarder® 20	Retardador de fraguado	Retardo del fraguado inicial
Sika® Antisol® Normalizado	Agente curador	Protección contra el prematuro

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

(**) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

3.2.3 HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE (SCC: SELF-COMPACTING CONCRETE)

El hormigón de auto compactación tiene un mayor contenido de finos que el hormigón convencional debido a un contenido mayor de ligante y una curva de distribución de tamaño de partículas diferente. Estos ajustes, combinados con superplastificantes especialmente adaptados producen una fluidez única y una compactabilidad esencial. Los hormigones autocompactantes brindan un nuevo potencial más allá de las aplicaciones convencionales del hormigón:

- Aplicación en estructuras muy armadas
- Para formas geométricas complejas
- Para componentes esbeltos
- Generalmente donde la compactación del hormigón es difícil
- Para especificaciones que requieren una estructura de hormigón homogénea
- Para velocidades de construcción más rápidas
- Para reducir el ruido (eliminar o reducir la vibración)
- Para reducir el daño a la salud (síndrome de "nudillos blancos")

Composición

■ Áridos

Se prefiere un tamaño máximo de partícula más pequeña, aprox. 12 a 20 mm, pero en principio, todos los agregados son posibles.

Ejemplo de graduación de agregados

Fracción de tamaño de partícula	SCC 0/8 mm	SCC 0/16 mm	SCC 0/32 mm
0/ 4 mm	60%	53%	45%
4/ 8 mm	40%	15%	15%
8/ 16 mm	--	32%	15%
16/ 32 mm	--	--	30%

Contenido de finos ≤ 0.125 mm (cemento, adiciones y finos)

SCC 0/ 4 mm	≥ 650 kg/m ³
SCC 0/ 8 mm	≥ 550 kg/m ³
SCC 0/ 16 mm	≥ 500 kg/m ³
SCC 0/ 32 mm	≥ 470 kg/m ³

■ Contenido de ligante

De acuerdo con el contenido de finos, pueden determinarse los siguientes contenidos de cemento, dependiendo de la calidad del hormigón requerido y las arenas utilizadas:

Contenido de cemento y adiciones (total)

SCC 0/ 4 mm	550-600 kg/m ³
SCC 0/ 8 mm	450-500 kg/m ³
SCC 0/ 16 mm	400-450 kg/m ³
SCC 0/ 32 mm	375-425 kg/m ³

■ Contenido de agua

Contenido de agua

> 200 l/m ³	baja calidad de hormigón
180 a 200 l/m ³	calidad estándar de hormigón
< 180 l/m ³	alta calidad de hormigón

■ Aditivos químicos

Para ajustar el contenido de agua y asegurar la homogeneidad y el ajuste de la viscosidad, se deben especificar superplastificantes de tercera generación tipo **Sika® ViscoCrete®**

Instalación de SCC

■ Encofrado

Los encofrados para SCC deben estar limpios, ajustados y estancos. Las presiones que sufren pueden ser mayores que en el caso de hormigón normal vibrado. Esta presión depende de la viscosidad, la velocidad de colado y el punto de llenado. Para el diseño general del encofrado deberá usarse la máxima presión hidrostática potencial que puede provocar el hormigón.

■ Método de colocación

El colado del scc se realiza con el mismo procedimiento del hormigón convencional. No debe descargarse de gran altura. Se obtiene una óptima terminación y apariencia superficial aprovechando su alta fluidez, suele realizarse el llenado desde abajo hacia arriba, por medio de tubos-tolva, etc.

Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de Producto	Uso del producto
Sika® ViscoCrete® 3085	Superplastificante para SCC (producto de verano)	Mayor resistencia y baja permeabilidad. Importante reducción de agua.
Sika® ViscoCrete® 6	Superplastificante para SCC (producto de invierno)	Ayuda a las propiedades de autocompactación Aumenta la cohesión interna
Sika® ViscoCrete® 20 HE	Superplastificante Para SCC (premoldeado)	
SikaFume®	Humo de silice	Alta resistencia, menor permeabilidad. Contribuye a la estabilidad del aire incorporado
Sika® Stabilizer 100	Estabilizador	Mejora la cohesión. Sustituto de granos finos
SikaAer®	Incorporador de aire	Incorpora de aire para la producción de SCC resistente al congelamiento/deshielo
SikaRapid® C-100 Sika Retarder® 20	Acelerante de Endurecimiento. Retardador de fraguado	Control de los procesos de fraguado y endurecimiento de SCC

3.2.4 HORMIGÓN RESISTENTE A LAS HELADAS Y AL CONGELAMIENTO/DESHIELO

Este tipo de hormigón debe diseñarse siempre para superficies expuestas en ambiente húmedo, donde la temperatura puede caer por debajo del punto de congelamiento.

- Fachadas de hormigón visto
- Estructuras de puentes
- Áreas de entrada a túneles
- Áreas de tránsito
- Muros de retención (retaining walls)

Al incorporar aire, se generan pequeñas microesferas durante el proceso de mezcla en la fase más fina del mortero (cemento, finos, agua) del hormigón. El objetivo es asegurar que el hormigón endurecido sea resistente a heladas y al congelamiento/deshielo por la formación de espacios disponibles para la expansión del agua bajo estas condiciones.

Tipo, tamaño y distribución de los vacíos de aire (microesferas)

Los vacíos de aire del hormigón estándar son demasiado grandes (> 0.3 mm) para mejorar la resistencia a las escarchas y al congelamiento. Son los incorporadores de aire especiales los que introducen burbujas eficientes para este tipo de exposición. Estos vacíos son generados físicamente durante el tiempo de mezclado. Para desarrollar su efecto completo, no deben estar muy alejados uno de otro. Este "espaciamiento efectivo" se conoce como factor de espaciamiento SF (iniciales en inglés Spacing Factor).

Tiempo de producción/mezcla

Para asegurar una alta resistencia a la escarcha y al congelamiento/deshielo, el tiempo de mezclado debe ser más extenso que para el hormigón estándar, debiendo continuarse el mezclado luego de haber agregado el aditivo incorporador de aire. Al aumentar el tiempo de mezclado en 60 a 90 segundos se mejora el contenido hasta en un 100%.

Cantidad de vacíos requeridos

Para obtener una alta resistencia a las heladas, la matriz de mortero a base de cemento debe contener aproximadamente un 15% de vacíos de aire de tamaño y distribución apropiada. La experiencia nos confirma que hay suficientes vacíos efectivos en el hormigón si el resultado de los ensayos (recipiente de aire) muestran los siguientes contenidos de aire:

- Hormigón con tamaño máximo de 32 mm, 3 a 5%
- Hormigón con tamaño máximo de 16 mm, 4% a 6%

El hormigón fresco con contenido de vacíos de aire de 7% o más sólo debe colocarse luego de una cuidadosa investigación y ensayo.

Factores que influyen en la incorporación de aire

■ Granulometría

Los vacíos se forman fundamentalmente con fracciones de arena de 0.25-0.5 mm. Las partículas más grandes no tienen efecto en el agregado de aire. Las partículas muy finas provenientes de la arena o de los cementos y algunas adiciones pueden inhibir la incorporación de aire.

■ Consistencia

La incorporación de aire al hormigón se logra optimizar en hormigones plásticos, se dificulta en hormigones secos y se acentúa en los hormigones muy fluidos, pudiendo ser en este último caso una mezcla de menor estabilidad. Un hormigón al que se le agrega una cantidad extra de agua puede no retener los vacíos tan bien o durante tanto tiempo como el hormigón original.

■ Temperatura

La capacidad de incorporar aire disminuye a medida que las temperaturas del hormigón aumentan y viceversa.

■ Descarga

Se puede esperar un cambio en el contenido de aire durante la descarga. Dependiendo del método de descarga y de la vibración durante el viaje, pueden ocurrir procesos de mezcla. Los hormigones con aire incorporado deben mezclarse nuevamente antes del colado para luego determinar el contenido crítico de aire.

■ Compactación del hormigón con agregado de aire

La vibración correcta fundamentalmente elimina el aire "atrapado" naturalmente durante la colocación y los grandes vacíos del hormigón. Un exceso de vibración también puede reducir el aire "incorporado" entre un 10 y un 30%. El hormigón que es susceptible a la segregación puede perder casi todos los vacíos o mostrar espuma en la superficie.

■ Reemplazo de finos

Un 1% del aire incorporado puede reemplazar aproximadamente 10 kg. de material ultra fino (< 0.2 mm) por m³ de hormigón. Los vacíos pueden mejorar la trabajabilidad de las mezclas ásperas y deficientes en finos.

Diseño del hormigón con aire incorporado

Se deben proporcionar especificaciones detalladas de resistencia, contenido de aire y métodos de ensayo. Para proyectos de envergadura, se deberán realizar ensayos preliminares de las condiciones reales. Durante el hormigonado, se debe verificar el contenido de aire en la planta de hormigón y antes de colocarlo.

Características de los vacíos	Forma: esférica y cerrada Tamaño: 0.02 a 0.30 mm Factor de espaciamiento: ≤ 0.20 mm resistente a las heladas ≤ 0.15 mm resistente al congelamiento/deshielo
Efectos secundarios positivos	Mejora en la trabajabilidad Bloqueo de los poros capilares (resistente al agua): menor absorción de agua Mejor cohesión del hormigón fresco
Efectos negativos	Reducción de las resistencias mecánicas (resistencia a la compresión) en el caso de no disminuir el contenido unitario de agua.

Uso del producto Sika

Nombre del producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament[®] * ViscoCrete[®] **	Superplastificante	Para reducir la porosidad capilar y disminuir la cantidad de agua
SikaAer[®]	Incorporador de aire	Incorporación de aire para asegurar la resistencia al congelamiento/deshielo.
SikaFume[®] Sikacrete[®] Plus	Humo de sílice	Para mayor compacidad de la pasta de cemento endurecida. Mejora de la adherencia entre áridos y pasta de cemento.

(*) Sikament[®] R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

(**) ViscoCrete[®] 6 | 20 HE | 3085.

3.2.5 HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA

Alta resistencia a la compresión

Los hormigones con alta resistencia a la compresión (> 60 Mpa) clasifican en el grupo de hormigones de alto desempeño y se utilizan en diferentes tipos de estructuras como columnas que deben resistir muy alto peso, o en elementos estructurales premoldeados.

Mezclas convencionales de hormigón de alta resistencia

Los componentes, la mezcla, la colocación y compactación del hormigón de alta resistencia requieren de un cuidado particular.

- Áridos de alta resistencia con una superficie de partícula generalmente angular y tamaño de partícula reducido (< 32mm)
- Matriz cementicia de alta resistencia y baja permeabilidad debido a una reducción sustancial en el contenido de agua.
- Ligantes especiales con gran desarrollo de resistencia y buena adhesión a los áridos (Humo de sílice).
- Uso de hormigón de consistencia blanda utilizando aditivos para asegurar una excelente compacidad.

Mezcla de muestra:

CEM I 52.5	450 kg/m ³
Humo de sílice	45 kg/m ³
Áridos	calizas silíceas trituradas, 0-16 mm
Ecuación relación a/c	0.28
Resistencia luego de 7 días	95 MPa
Resistencia luego de 28 días	110 MPa
Resistencia luego de 90 días	115 MPa

Mezclas para hormigón con innovadoras altas resistencias

Se están desarrollando muchas mezclas alternativas de hormigón de alta resistencia (y morteros) juntamente con mezclas de hormigón convencionales. La búsqueda de elementos de alta resistencia y un mínimo contenido de agua resulta común para todas. Para ello, se utilizan partículas de áridos especiales y granulometrias continuas, acompañados de superplastificantes. También se desarrolla la resistencia con nuevas técnicas de curado y endurecimiento (como endurecimiento bajo compresión). Los hormigones producidos de esta manera, que en general son morteros, pueden alcanzar resistencias de 150 MPa a 200 MPa.

Nótese en especial que:

- El hormigón de alta resistencia es siempre de muy baja permeabilidad
- Por lo tanto, el curado del hormigón de alta resistencia es aún más importante que en el hormigón convencional

- Los hormigones de alta resistencia poseen elevada rigidez (alto módulo E) y por lo tanto son más frágiles (impacta en las propiedades de corte)
- Al reducir el contenido de agua por debajo de 0.38, algunos granos de cemento actúan como granos de áridos porque no todo el cemento puede ser hidratado.
- Además del cemento Portland, el hormigón de alta resistencia utiliza grandes cantidades de materiales puzolanicos y de hidraulicidad latente que tienen excelentes propiedades de desarrollo de resistencia a largo plazo.

Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de producto	Uso del producto
ViscoCrete® *	Superplastificante	Máxima reducción del contenido de agua, constituyendo una matriz de pasta de cemento muy compacta.
SikaFume® Sikacrete® Plus	Humo de sílice	Para mayor compactación y fortalecimiento de la pasta de cemento endurecida y para mejorar la adherencia entre áridos y pasta de cemento endurecida.

(*) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

3.2.6 HORMIGÓN DE ENCOFRADO DESLIZANTE

En el método de encofrado deslizante, el encofrado se mueve constantemente en sincronización con los procesos de hormigonado, en una operación generalmente de 24 horas. El encofrado, incluyendo la plataforma de trabajo y el andamio colgante montado internamente a ambos lados se fija a varillas elevadoras (con criques o 'gatos') en el centro del muro. Los gatos hidráulicos elevan el encofrado entre 15 y 30 cm por hora, dependiendo de la temperatura. Las barras se ubican en los manguitos del tubo ubicados en el extremo superior y son sostenidas por el hormigón endurecido. Las varillas y los manguitos también se elevan constantemente. Estos trabajos se realizan casi exclusivamente con contratistas especializados.

El encofrado deslizante es rápido y eficiente. Este método es particularmente adecuado para obras de una planta uniforme y estructuras altas como:

- Depósitos de gran altura y silos
- Estructuras de torres y chimeneas
- Estructuras de tiraje

Debido a que la altura del encofrado generalmente tiene 1.20 m y la producción por hora se encuentra entre 20 y 30 cm, el hormigón que se encuentra debajo tiene entre 4 y 6 horas de colocado y debe estar lo suficientemente rígido como para soportar su propio peso (resistencia 'verde' o temprana). Sin embargo, no debe haber fraguado lo suficientemente rápido para permanecer unido al encofrado que se eleva ("plucking"). El requerimiento principal para utilizar este método sin problemas es hormigonar todas las áreas al mismo nivel en el mismo tiempo, y luego, esperar el fraguado simultáneo de estas capas. Por lo tanto, la temperatura tiene una gran influencia, juntamente con los requerimientos para la óptima relación a/c.

Composición

■ Áridos

- 0-32 mm, o 0-16 mm para armaduras densas
- Aunque el hormigón para encofrado deslizante se maneja fundamentalmente con grúa y balde, el contenido de finos debe ser el del hormigón bombeado

■ Cemento

- Min 300 kg/m³
- CEM I 42.5 para armaduras densas y grandes dimensiones. CEM I 52.5 para pequeñas dimensiones (torres, chimeneas)

Trabajabilidad

Se ha comprobado que la mejor trabajabilidad es un hormigón plástico y cohesivo que tiene un diámetro de extendido entre 35-40 cm y un bajo contenido de agua

Nótese en especial que

Un espesor de pared de menos de 14 cm puede ser un problema (difícil para el encofrado deslizante, para el anclaje de los gatos y barras elevadoras, etc).

Las nuevas superficies terminadas deben protegerse tanto como sea posible del viento, sol, etc.

Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament®*	Superplastificante (altas temperaturas)	Mayor resistencia y baja permeabilidad
Sika® ViscoCrete® 20 HE	Superplastificante (mayor fluidez)	Importante reducción de agua. Buen desarrollo de resistencia inicial
SikaFume®	Humo de sílice	Alta resistencia, muy baja permeabilidad. Enriquecimiento de finos.
Sika® Stabilizer 100	Estabilizador	Mejora la cohesión Sustituto de granos finos
SikaAer®	Incorporación de aire	Incorpora vacíos de aire Produce hormigón para encofrados deslizantes resistente a las heladas y al congelamiento/deshielo
Sika® Rapid C-100 Sika Precast® Sika Retarder® 20	Acelerante de endurecimiento Retardador	Control de los procesos de fraguado y endurecimiento para hormigón de encofrado deslizante.

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

3.2.7 HORMIGÓN DE MUY BAJA PERMEABILIDAD

El hormigón de muy baja permeabilidad es un hormigón que normalmente tiende a disminuir la penetración del agua. Para obtener un hormigón de muy baja permeabilidad, se debe generar una curva de granulometría continua y se debe reducir la porosidad capilar. El ensayo de resistencia al agua se encuentra en la sección 5.1.3 (pág. 95).

Las medidas para reducir porosidad capilar son las siguientes:

- Reducción de la relación a/c
- Sellado adicional de los vacíos con material puzolánico reactivo

El proceso de curado es otro parámetro que afecta la resistencia al agua.

Composición

- Agregados
 - Curva granulométrica bien graduada
 - Bajo contenido de finos en los áridos
 - Limpieza por lavado de áridos
 - Ajuste del contenido de granza necesario para obtener un contenido de finos satisfactorio
- Cemento
 - Conformidad con el mínimo contenido de cemento según EN-206
- Adiciones
 - Uso de adiciones puzolánicas o con hidraulicidad latente
- Relación a/c
 - Baja relación a/c para reducir la porosidad capilar

Colocación

- Para producir hormigón de muy baja permeabilidad se recomienda trabajar con una consistencia entre plástica y blanda
- Es importante efectuar una cuidadosa y correcta compactación del hormigón

Curado

- Resulta esencial el curado inmediato y completo. Véase el capítulo 8 (pág. 134).

Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® * Sika® ViscoCrete® ** Sikament® Watertight	Superplastificante	Mayor resistencia y muy baja permeabilidad Importante reducción de agua. Reducción de la porosidad capilar
SikaFume®	Humo de sílice	Alta resistencia, mucha menor permeabilidad.
Sika® WT 100	Bloqueador de poros	Reducción de la porosidad capilar
SikaAer®	Incorporación de aire	Incorpora aire Interrumpe los vacíos capilares Reduce la absorción de agua

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

(**) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

3.2.8 HORMIGÓN VISTO

En la arquitectura moderna, el hormigón se utiliza cada vez más como una función de diseño, y por sus propiedades mecánicas. Esto significa mayores especificaciones para la terminación (superficies expuestas). Hay muchas formas de producir efectos especiales en las superficies expuestas:

- Seleccionar la mezcla adecuada de hormigón
- Especificar el material y tipo de encofrado (¡el encofrado debe ser absolutamente impermeable!)
- Utilizar la cantidad correcta de un adecuado desencofrante
- Seleccionar el método adecuado de colocación
- Utilizar recubrimientos del encofrado si fuese necesario
- Considerar cualquier retoque necesario
- Obtener color mediante pigmentos
- Colocar correctamente (colado, compactación, etc)
- Curar completamente

Además de todos los factores enumerados, los siguientes son importantes para la mezcla del hormigón:

- Agregados
 - Utilizar mezclas con muchos finos
 - Mínimo contenido de finos como para el hormigón bombeado
 - Seleccionar una curva granulométrica continua
 - Utilizar material redondeado si fuese posible
 - Considerar las diferencias de color en los áridos
- Cemento
 - Se puede utilizar cualquier tipo de cemento
 - Considerar el efecto que pueda tener el cemento en el color de la superficie expuesta
 - Generalmente > 300 kg/m³
- Adiciones
 - Utilizar adiciones específicas para la mejora sistemática de las propiedades del hormigón, según requerimiento
- Agua
 - El contenido de agua en el hormigón visto requiere gran cuidado y uniformidad (evite fluctuaciones)
 - Impedir la exudación

Colocación

- Colocar el hormigón en capas pares de 300 a 500 mm. Cada capa debe vibrarse involucrando parte de la capa que se colocó previamente (marcar el vibrado)
- Utilizar un tamaño adecuado de vibrador

Esesor de pared hasta 20 cm	Vibrador E ≤ 40 mm
Esesor de pared 20-40 cm	Vibrador E ≤ 60 mm
Esesor de pared mayor a 50 cm	Vibrador E ≤ 80 mm

- Consistencia de instalación entre plástica y blanda
- Para mayor control de calidad: considere una solución con hormigón autocompactante (siglas en inglés SCC)
- Seleccionar un método y velocidad de llenado adecuados

Curado

- Especificar un curado completo (según se describe en el capítulo 8, pág. 134)
- Considerar las condiciones climáticas

Precauciones

- Puede ocurrir un retardo considerable con un encofrado de madera nuevo y no tratado debido a la presión de la xilasa de la madera (componente azúcar) en la superficie → que lleva a la decoloración y al polvo.
- Si el hormigón está demasiado “húmedo” cuando se coloca, pueden aparecer poros de agua cubiertos o no por una delgada capa de lechada (blowholes).
- Una vibración inadecuada puede ocasionar poros con una capa gruesa y dura de lechada.
- Si las capas de hormigonado tienen demasiado espesor, existe el peligro de falta de eliminación de aire durante la vibración
- La aplicación en exceso de agentes desencofrantes impide que escapen las burbujas de aire (creadas por la vibración)

Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® * Sika® ViscoCrete® **	Superplastificante	Mejora la consistencia
Sika® Separol® ***	Agente desencofrante	Mejor desencofrado y limpieza
Sika® Rugasol®	Retardador de superficie	Producción de superficies de hormigón con áridos expuestos

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

(**) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

(***) Sika® Separol® Precast | Madera | Asar.

3.2.9 HORMIGÓN MASIVO

Se considera como masivo al hormigón de estructuras con espesor mayor a 80 cm. Estas estructuras a menudo tienen un gran volumen, lo que significa generalmente la colocación de un gran volumen de hormigón en corto tiempo. Esto requiere de una muy buena planificación y de un buen diseño del hormigón como también de planificación y organización del proceso de producción para evitar la fisuración por causas térmicas.

El hormigón masivo se utiliza para:

- Hormigón para represas
- Fundaciones para grandes cargas
- Fundaciones para control de flotación
- Paredes sólidas (por ej. protección de radiación)
- Hormigón para relleno

Estas estructuras masivas crean los siguientes problemas fundamentales

- Altas variaciones de temperatura interna y externa durante el fraguado y el endurecimiento
- Temperaturas máximas muy altas
- Altas variaciones de temperatura interna y externa y por lo tanto contracciones forzadas
- Asentamientos secundarios del hormigón debajo de las armaduras y sobre ellas ocasionando fisuración en las capas de recubrimiento

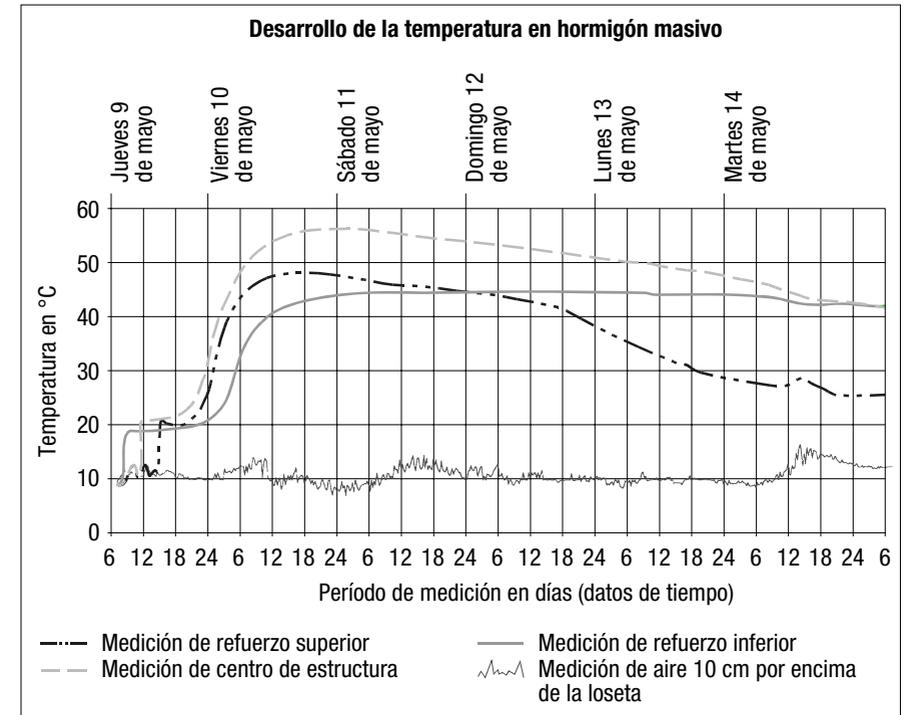
Riesgos

Todos estos problemas pueden causar fisuras y defectos en la matriz de cemento: Pueden ocurrir las llamadas “fisuras de superficie” o fisuras de piel si la diferencia de temperatura externa/interna es mayor de 15° C o si las capas externas se contraen debido a que enfrían por secado en primer lugar. Las fisuras superficiales generalmente tienen pocos centímetros de profundidad y pueden cerrarse después.

Medidas a tomar

- Utilizar cementos con bajo calor de hidratación
- Bajo contenido de agua (reducción en la relación a/c) para bajar el contenido unitario de cemento
- Mayor tamaño posible de partículas (por ej., 0-50 en lugar de 0-32)
- Si fuese necesario, enfriar el agua y los áridos para obtener una baja temperatura inicial del hormigón fresco
- Colocar el hormigón en capas (espesor de la capa < 80 cm)
- Retardar las capas inferiores para asegurar que toda la sección pueda recomprimirse luego de colocar la capa superior
- Utilizar curado con métodos de aislación térmica
- Asegurar el correcto diseño y distribución de juntas y secciones a hormigonar para permitir la disipación del calor y acomodar los desarrollos y diferencias de temperatura.

Medición de calor de hidratación en una losa apoyada en el suelo de 160 cm de espesor en tres niveles



Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament®* Sika® ViscoCrete®**	Superplastificante	Sustancial reducción de agua
Sika Retarder® 20	Retardador	Control del proceso de fraguado

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

(**) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

3.2.10 HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRA

Muchas propiedades diferentes del hormigón fresco y endurecido pueden modificarse efectivamente con el agregado de fibras. Existen innumerables tipos de fibras con diferentes características y formas de material. Resulta importante seleccionar correctamente las fibras de acuerdo con los diferentes usos. Además del material, la forma de las fibras también es un factor crítico.

El hormigón con refuerzo de fibras se utiliza para:

- Pisos industriales
- Hormigón proyectado
- Estructuras esbeltas (generalmente en plantas premoldeadas)
- Estructuras resistentes al fuego

Propiedades de los hormigones reforzados con fibra

- Mejora la durabilidad de la estructura
- Aumenta la resistencia a la tracción y la flexión
- Mejora la resistencia a fisuración tardía o posterior
- Mejora la distribución de las fisuras
- Reduce la contracción en los primeros años del hormigón
- Aumenta la resistencia al fuego del hormigón
- Influye en la trabajabilidad

Producción de hormigón

Cuando se producen hormigones con fibras se deben seguir las instrucciones del fabricante, por ejemplo incorporar las fibras en el momento equivocado o mezclarlas incorrectamente puede causar grandes problemas y hasta inutilizar las fibras.

- Respetar las indicaciones de incorporar las fibras en la planta o camión y los tiempos de mezclado
- Cumplir con los tiempos de mezclado (formación de erizos)
- No excederse del máximo recomendado de contenido de fibra (considerable reducción de trabajabilidad)
- Las fibras generalmente aumentan el requerimiento del agua de mezclado (compensar con superplastificante)

Tipos de fibra

- Fibra de acero inoxidable
- Fibra de plástico
- Fibra de vidrio
- Fibra de carbón
- Fibras naturales

3.2.11 HORMIGÓN PESADO

El hormigón pesado generalmente se utiliza como protección a la radiación. Las propiedades críticas de un hormigón pesado son:

- Densidad homogénea y alta compacidad
- Libre de fisuras y “nido de abejas”
- La resistencia a la compresión es solamente un criterio secundario debido al gran tamaño de la estructura
- Tan libre de vacíos de aire como sea posible
- Presenta baja contracción

Composición

- Áridos
 - Uso de barites, mineral de hierro, escoria dura de metal, ferrosilice, gránulos de acero o perdigones
- Cemento
 - Considerar el desarrollo de calor de hidratación cuando se seleccione el tipo y contenido de cemento
- Contenido de agua
 - Apuntar a una relación agua/cemento baja

Trabajabilidad

Para asegurar una matriz de hormigón completamente cerrada, se deberá prestar especial atención a la colocación (compactación)

Curado

En el método de curado se debe contemplar el desarrollo de elevado calor de hidratación debido al volumen que puede alcanzar la estructura. De lo contrario, el curado se describe en el capítulo 8 (pág. 134).

Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® * Sika® ViscoCrete® **	Superplastificante	Sustancial reducción de agua. Mejora en la colocación (trabajabilidad y compactación)
SikaFume®	Humo de sílice	Permeabilidad reducida
Sika® Control® -40	Superplastificante	Sustancial reducción de agua Mejora en la colocación (trabajabilidad y compactación)

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

(**) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

3.2.12 HORMIGÓN BAJO AGUA

Como sugiere el nombre, el hormigón submarino se instala debajo de la superficie, por ej., para

- Instalaciones de puertos y bahías
- Pilas de puentes sobre ríos
- Estructuras para instalaciones de acueductos
- Sistemas subterráneos
- Ejes profundos en terrenos inestables donde un descenso del nivel de agua puede llevar a un desplazamiento del terreno, etc.

Composición (E 0-32 mm)

- Áridos
 - Uso de un árido adecuado para mezclas bombeadas
 - Finos incluyendo cemento >400 kg/m³
- Cemento
 - Mínimo contenido de cemento 350 kg/m³

Requerimientos especiales

Un método confiable de colocar hormigón bajo el agua con mínima pérdida es el método tremie (embudo y tubo, método de contratistas especializados). El hormigón se coloca directamente a través de un caño de E 20-40 cm dentro y a través del hormigón ya colado. El caño se eleva continuamente pero el extremo final siempre debe permanecer lo suficientemente sumergido en el hormigón para impedir que el agua se introduzca por el caño.

Otro método también utilizado hoy es bombear un hormigón adecuadamente modificado a través de una bomba de hormigón estándar. Aquí nuevamente, el extremo de un caño de descarga debe mantenerse lo suficientemente profundo en el hormigón fresco.

Otras consideraciones importantes:

- A medida que la proporción del agua aumenta, puede haber más lixiviación de la mezcla. Se recomiendan las mínimas condiciones de fluidez posibles
- Evitar las diferencias de presión en el caño (como diferencias en el nivel de agua en los ejes)

Hormigón bajo agua especial

Con previa instalación de bolsas rústicas con piedras o "gaviones" se puede llenar más tarde con lechadas de cemento modificado (el método de la bolsa)

Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® * Sika® ViscoCrete® **	Superplastificante	Aumenta la fluidez Reduce el contenido de agua
Sika® Stabilizer 100	Estabilizador	Mejora la cohesión. Impide que los finos se laven. Para uso en condiciones de flujo quieto y en condiciones especiales
Sikament® 123 SC	Estabilizador submarino	Mejora la cohesión Impide que los finos se laven Para uso en condiciones de flujo de agua fuertes (situaciones de marea)

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.
(**) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

3.2.13 HORMIGÓN LIVIANO

El hormigón liviano significa hormigón y argamasa de baja densidad; ya sea que se agreguen áridos con baja densidad o que se creen vacíos artificiales para reducir el peso. El método utilizado depende fundamentalmente de la aplicación del hormigón liviano y sus propiedades deseadas.

El hormigón liviano se utiliza para

- Aislación térmica
- Construcciones livianas (cielos rasos, muros, superficies de puentes, losetas)
- Productos premoldeados
- Hormigón de nivelación
- Hormigones de relleno

Las características de los hormigones livianos son

- Reducción en la densidad del hormigón fresco
- Reducción de la densidad del hormigón endurecido
- Si el hormigón liviano se utiliza como hormigón de relleno con bajos requerimientos de carga, por ej., para estabilidad dimensional, generalmente se producen hormigones y morteros altamente porosos (hormigón liviano aireado)
- Si se requiere hormigón liviano con buenas propiedades mecánicas (por ej., resistencia a la compresión), se utilizan áridos especiales (naturalmente muy porosos pero también dimensionalmente estables)

Producción de hormigón liviano

- Los materiales porosos livianos como las arcillas expandidas deben prehumedecerse para impedir que absorban demasiada agua de amasado del hormigón durante el mezclado.
- No utilizar una consistencia demasiado fluida debido al riesgo de segregación
- El hormigón liviano con densidad específica < 1600 kg/m³ puede ser difícil de bombear
- La correcta manipulación de los vibradores es particularmente importante (rápida inmersión, lenta elevación) para impedir que el aire quede atrapado

- Curar en forma inmediata y completa. Los métodos adecuados son tratamientos con neblina y cubrir con láminas o rociar con agentes de curado. Sin un curado adecuado hay un alto riesgo de fisuras debido a las excesivas diferencias de secado
- Los hormigones espumosos a menudo se contraen considerablemente y tienen baja estabilidad dimensional

Materiales componentes para la producción de hormigones livianos

- Arcillas expandidas
- Esferas de poliestireno expandido
- Virutas de madera, aserrín
- Vacíos especiales producidos por aditivos para generar grandes cantidades de vacíos estables
- Agentes espumantes

Densidad

De acuerdo con la mezcla y los elementos constitutivos utilizados, se obtienen las siguientes densidades y propiedades en el hormigón:

Árido	Densidad mayor a 1800 kg/m ³	Altas propiedades mecánicas
Arcillas expandidas	Densidad mayor a 1500 kg/m ³	Limitadas propiedades mecánicas
Productores de vacío	Densidad mayor a 1200 kg/m ³	Sin propiedades mecánicas (producción fácil de hormigón liviano poroso)
	Densidad mayor a 1500 kg/m ³	Hormigón liviano poroso con bajas propiedades mecánicas
Agentes espumantes	Densidad mayor a 800 kg/m ³	Sin propiedades mecánicas, se emplea para morteros de relleno
Poliestireno expandido	Densidad mayor a 800 kg/m ³	Bajas propiedades mecánicas

Hormigón poroso

Los aditivos que causan expansión (por ej., aluminio en polvo) se mezclan con la argamasa para obtener hormigón poroso. El hormigón poroso generalmente se produce en forma industrial. El hormigón poroso no es realmente hormigón, sino un mortero poroso.

Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sika® Poro Plus	Productor de vacío	Para producir un hormigón liviano poroso con un contenido de vacío hasta 40%
SikaPump®	Estabilizador	Para mejorar la bombeabilidad y la cohesión del hormigón liviano
Sikament® *	Superplastificante	Para reducir la permeabilidad y mejorar la trabajabilidad del hormigón liviano

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

3.2.14 HORMIGÓN COMPACTADO A RODILLO

El hormigón compactado a rodillo es un hormigón de consistencia semi seca, que requiere para su correcta compactación la utilización de equipos que apliquen una elevada energía, como los rodillos vibratorios: peso más vibración. Se lo utiliza generalmente en represas, caminos, bacheos de gran superficie, etc.. Su composición es similar a un hormigón convencional pero con bajo contenido unitario de agua, el cual se determina para lograr al menos el 90% de la densidad teórica: (hormigón sin vacíos) y esta se mantiene constante durante toda la obra. Los agregados generalmente son triturados y los aditivos recomendados son plastificantes y retardadores defraguado.

Se deberán coordinar perfectamente el material grueso, la arena, el ligante (cemento estándar) y el contenido de agua. En especial, el contenido de agua debe mantenerse constante y preciso para permitir que el rodillado llene los vacíos lo máximo posible.

3.2.15 HORMIGÓN COLOREADO

El hormigón coloreado es producido agregando óxidos metálicos (principalmente óxido de hierro). Estos pigmentos se encuentran en forma de polvo, polvillo de granulados finos o líquido. La dosis es normalmente 0.5 - 5% del peso del cemento. Mayores dosis no hacen que el color se intensifique pero pueden afectar negativamente la calidad del hormigón.

Los colores habituales son:

- Oxido de hierro amarillo
- Oxido de hierro rojo o marrón
- Oxido de cromo (verde)
- Dióxido de titanio; abrillantador general (blanco)
- Oxido de hierro (negro). Nota: el carbón para colorear de negro puede afectar negativamente la creación de vacíos de aire

Los colores pueden realizarse

- Utilizando agregados de colores más livianos
- Utilizando cemento blanco

El color de un hormigón "coloreado" puede ser confiablemente evaluado en el estado endurecido y seco y depende de los siguientes factores

- Tipo, cantidad y finura del colorante
- Tipo de cemento
- Áridos
- Composición de la mezcla del hormigón

Para más información sobre el uso del hormigón coloreado, véase la sección 3.2.8 Hormigón Visto (pág. 50)

Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® * Sika® ViscoCrete® **	Superplastificante	Mejora la resistencia y disminuye la permeabilidad. Sustancial reducción de agua Distribución optimizada del pigmento (especialmente en las superficies)
Sika® ColorCrete®	Lechada de pigmento y superplastificante	Colorea el hormigón visto Mejora la trabajabilidad

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.
(**) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

3.2.16 HORMIGÓN SEMISECO PARA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE HORMIGÓN PREMOLDEADO

Generalidades

El hormigón semisecho se utiliza para la fabricación de pequeños productos de hormigón premoldeado.

- Elementos de hormigón para pavimentar (adoquines)
- Cordones
- Lajas y losas de pavimento
- Productos de jardín
- Caños
- Viguetas
- En este momento, la principal aplicación son los adoquines.

Las características especiales del hormigón semisecho son

- Desmolde instantáneo
- Estabilidad del hormigón no hidratado
- Precisión dimensional inmediatamente posterior a la compactación (resistencia temprana ó 'verde')

Las ventajas de este proceso son

- Solamente un molde por forma de producto (baja inversión de capital)
- Una instalación de compactación para todos los productos
- Flexibilidad en la producción debido a un cambio rápido de encofrado para un nuevo tipo de producto

Tecnología de hormigón semisecho

¿Cómo se obtienen tecnológicamente estas diferentes características del hormigón fresco?

- Curva de granulométrica 'fina' (máximo tamaño de partícula 8 mm, gran requerimiento de agua)
- Baja relación a/c (0.35 a 0.40)
- Bajo contenido de ligante
- Cemento de alta resistencia (42.5 R)
- Sustitutos del cemento (ceniza fina, piedra caliza en polvo)

Esto nos da una matriz de baja adhesión y por lo tanto una consistencia granular en el estado fresco. Los resultados:

- Difícil de compactar
- Baja incorporación de aire
- Susceptible a secado temprano debido a la eliminación de agua

La resistencia se desarrolla de acuerdo con las leyes generales de la tecnología de hormigón y es similar a los hormigones de alta resistencia.

Comparación con hormigón estándar de alta resistencia

Material/m ³	C 45/45	Hormigón de centro semisecho
Consistencia (no compactado)	Fluida (a: 56 cm)	Granular, porosa
Árido	1860 kg	1920 kg
Arena 0/2	38%	55%
Grava 2/8	18%	45%
Grava 8/16	44%	--
Valor k	4.14	3.10
Ligante total (cemento y sustitutos)	360 kg	320 kg
Cemento	100%	75%
Ceniza fina	--	25%
Agua	162 kg	120 kg
Relación agua/ligante	0.45	0.38
Aditivo químico	1.5% de cemento (superplastificante)	0.4% de cemento (reductor agua)
Volumen de poros	1.5%	3.9%
Densidad del hormigón fresco	2.38 kg/dm ³	2.36 kg/dm ³
Resistencia a la Compresión, día 1	~ 33 N/nm ²	~ 33 N/nm ²
Resistencia a la Compresión, día 28	~ 68 N/nm ²	~ 68 N/nm ²

La comparación con el hormigón estándar indica la razón para la consistencia semiseca:

- más viscosidad debido a menor relación a/c (rigidez)
- aprox. 40-50% menos pasta de cemento en la superficie del agregado debido a menor aglutinante, menor relación a/c y áridos más finos

Proceso de producción adoquines de hormigón y pequeños productos de hormigón Productos de hormigón

Este hormigón granular no puede compactarse con sistemas de vibración estándar. Requiere máquinas especiales que operan con el proceso de compresión de vibración: la vibración del hormigón bajo carga superpuesta.

- producción tipo 'ponedora' (la compactación se hace directamente en el piso)
- producción multi-etapa (anteriormente denominada producción masiva; los productos frescos se apilan uno sobre el otro, con riesgo de colapso total de la pallet.
- máquina estática (moderna producción masiva, máquinas estáticas con procesos continuos que permiten la compactación de los productos y la manipulación y almacenado sobre tableros de madera o acero)

Los adoquines para pavimentar generalmente se producen en dos capas:

- hormigón base = núcleo que tiene que soportar la carga estática
- hormigón visto = mezcla fina que otorga al bloque una apariencia atractiva y es responsable de la durabilidad (desgaste, heladas, etc.)

En algunas zonas los adoquines también se producen con hormigón monolítico, en cuyo caso se utiliza un hormigón con mayor contenido de finos.

Calidad de los productos elaborados con hormigón

Requerimientos de los productos de hormigón

- Economía
- Superficies cerradas y aristas exactas
- Adecuada resistencia temprana o 'verde'
- Muy baja permeabilidad
- Alta resistencia inicial y final
- Adecuada resistencia a la helada y al congelamiento/deshielo
- Mínima tendencia a la eflorescencia y decoloración
- Color homogéneo y uniforme

Factores que influyen en la calidad de los productos a base de hormigón

La calidad de los productos elaborados con hormigón semiseco depende en gran medida de la dosificación de la mezcla, sistema de elaboración y fundamentalmente de la compactación del hormigón.

Factores del proceso

- Estado del encofrado
- Estado de la base de compactación
- Método de llenado
- Tiempo e intensidad de compactación
- Clima durante el almacenamiento de los productos frescos de hormigón
- Clima y duración del almacenamiento exterior

Factores de tecnología del hormigón

- Tipo, cantidad y curva granulométrica de los áridos
- Tipo, cantidad y finura del cemento
- Contenido de agua del hormigón fresco
- Dosis de adiciones
- Dosis de aditivos
- Secuencia de la mezcla

Para obtener una calidad uniforme, todos los factores deben mantenerse constantes.

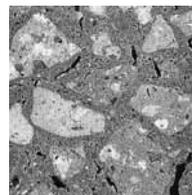
Compactación

La calidad de la compactación depende de los factores mencionados anteriormente.

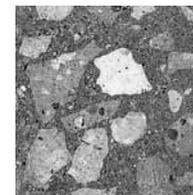
La compactabilidad generalmente aumenta con

- Mayor energía de compactación (duración, frecuencia, etc)
- Creciente contenido de agua
- Mayor contenido de ligante
- Incorporación de aditivos (ayuda de compactación)

En el cálculo, se debe considerar entre 3.5 y 5.0% en volumen final de poros de la mezcla.



Sin aditivos



Con 0.4% SikaPaver® C-1

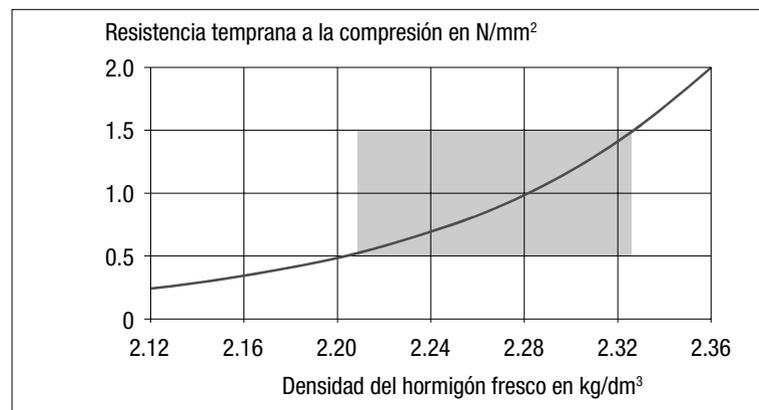
Los aditivos químicos permiten una compactación más rápida e intensa. Por lo tanto, es posible ahorrar tiempo de compactación y producir un hormigón más homogéneo.

Resistencia temprana ó 'verde'

Los hormigones semisecos pueden desmoldarse inmediatamente luego de la compactación. Los productos de hormigón recién moldeados tienen generalmente mayor resistencia verde y por lo tanto retienen su forma. En los adoquines comunes, esta resistencia verde se encuentra dentro del rango.

Aprox. 0.5 - 1.5 N/mm²

En este momento, el cemento generalmente no ha comenzado a hidratarse (desarrollo de la resistencia). Este efecto puede deducirse de las leyes de la mecánica de suelos (cohesión aparente).

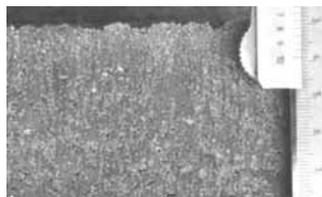


Calidad de los bordes

Una compactación deficiente causa un efecto "nido de abejas" y bordes rústicos. Los aditivos químicos mejoran la compactabilidad. La compactación intensa mejora la aglutinación de los áridos. La pasta de cemento por lo tanto sube a la superficie y se distribuye verticalmente hacia los bordes durante el golpeado (cuando se retira el molde) y esto ayuda a producir bordes suaves. Los aditivos también propician la formación de mayor lechada para moldear y ayudar en esta operación.



Borde rústico sin compuesto estabilizante



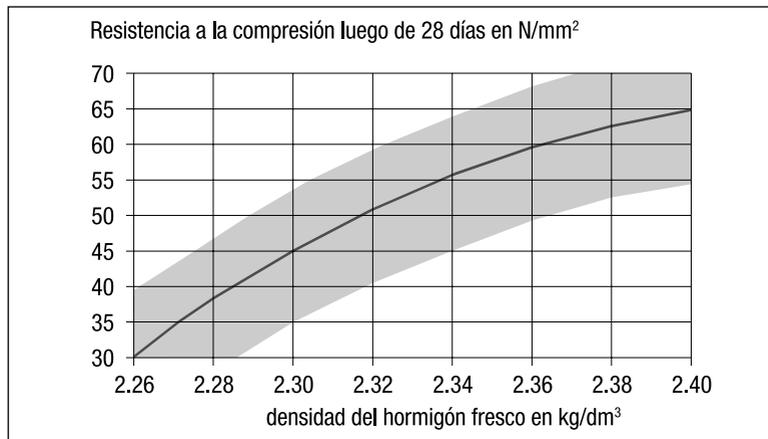
Borde y lados suaves con 0.25%
SikaPaver® HC-1

Esta película lubricante también reduce la fricción entre el hormigón compactado y el molde, prolongando la vida del encofrado.

Resistencia

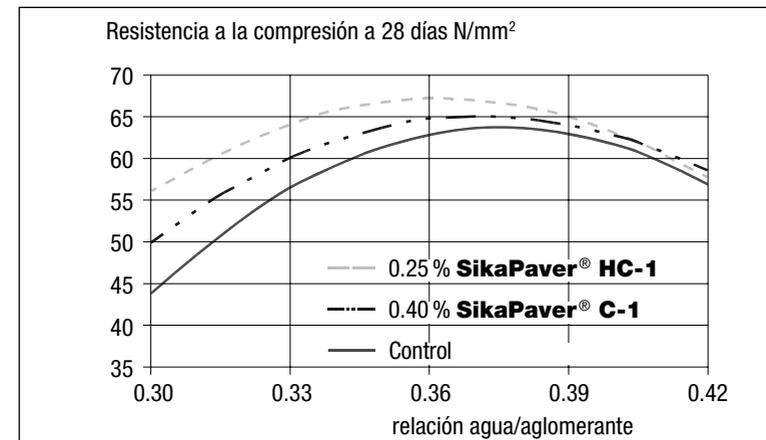
Los adoquines de hormigón semiseco se almacenan después de la producción durante aproximadamente 24 horas en estanterías en la cámara de curado. Luego, deben tolerar las solicitaciones del palletizado. Por lo tanto, la resistencia temprana es un punto crucial.

En general, la resistencia mejora a medida que la densidad aumenta



De todas maneras, si se excede el óptimo contenido de agua, la resistencia disminuye a pesar de la mayor densidad. Esto ocurre debido a que los vacíos por capilaridad que se forman como resultado del exceso de agua, eliminan el pequeño incremento en la densidad y por lo tanto reducen la resistencia. Cuanto más sustitutos de cemento se utilicen y menor sea el contenido de cemento, más rápida y frecuentemente se producirá este efecto, aún con una relativamente baja relación a/c. Por lo tanto, resulta muy importante establecer mediante ensayos el contenido óptimo de agua y asegurar que dicho contenido se mantenga constante durante la producción.

Con la tecnología de **SikaPaver®**, puede minimizarse el rango de variación en los resultados y a la vez aumentar la resistencia. Las mezclas de hormigón son más robustas y permiten cumplir con las especificaciones del producto final a pesar de las inevitables variaciones en los materiales de base, por ej., en el contenido de agua. De esta manera, las mezclas de hormigón pueden optimizarse.



Hormigón coloreado

En la actualidad, aproximadamente el 80% de los productos de hormigón premoldeado tienen color. Es importante considerar el hecho que la matriz de cemento en sí varía en brillo dependiendo de la relación a/c. Un cambio en el contenido de agua tan mínimo como 0.02 a/c puede observarse claramente a simple vista. El color se intensifica a medida que la matriz de cemento se aclara.



a/c 0.30

a/c 0.35

a/c 0.40

Eflorescencia

El problema de eflorescencia es bien conocido, son depósitos blancos de "sal" que desmerecen la apariencia, en especial de los productos de colores oscuros. Los peores casos aparecen cuando la eflorescencia varía en intensidad, que es lo que sucede generalmente. Aún hoy no existe una forma efectiva para impedirlo en su totalidad sin que esto afecte el costo. ¿Cuáles son las causas de la eflorescencia?

- Hidróxido de calcio libre Ca(OH)₂
- Vacíos capilares llenos de agua (hasta la superficie del hormigón)
- Agua estancada en la superficie del hormigón
- Bajos índices de evaporación (especialmente en tiempo fresco: otoño e invierno)
- Hidratación incompleta

por ej., la eflorescencia aparece generalmente durante el almacenamiento en el exterior de los productos apilados!

El hidróxido de calcio es transportado a la superficie del hormigón debido al gradiente de concentración de los iones de calcio en el medio húmedo. El agua es el principal vehículo. Cuanto más agua se infiltra en el hormigón endurecido, mayor la probabilidad de un suministro de exceso de iones de calcio, lo que resultará en una mayor tendencia a la eflorescencia.

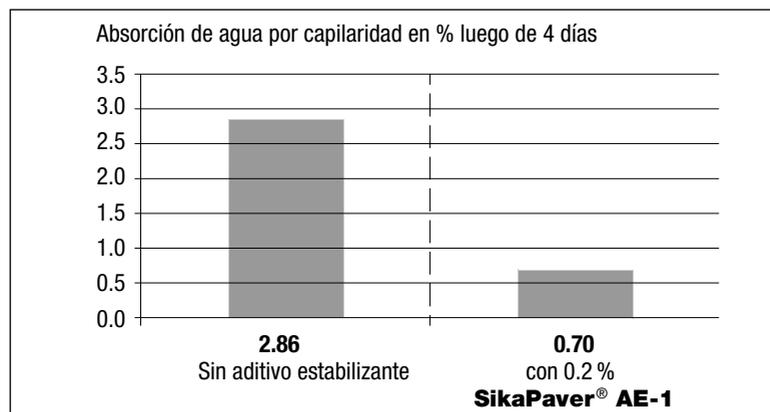
Se pueden tomar las siguientes precauciones para impedir/reducir la eflorescencia:

- Baja tasa de evaporación durante el almacenamiento
- Circulación de aire irrestricta (dióxido de carbono) durante el endurecimiento inicial
- Utilización de cemento CEM III
- Estructura de hormigón densa (contenido de matriz de cemento + compactación)
- Protección de la lluvia y condensación y mantenimiento de circulación de aire mediante ventilación



Aditivos repelentes al agua tanto en vista como en la base del hormigón

Con la tecnología de aditivos repelentes al agua **SikaPaver®**, resulta obvia la mayor reducción de la absorción de agua por capilaridad en los adoquines. Esto reduce el potencial de eflorescencia.



Normas/reglamentaciones

- EN 1338 Adoquines de hormigón
- EN 1339 Baldosas de hormigón
- EN 1440 Cordones de hormigón
- DIN 1115 Tejas de hormigón
- DIN 4032 Caños y accesorios de hormigón
- DIN 4034 Cámaras de inspección y segmentos de pozos
- DIN 4035 Caños de hormigón reforzados y a presión de hormigón
- Regulación para la producción y monitoreo de la calidad de los adoquines de muy baja permeabilidad de hormigón sin finos

Productos

	SikaPaver® C-1	SikaPaver® HC-1	SikaPaver® AE-1
Buenas propiedades de llenado granular	-	--	-
Compactabilidad/ Densidad	-	---	--
Tiempo de trabajo extendido	-		
Cierre de bordes/ lechada		--	--
Efecto antiadherente		-	--
Resistencia inicial aumentada (24 horas)	-	--	--
Resistencia final aumentada (28 días)	-	---	--
Eflorescencia reducida/ Corte en la absorción de agua			---
Color			--

Uso del producto

Nombre del producto	Uso del producto
SikaPaver® C-1	Ayuda de compactación efectiva, costo efectivo.
SikaPaver® HC-1	Ayuda de compactación de alto desempeño que también ayuda a la formación de lechada y al logro de resistencias máximas
SikaPaver® AE-1	Ayuda de compactación/ reductor de eflorescencia con propiedades intensificadoras de color

3.2.17 HORMIGÓN CON MAYOR RESISTENCIA AL FUEGO

Esto significa que el hormigón fue mejorado para poder soportar altas temperaturas. El hormigón no se puede quemar, pero por encima de ciertas temperaturas pierde sus propiedades mecánicas y luego su forma. Sin medidas especiales, el hormigón es normalmente resistente al calor hasta temperaturas de aproximadamente 80°.

El hormigón que resiste altas temperaturas se utiliza para

- Áreas de emergencia en estructuras cerradas (salidas de túneles de emergencia)
- Mayor resistencia general al fuego para infraestructuras
- Revestimiento de acero resistente al fuego para elementos estructurales.

Propiedades del hormigón con alta resistencia al fuego

- Como regla general, el hormigón fresco se comporta como el hormigón estándar durante la colocación
- El hormigón endurecido tiene un desarrollo a la resistencia algo más lento que lo normal, pero nuevamente las propiedades son similares

Producción de hormigón con alta resistencia al fuego

- La producción de hormigón no difiere de la de hormigón estándar
- El proceso de mezcla debe monitorearse debido a las fibras que normalmente se incluyen
- Es beneficioso para la futura resistencia al fuego que el hormigón se encuentre lo más seco posible

Materiales componentes para la producción de hormigón con alta resistencia al fuego

- La mayor resistencia al fuego se basa en la composición de los áridos utilizados
- La resistencia puede aumentarse utilizando áridos especiales
- El uso de fibras de plástico especiales (siglas en inglés PP) aumenta la resistencia considerablemente
- El uso de arenas seleccionadas mejora la resistencia de la matriz del cemento

Mecanismos de conducta en los incendios

El agua intersticial comienza a evaporarse a temperaturas próximas a 100°C (temperatura de ebullición). El vapor necesita más espacio y por lo tanto ejerce presión de expansión en la estructura del hormigón. La matriz de cemento comienza a cambiar a temperaturas de alrededor de 700°C. El efecto en los áridos depende principalmente de su origen y comienza a alrededor de 600°C. El hormigón comienza a "derretirse" a alrededor de 1200°C.

Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® * Sika® ViscoCrete® **	Superplastificante	Debido a una sustancial reducción de agua, hay menos exceso de agua en el hormigón

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

(**) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

3.2.18 HORMIGÓN PARA SEGMENTOS DE TÚNELES

Los métodos modernos para la construcción de túneles en entornos de rocas inestables utilizan segmentos de hormigón que soportan cargas inmediatamente y recubren toda la sección del túnel excavado.

Esta función está a cargo de unidades de hormigón premoldeado que se llaman segmentos de túneles.

Producción

Debido a la gran cantidad requerida y al peso (hasta varias toneladas cada uno), los segmentos de túneles son casi siempre producidos cerca de la entrada del túnel en instalaciones especialmente instalada de premoldeado. Deben cumplir con especificaciones de alta precisión. Se impone entonces utilizar encofrado de acero inoxidable pesado.

Debido a que el golpeado ocurre solamente después de 5 ó 6 horas, y que el hormigón ya debe tener una resistencia a la compresión de > 15 N/mm², resulta esencial el desarrollo acelerado de la resistencia.

Existen varios métodos para esto. En el proceso de autoclave (calor a contraflujo), el hormigón se calienta a 28-30°C durante el mezclado (con agua caliente o vapor), se coloca en moldes y se termina. Luego se calienta durante aproximadamente 5 horas en un autoclave de 50-60°C para obtener la resistencia necesaria para el desmolde.

Composición

- Áridos
 - Normalmente 0-32 mm en el rango gradiente de acuerdo con EN 480-1
- Cemento
 - Contenido de cemento 325 o 350 kg/m³
 - CEM I 42.5 o 52.5

Colocación

- La mezcla de hormigón fresco tiende a endurecerse rápidamente debido a la alta temperatura, dificultando la compactación y terminación de la superficie.
- Debido a los rápidos procesos industrializados, se puede utilizar una consistencia plástica para el hormigón fresco. La resistencia inicial deseada solamente puede obtenerse con una baja relación agua/cemento, que por lo tanto debe encontrarse siempre en < 0.48.

Requerimientos especiales

Los segmentos recién desmoldados deben curarse cubriéndolos o rociándolos con un agente de curado como **Sika® Antisol® Normalizado**

Sin embargo, para obtener una combinación de máxima durabilidad en condiciones variables del terreno y un óptimo curado, las superficies premoldeadas se tratan a menudo con una capa protectora especial de **Sikagard®** inmediatamente después del desencofrado. Con esta protección adicional contra los ataques químicos, se consiguen superficies de hormigón extremadamente durables.

Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sika® ViscoCrete® 20 HE	Superplastificante	Mayor resistencia inicial y muy baja permeabilidad Mejora en la fluidez
SikaFume®	Humo de sílice	Resistencia alta, menor permeabilidad. Mejor resistencia a los sulfatos
SikaAer®	Incorporación de aire	Aire incorporado Hormigón resistente a las heladas y al congelamiento/deshielo

3.2.19 HORMIGÓN MONOLÍTICO

Hormigones resistentes al desgaste, pisos o tarimas nivelados listos para usar. El hormigón monolítico tiene alta calidad uniforme y estos diseños de piso son extremadamente económicos.

Composición

La mezcla del hormigón debe adaptarse a cualquier requerimiento especial (hormigón de muy baja permeabilidad, hormigón resistente a la helada, etc.)

Colocación

Colocación y compactación estándar con vibradores de inmersión. Suavizar con regla vibradora. Luego de iniciado el proceso de endurecimiento, la superficie se termina con allanadora mecánica.

Curado

Comienza lo más rápidamente posible rociando con **Sika® Antisol® Normalizado** (¡Atención! ¿Qué recubrimiento va a utilizar luego?) y proteja con cubiertas.

Notas

- Verifique la posibilidad de utilizar fibras de acero cuando produzca losas de hormigón monolítico
- Para mejorar la superficie terminada, recomendamos utilizar **Sikafloor® 3 QuartzTop** que se esparce en la superficie durante la operación de terminación.
- En general, los aditivos químicos para una trabajabilidad extendida, no resultan adecuados para el hormigón monolítico

Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® *	Superplastificante	Aumenta la resistencia y baja la permeabilidad Buena trabajabilidad Buena resistencia verde
Sika® Rapid C-100	Acelerador de endurecimiento	Control del proceso de endurecimiento a bajas temperaturas
Sikafloor® 3 QuartzTop	Tipo mineral, sintético ó metálico	Mejor resistencia a la abrasión Opción de color
Sikafloor®-ProSeal	Sellador para superficies curadas y endurecidas	Menos pérdida de agua Ayuda al endurecido y curado Sella la superficie
Sika® Antisol® Normalizado	Agente curador	Reducción en la pérdida de agua

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

3.2.20 HORMIGÓN GRANOLÍTICO

El pavimento de hormigón granolítico es muy resistente a la abrasión, se emplea en pisos industriales cementíceos y áreas de tránsito con un espesor mínimo de 20 mm. Se colocan sobre un sustrato de cemento (por ej., hormigón viejo) con una capa adherente y tienen una densidad de > 2100 kg/m³. Si el espesor de la capa excede 50 mm, generalmente se coloca una malla de refuerzo (mínimo 100 x 100 x 4 x 4).

Composición

- Áridos
 - 0 - 4 mm para un espesor de capa de hasta 30 mm
 - 0 - 8 mm para un espesor de capa de 30-100 mm
- Cemento
 - 400 - 500 kg/m³

Sustrato/adhesión

En primer lugar se aplica la capa adherente mediante cepillado en la superficie ligeramente humedecida (se prehumedece)
El hormigón granolítico se coloca "húmedo sobre húmedo" en la capa de adherencia y se compacta cuidadosamente, se alisa y luego se termina con allanadora mecánica. La resistencia a la abrasión se mejora aún más espolvoreando mezclas en seco durante la operación de allanado. Las fibras de polipropileno incluidas en la mezcla también pueden contrarrestar la fisuración por contracción.

Curado

Siempre aplicar un agente de curado (que debe ser mecánicamente removido si se aplica una capa en el futuro) y/o proteger con láminas, preferentemente durante muchos días.

Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® * Sika® ViscoCrete® **	Superplastificante	Aumenta la resistencia y disminuye la permeabilidad Buena trabajabilidad Buena resistencia verde
Sika® Rapid C-100	Acelerador de endurecimiento	Control del proceso de endurecimiento a bajas temperaturas
Sikafloor® 3 QuartzTop	Tipo mineral, sintético y metálico.	Abrasión reducida Opción de color
Sikafloor® ColorSeal	Sellador para superficies en curado y endurecimiento	Menos pérdida de agua Ayuda al endurecimiento y al curado Sella la superficie
Sika® Antisol® Normalizado	Agente de curado	Reducción en la pérdida de agua

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.
(**) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

4 HORMIGÓN FRESCO

4.1 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

4.1.1. TRABAJABILIDAD

Se define la trabajabilidad como la facilidad de mezclado, transporte, colocación, compactación y terminación del hormigón en las estructuras con mínima segregación.

La consistencia influye sobre el comportamiento del hormigón fresco durante la mezcla, manipulación, descarga y colocación en el lugar, y durante la compactación y el alisado de la superficie. La trabajabilidad es por lo tanto, un parámetro relativo y se ve definida en gran medida por la consistencia.

Requerimientos de trabajabilidad

- Mejora de costo por facilidad de mezclado, transporte, colocación, compactación y terminación del hormigón fresco.
- Máxima plasticidad (“fluidez”) mediante el uso de superplastificantes
- Buena cohesión
- Bajo riesgo de segregación, buena terminación de superficie (“propiedades de acabado”)
- Trabajabilidad extendida → Retardo/hormigón para climas cálidos
- Procesos de fraguado y endurecido acelerado → Aceleración de fraguado y endurecido/hormigón para climas fríos

4.1.2 HORMIGÓN CON RETARDADOR/HORMIGÓN PARA CLIMAS CÁLIDOS

El hormigón debe protegerse del secado durante la manipulación.

El hormigonado solamente es posible a altas temperaturas si se proporcionan medidas especiales de protección. Estas medidas deben estar implementadas desde el comienzo de la producción de hormigón hasta el final del curado. Dependen de la temperatura exterior, la humedad ambiente, las condiciones del viento, la temperatura del hormigón fresco, el desarrollo y la disipación del calor y las dimensiones del vertido.

Sin estas medidas de protección, el hormigón fresco no debe tener una temperatura mayor a +30°C durante la colocación.

Posibles problemas

Trabajar con hormigón sin retardo de fragüe puede ser un problema en temperaturas superiores a 25°C.

- La hidratación es la reacción química del cemento con el agua. Comienza inmediatamente al contacto, continua con la rigidización por fraguado y finalmente se presenta el endurecimiento de la pasta de cemento.
- Cada reacción química se acelera a una temperatura mayor.

Esto puede significar que ya no es posible la compactación correcta y completa.

Las contramedidas normales son el uso de superplastificantes-retardadores o superplastificantes combinados con un aditivo retardador de fraguado.

Condiciones de retardo y tablas de dosaje

Objetivo del retardo: Extender el tiempo de trabajo a una temperatura específica.

Tiempo de trabajo: Tiempo posterior a la mezcla durante el cual el hormigón puede vibrarse correctamente.

Retardo libre: El fraguado inicial sólo comenzará luego de un tiempo específico.

Retardo planificado: El fraguado inicial comienza en un momento específico.

La certeza proviene solamente de los ensayos específicos preliminares

Elemento estructural y retardo	Temperatura crítica
Secciones transversales de hormigón medianas	Temperatura del hormigón fresco
Secciones transversales de hormigón pequeñas	Temperatura del aire en el punto de colocación

La mayor temperatura (hormigón fresco o temperatura del aire) es la que se considera crítica para calcular el retardo de fragüe necesario para el hormigonado de las piezas estructurales de mayor sección transversal. Seguramente para las piezas de menor sección el retraso necesario será menor.

Tabla de dosaje para hormigón con libre retardo

El retardo depende en gran medida del tipo de cemento.

Tiempo de retardo en horas	Temperatura crítica					
	10°C°	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5
4	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6
6	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8
8	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
10	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.3
12	0.4	0.6	0.8	0.9	1.2	1.5
14	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.8
16	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5	
18	0.6	0.9	1.1	1.4	1.7	
20	0.7	1.0	1.2	1.6		
24	0.8	1.1	1.5	1.8		
28	1.0	1.3	1.8			
32	1.2	1.5				
36	1.5	1.8				
40	1.8					

Las dosis se refieren a hormigón con 300 kg CEM I 42.5 N y w/c = 0.50.

La dosis se debe aumentar en 20% para el hormigón semiseco.

Las cifras de esta tabla son los resultados obtenidos en laboratorio y se relacionan con una fórmula de retardo especial que quizá no sea de aplicación en todas partes.

Siempre son necesarios ensayos de adaptabilidad.

Factores de influencia

Varios factores afectan el retardo

Influencia de la temperatura (véase "Temperatura crítica")

- Los aumentos de temperatura acortan el retardo y las reducciones de temperatura lo extienden.

Regla práctica básica:

Cada grado debajo de 20°C extiende el tiempo de retardo en aproximadamente 1 hora.

Cada grado por encima de 20°C disminuye el tiempo de retardo en 0.5 horas.

Para mayor seguridad: **¡Ensayo preliminar!**

Influencia de la relación agua/cemento

Un contenido de cemento de 300 kg/m³ y una dosis de **Sika Retarder® 20** de 1% muestra que:

- Un aumento en la relación a/c de 0.01 ocasiona un retardo adicional de media hora.

Combinación de Sikament**/Sika® ViscoCrete***

- Con un superplastificante sin retardo, **Sika Retarder® 20** extiende levemente el retardo
- Con un superplastificante con retardo, Sika Retarder® extiende aún más (acumula) el retardo.

El ensayo preliminar siempre debe realizarse en proyectos de envergadura.

Influencia del cemento

El proceso de hidratación de diferentes cementos puede variar debido a las diferentes materias primas y finura del molido. El efecto de retardo también es susceptible a estas variaciones que pueden ser considerables en dosis mayores al 1%.

La tendencia:

- Cementos Pórtland puros y finos: efecto de retardo reducido
- Cementos más gruesos y algunos cementos con adiciones: efecto de retardo extendido

Por seguridad

- ¡Ensayos preliminares!
- ¡Ensayos preliminares en dosis superiores al 1%!

Influencia del volumen de hormigón

Si todo el vertido de hormigón se retarda, el volumen no debería tener influencia en el efecto de retardo.

Durante el fraguado inicial de un vertido adyacente (por ej., retardo nocturno en una losa de tablero), la "temperatura crítica" cambia en la zona de contacto con la siguiente sección retardada (aumenta) y esto hace que disminuya el efecto de retardo.

Característica del hormigón con retardo de fragüe

- Endurecimiento
Si el endurecimiento se inicia luego de que se ha detenido el retardo, puede ser más rápido que en el caso del hormigón que no tiene retardante.
- Contracción/fluencia
La contracción final o fluencia es menor que en el hormigón sin retardo.
- Contracción temprana
Pueden formarse fisuras por contracción plástica que resultan de la contracción temprana debido a la deshidratación durante el período de retardo (evaporación de superficie).
¡La protección de la deshidratación es extremadamente importante para el hormigón con retardo! ¡Un curado correcto resulta esencial!

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

(**) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

Ejemplos de etapas de hormigonado con retardo

1. Retardo nocturno

- Losetas de fundación
- Tableros, vigas, etc

Hacia el final de un día típico de hormigonado, se colocan 3 capas o tongadas de aproximadamente 1.20 m de ancho con retardo creciente.

1ª capa: 1/3 de la dosis principal

2ª capa: 2/3 de la dosis principal

3ª capa: dosaje principal para el tablero o determinado en base a resultados de los ensayos preliminares

Suspensión de los trabajos durante la noche.

Continuación del trabajo a la mañana siguiente.

1ª banda (adyacente a la 3ª del día anterior) se retarda en 1/3 del dosaje principal.

2. Retardo con fraguado inicial simultáneo

Esto sucede con grandes extensiones en puentes, losas de fundación, etc.

Las preparaciones importantes incluyen:

- Definir un programa de hormigonado concreto entre el ingeniero y el contratista
- Sobre esa base, dividir en partes y preparar un cronograma
- Objetivo: todas las partes fraguan juntas
- Cuando se determinen los tiempos, pueden especificarse las dosis para partes individuales sobre la base de los ensayos preliminares y la información de temperatura precisa.

Ensayos preliminares

Los ensayos preliminares se relacionan solamente con la composición del hormigón especificado para la etapa de retardo:

- Por ej., con la misma relación a/c y el mismo cemento con la misma dosis
Los límites de vibración deben verificarse en el lugar con varias muestras de hormigón por dosis (mínimo en recipientes de 20 litros), en condiciones de temperatura tan similares como sea posible a las condiciones durante la colocación.

Procedimiento:

- Determinar la dosis de retardador desde la tabla
- Completar por lo menos 5 recipientes con la mezcla del hormigón
- Vibrar el contenido del primer recipiente dos horas antes del supuesto fraguado inicial
- Vibrar los siguientes recipientes una hora después en cada caso (el contenido de cada recipiente solamente se vibra una vez)
- Cuando el contenido del recipiente siguiente no puede vibrarse más, el hormigón ha comenzado a fraguar
- Registrar los tiempos obtenidos y verificar si concuerdan con las predicciones (en la tabla)
- Si las diferencias son demasiado grandes, repetir los ensayos con una dosis ajustada.

Medidas para el hormigón con retardo

El encofrado

La madera del encofrado utilizada por primera vez puede ocasionar un ligero manchado, polvo en la superficie, etc. especialmente en torno a nudos o debido a los azúcares de la madera en la superficie.

El encofrado de madera, que es ligeramente absorbente, si no está bien humedecido y no recibe el tratamiento adecuado con agentes desencofrantes, extrae y absorbe agua de la superficie del hormigón. El resultado son partículas sueltas y desmenuzables, y polvo. Este daño es mayor en los hormigones con retardo de fragüe porque los efectos negativos continúan por mucho tiempo.

El encofrado de madera que se prepara correcta y adecuadamente, tratado con **Sika® Separol®*** producirá buenas superficies limpias y resistentes aun en hormigones con retardo.

Compactación y curado

El hormigón con retardo debe compactarse. La siguiente etapa (por ej., la mañana siguiente) se vibra juntamente con la "capa anterior". Las áreas de retardo se compactan y terminan juntas.

El curado es sumamente importante para que el hormigón con retardo de fragüe, compactado y luego endurecido pierda tan poca humedad como sea posible.

Los mejores métodos para superficies con retardo (pisos, etc) son:

- Cubrir con plástico o mantas aislantes
En las áreas de retardo que serán vibradas nuevamente:
- Cubrir completamente con plástico o arpilleras húmedas. Evitar las corrientes de aire.
El mojado adicional de la superficie debe efectuarse cuidadosamente, dado que puede ocasionar el lavado del hormigón con retardador.

(*) Sika® Separol® Precast | Madera | Asar.

4.1.3 ACELERACIÓN DE FRAGUADO/HORMIGÓN PARA CLIMAS FRÍOS

El hormigón debe estar protegido de la lluvia y la escarcha durante el proceso de endurecimiento. Sólo es posible el hormigonado en temperaturas bajo cero si se toman medidas preventivas especiales.

Estas medidas deben tomarse desde el comienzo de la producción del hormigón hasta el final del curado. Dependen de la temperatura exterior, la humedad del aire, condiciones del viento, temperatura del hormigón fresco, desarrollo y disipación del calor y volumen del hormigón colocado.

El hormigón fresco no debe tener una temperatura inferior a +5°C durante la colocación y la instalación sin medidas protectoras adicionales. El agua de mezclado y los áridos deben precalentarse si fuese necesario.

Problemas

Las bajas temperaturas retardan el fraguado del cemento. En temperaturas por debajo de -10°C, los procesos químicos del cemento se detienen (pero continúan si hay calentamiento). Aparecen situaciones peligrosas si el hormigón se congela durante el fraguado, es decir, sin tener una mínima resistencia. En este caso aparece la desunión estructural con su correspondiente pérdida de resistencia y calidad. La mínima resistencia a la cual el hormigón supera un proceso de congelamiento

sin sufrir daños es la llamada resistencia de congelamiento de 10 N/mm². El objetivo principal debe ser alcanzar esta resistencia de congelamiento tan pronto como sea posible.

La temperatura t del hormigón fresco puede estimarse de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$t_{\text{hormigón}} = 0.7 \times t_{\text{áridos}} + 0.2 \times t_{\text{agua}} + 0.1 \times t_{\text{cemento}}$$

Medidas

1. Temperatura mínima

De acuerdo con EN 206-1, la temperatura del hormigón en la descarga no debe estar por debajo de +5°C. (Para elementos delgados, de estructura fina y temperaturas ambientales de -3°C o menos, EN requiere una temperatura de hormigón fresco de +10°C que debe mantenerse durante 3 días). Esta temperatura mínima es importante para que aparezca el fraguado. El hormigón debe protegerse de la pérdida de calor durante la elaboración y transporte y después de la colocación (véase Medidas de Protección).

2. Reducción de la relación a/c

El mínimo contenido de agua posible proporciona un rápido aumento de la resistencia inicial. Generalmente hay menos humedad disponible para el congelamiento. Los superplastificantes permiten una relación w/c con buena trabajabilidad extendida.

3. Aceleración del endurecimiento

El uso de **SikaRapid® C-100** proporciona máxima aceleración de endurecimiento cuando existen requerimientos de alta resistencia inicial.

Tiempo para alcanzar 10 N/mm² a 0°C en días (d)

Hormigón	Tiempo en días	
	Mezcla control	Con 1% SikaRapid® C-100
CEM I 300 kg/m ³ a/c = 0.40	4 d	1 d
CEM I 300 kg/m ³ a/c = 0.50	8 d	2 d

(Sika MPL)

4. Uso de CEM I 52.5

Se sabe que los cementos de alta calidad y molienda muy fina producen un mayor aumento de la resistencia inicial. Los superplastificantes garantizan la mejor trabajabilidad con una menor relación a/c.

Medidas protectoras en el lugar

1. No hormigonar sobre o en contacto con hormigón existente congelado
2. La temperatura del acero de refuerzo debe ser mayor a 0°C
3. Colocar el hormigón rápidamente y protegerlo inmediatamente de la pérdida de calor y evaporación (tan importante en verano). Lo recomendable para estos casos son las mantas térmicas.

Ejemplo

Para una temperatura exterior de -5°C y una temperatura del hormigón fresco de 11°C

Elemento estructural	Caída en la temperatura del hormigón a +5°C	
Profundidad del tablero de hormigón d = 12 cm en encofrado de madera	~ 4 horas sin mantas de aislación	~ 16 horas con mantas de aislación

4. Para tableros: calentar el encofrado desde abajo si fuese necesario

5. Verificar las temperaturas del aire y del hormigón y la progresión de la resistencia regularmente (por ej., con un martillo de rebote)

6. ¡Prolongar el tiempo de desencofrado!

Conclusión: las medidas que se toman en invierno deben estar planificadas y organizadas con anticipación por todas las partes involucradas.

Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de producto	Propiedad del hormigón fresco
Sikament® *	Superplastificante	Se llega rápidamente a la resistencia de congelamiento debido a la reducción de agua
Sika® ViscoCrete® **	Superplastificante	
Sikament® -HE/ Sika® ViscoCrete® 20 HE	Superplastificante/ acelerante de endurecimiento	Resistencia inicial muy alta en un período de tiempo muy corto
SikaRapid® C-100	Acelerante de endurecimiento	Resistencia inicial muy alta en un período de tiempo muy corto

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

(**) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

4.1.4 CONSISTENCIA

A diferencia de la “trabajabilidad”, la consistencia - o la deformabilidad - del hormigón fresco puede medirse. La norma EN 206-1:2000 diferencia entre 4 y 6 clases de consistencias dependiendo del método de ensayo y define los hormigones frescos desde rígidos a fluidos (véase la sección 2.3 Clasificación de Consistencia, pág. 25)

Tolerancias para valores de consistencia objetivo de acuerdo con EN 206-1

Método	Grado de Compactibilidad			Diámetro de Fluidez	Asentamiento		
	≥ 1.26	1.25 ... 1.11	≤ 1.10		≤ 40 mm	50... 90 mm	≥ 100 mm
Rangos de valores objetivo				Todos los valores			
Tolerancia	± 0.10	± 0.08	± 0.05	± 30 mm	± 10 mm	± 20 mm	± 30 mm

Para cada aplicación del hormigón se determina, mediante ensayos de consistencia preliminares, los parámetros de control.

Factores que influyen en la consistencia

- Forma y textura de las partículas
- Contenido/tipo de cemento
- Contenido de agua
- Uso de adiciones
- Uso de aditivos químicos para de hormigón
- Temperatura
- Intensidad y tiempo de mezclado
- Tiempo de medición

Tiempo y lugar de los ensayos

La consistencia del hormigón debe estar determinada al momento de entrega, es decir, cuándo llega al sitio y antes de la colocación (monitoreo de trabajabilidad).

Si la consistencia se registra tanto luego del proceso de mezclado (verificación de consistencia de producción) y antes del colado en el lugar, es posible obtener una comparación directa del cambio en la consistencia con el tiempo transcurrido.

Si el hormigón se entrega en un camión mezclador, la consistencia puede medirse en una muestra aleatoria tomada luego de que se haya descargado de 0.3 m³ de material.

4.1.5 EXUDACIÓN

Es la aparición de agua en la superficie causada por la segregación del hormigón. La exudación ocurre como resultado de los defectos en los finos de los áridos y en las mezclas que son bajas en cemento o altas en agua.

Consecuencias

- Superficies porosas, irregulares, con poros.
- La superficie del hormigón tiene una resistencia inadecuada a las acciones ambientales y al desgaste mecánico
- Aparece eflorescencia en la superficie (ó “blooming”)

Para reducir la exudación

- Reducir el contenido de agua
- Monitorear el contenido de finos
- Utilizar un estabilizador de mezclas, **Sika® Stabilizer 100**
- Optimizar la curva granulométrica

4.1.6 ACABADO O TERMINACIÓN

Durante la colocación, asegurarse que el hormigón no sea compactado durante mucho tiempo para impedir que aparezca demasiada agua y lechada en la superficie.

La superficie no debe terminarse demasiado pronto (alisado). Esperar hasta que la superficie esté ligeramente húmeda.

La resistencia al desgaste de la superficie puede mejorarse si el alisado de la superficie con llana se repite dos o hasta tres veces.

4.1.7 DENSIDAD DEL HORMIGÓN FRESCO

La densidad del hormigón fresco es la masa en kg por m³ de hormigón fresco, normalmente compactado, incluyendo los vacíos natural e intencionalmente incorporados.

A igualdad del contenido de cemento y áridos, una disminución de la densidad del hormigón fresco puede indicar una mayor incorporación de aire en forma de poros y vacíos o de agua, que obviamente afectarán desfavorablemente a la resistencia del hormigón.

La densidad del hormigón fresco cae

- a medida que el contenido de agua aumenta
- a medida que aumenta el contenido de vacíos

La densidad del hormigón fresco aumenta

- a medida que el contenido de cemento aumenta
- a medida que la relación agua/cemento disminuye
- a medida que el contenido de vacío disminuye

Para la determinación de la densidad del hormigón fresco de acuerdo con EN 12350-6 véase la sección 4.2.6 (pág. 88)

4.1.8 CONTENIDO DE VACÍOS DE AIRE

Todos los hormigones contienen vacíos. Aún después de una cuidada compactación, el contenido de aire restante, por ej., con un tamaño máximo de partícula de 32 mm es 1-2% en volumen y este habitual contenido de aire residual puede aumentar a 4% por volumen en hormigón si aumenta el contenido de agregado fino.

Diferentes tipos de vacíos

- vacíos de compactación
- vacíos capilares abiertos y cerrados
- vacíos de gel
- vacíos de aire artificialmente incorporado para mejorar la resistencia a la escarcha y al congelamiento/deshielo

El contenido de vacíos de aire en el hormigón o mezcla pueden mejorar artificialmente con la incorporación intencional de aire (estabilizado). Los productos para la incorporación artificial de aire son:

- **SikaAer®**
Crea vacíos artificiales para la producción del hormigón liviano
- **Sika® Poro PLus**
Para crear gran número de vacíos en el hormigón liviano:

Para la determinación de contenido de vacíos de aire de acuerdo con EN 12350-6 véase la sección 4.2.7 (pág. 88).

4.1.9 BOMBEABILIDAD

La bombeabilidad del hormigón depende básicamente de la composición de la mezcla, los áridos utilizados y el transporte y entrega.

En lo que se refiere a la entrega y colocación de hormigón bombeado, pueden obtenerse una reducción significativa en las presiones de bombeado y un aumento en la producción con el agregado sistemático de agentes de bombeo, especialmente para utilizarlos con áridos triturados, materias primas secundarias, áridos de alta absorción, etc.

Los ajustes en el diseño de la mezcla (sección 3.2.1, pág. 37) y el uso de un agente de bombeo como el **SikaPump**® pueden reducir la resistencia a la fricción en las paredes de los caños, proporcionando menores presiones de bombeo combinadas con una mayor salida y menor desgaste.

4.1.10 COHESIÓN

La cohesión es la homogeneidad de la mezcla para una dada consistencia. Es muy importante que el hormigón permanezca cohesivo sin segregación desde el mezclado hasta la terminación en los encofrados.

Formas de mejorar la cohesión

- Aumentar los finos (polvo + arena fina)
- Reducir el contenido de agua → utilización de superplastificantes → **Sikament**® */ **SikaViscocrete**® **
- Utilizar un estabilizador → **SikaStabilizer 100**
- Utilización de aire incorporado → **SikaAer**®

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

(**) ViskoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

4.1.11 TEMPERATURA DEL HORMIGÓN FRESCO

La temperatura del hormigón fresco no debe ser demasiado baja para que el hormigón gane suficiente resistencia rápidamente y no sufra daños a partir de la helada en forma temprana.

- La temperatura del hormigón fresco no debe caer debajo de +5% durante la colocación y la instalación.
- El hormigón recién colocado debe protegerse de la helada. La resistencia al congelamiento se logra a una resistencia a la compresión de aproximadamente 10 N/mm²
- Por otra parte, temperaturas de hormigón demasiado altas pueden causar problemas de colocación y la reducción de ciertas propiedades del hormigón endurecido. Para evitarlo, la temperatura del hormigón fresco no debe superar los 30°C durante la colocación y la instalación.

Precauciones a bajas temperaturas

→ Véase Hormigón de Baja Temperatura (sección 4.1.3, página 77)

Precauciones a altas temperaturas

→ Véase Hormigón de Alta Temperatura (sección 4.1.2, página 73)

4.1.12 RELACIÓN AGUA/CEMENTO

La relación agua/cemento (a/c) es la relación agua : peso del cemento en el hormigón fresco. Se calcula dividiendo el peso total de agua (A) por el peso del cemento agregado (C).

La ecuación para la relación agua/cemento es por lo tanto:

$$a/c = \frac{A}{C} \text{ ó } \frac{A}{C_{eq}} = \frac{A}{C + (K \times \text{adición tipo II})}$$

El contenido efectivo de agua se calcula a partir de la diferencia entre la cantidad total de agua A_0 del hormigón fresco y la cantidad de agua absorbida en los áridos (AG_1 determinada de acuerdo con EN 1097-6).

La ecuación para la relación agua/cemento es por lo tanto

$$a/c = \frac{A_0 - A_G}{C}$$

La relación a/c requerida se ve particularmente afectada por los áridos usados, materiales redondos o triturados y su composición.

La elección de la relación a/c se determina principalmente por las acciones del entorno (nuevas clases de exposiciones) de acuerdo con EN 206-1:2000

4.2 ENSAYOS DEL HORMIGÓN FRESCO



4.2.1 TRABAJABILIDAD

La trabajabilidad del hormigón fresco es la facilidad del mezclado, transporte, colocación, compactación y terminación del mismo con mínima segregación. Se mide mediante ensayos de consistencia que indican si el hormigón es más o menos fluido.

La norma EN 206-1 divide la consistencia entre 4 y 6 clases, de acuerdo con el método de ensayo. Pueden utilizarse para especificar y ensayar consistencias desde rígidas hasta casi líquidas (véase la sección 2.3, Clasificación por consistencia, página 25).

Los ensayos de consistencia se utilizan para el monitoreo regular del hormigón fresco. La frecuencia de ensayo debe basarse en la importancia de la estructura y de esta manera adecuarse para obtener continuamente una calidad de hormigón dada.

Los capítulos 8 a 10 de EN 206-1 proporcionan información detallada de estos controles de conformidad.

4.2.2 MUESTREO

Las muestras para los ensayos subsiguientes de hormigón fresco se encuentran en:

Norma EN 12350-1 para muestras compuestas y aleatorias

Muestras compuestas

Cantidad de hormigón que proviene de la integración de una cantidad de muestras individuales que se toman en forma uniforme en torno a una mezcladora o masa de hormigón.

- Muestras aleatorias
Son muestras individuales que se originan en una parte de la mezcladora o de la masa de hormigón y luego se integran totalmente.
- Muestras individuales
Muestras que se toman en un punto apropiado y luego se integran.

La decisión de tomar o no muestras aleatorias o compuestas depende de su propósito. La cantidad de muestras totales debe representar por lo menos 1.5 veces la cantidad de hormigón requerida para ensayos (una carretilla de 60 litros de capacidad resulta generalmente suficiente).

4.2.3 ENSAYO DE CONSISTENCIA POR MEDIO DEL ENSAYO DE ASENTAMIENTO

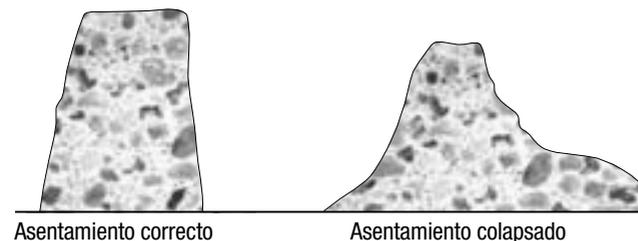
Principio:

El hormigón fresco se coloca en un molde hueco con forma de tronco de cono y se compacta. Cuando se eleva el molde, el asentamiento da una medida de la consistencia del hormigón. El asentamiento es la diferencia en mm entre la altura del molde y la altura del hormigón fresco que queda luego de deformarse cuando se retira el molde.

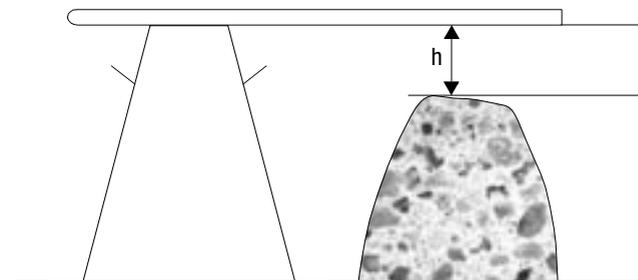
Norma: EN 12350-2

Todo el proceso desde el comienzo del vertido hasta retirar el molde debe llevarse a cabo en 150 segundos. El ensayo sólo es válido si el resultado es un asentamiento residual en el cual el hormigón permanece intacto y simétrico luego de retirar el molde, es decir, el hormigón se mantiene erguido en forma de tronco de cono (o a semejanza del mismo). Si el hormigón colapsa (véase -Formas de asentamiento- página 85), se debe obtener otra muestra. Si la muestra colapsa en dos ensayos consecutivos, el hormigón no tiene la plasticidad y la cohesión requeridas para el ensayo de asentamiento.

Formas de asentamiento



Medición de asentamiento



Tipos de asentamiento: Véase la sección 2.3, Clasificación de consistencia, pág. 25

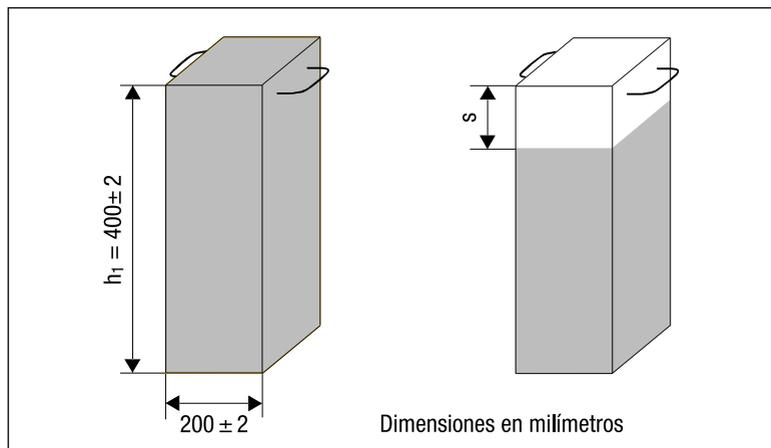
4.2.4 ENSAYO DE CONSISTENCIA POR GRADO DE COMPACTIBILIDAD

Principio:

El hormigón fresco se coloca cuidadosamente en el contenedor de acero del ensayo. Se debe evitar la compactación. Cuando el contenedor está lleno hasta el borde, el hormigón se alisa al ras sin vibración. Luego se compacta, por ej., con un vibrador de aguja (máx. diámetro de aguja 50 mm). Luego de la compactación, se mide la distancia entre la superficie del hormigón y la parte superior del contenedor. Para establecer dicha distancia se promedian las medidas tomadas al centro de los cuatro lados.

Norma EN 12350-4

Dimensiones del contenedor	Placa de base	200 x 200 mm	(± 2)
	Altura	400 mm	(± 2)



Hormigón en el contenedor antes de la compactación

Hormigón en el contenedor luego de la compactación

Grado de compactabilidad: $c = \frac{h_1}{h_1 - s}$ (adimensional)

Grado de clases de compactabilidad: véase la sección 2.3, Clasificación por consistencia, página 25.

4.2.5 ENSAYO DE CONSISTENCIA POR DIÁMETRO DE FLUIDEZ

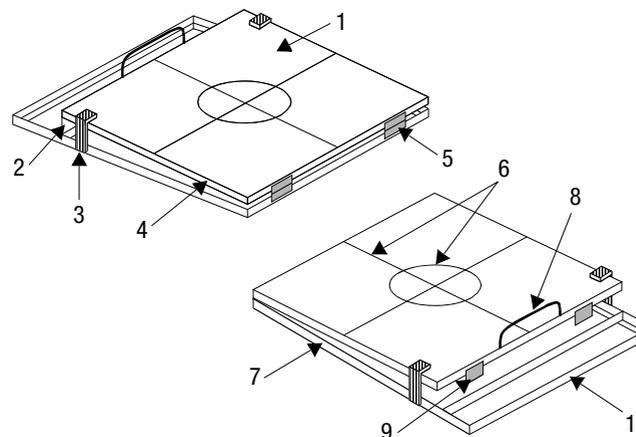
Principio:

Este ensayo determina la consistencia del hormigón fresco midiendo el extendido del hormigón en una placa horizontal plana. El hormigón fresco primero se vierte en un molde con forma de tronco de cono (en dos capas), se compacta y se alisa al borde del molde. El molde luego se retira cuidadosamente en forma vertical hacia arriba. Al final de la caída de algo de hormigón, la placa se eleva manual o mecánicamente 15 veces en 15 segundos hasta el tope superior y luego se deja caer hasta el tope inferior. La fluidez se mide en forma paralela a los lados de la placa plana, mediante una cruz central.

Norma EN 12350-5

Clases de diámetro de fluidez: véase la sección 2.3, clasificación por consistencia, página 25

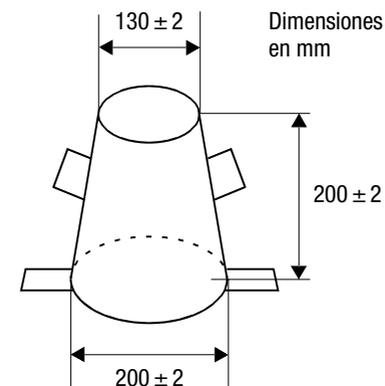
Pág. 88



- 1 Placa de metal
- 2 Altura de elevación en mm (limitado a 40 ± 1)
- 3 Tope superior
- 4 Placa de impacto
- 5 Bisagras (exterior)

- 6 Marca
- 7 Marco
- 8 Manija
- 9 Tope inferior
- 10 Base

Molde de acero espesor mínimo de chapa 1,5 mm



4.2.6 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL HORMIGÓN FRESCO

Principio:

El hormigón fresco se compacta en un contenedor rígido, hermético y luego es pesado.

Norma EN 12360-6

Las dimensiones mínimas del contenedor deben ser por lo menos cuatro veces el tamaño nominal máximo del agregado grueso del hormigón, pero no menor de 150 mm. La capacidad del contenedor debe ser por lo menos de 5 litros. El borde superior y la base deben ser paralelos.

(Los recipientes de ensayo para medir aire incorporado con capacidad de 8 litros también resultan adecuados)

El hormigón se compacta mecánicamente con una aguja o mesa vibradora, o manualmente con una barra o pisón y algunos golpes externos al recipiente con martillo de goma.

4.2.7 DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE AIRE INCORPORADO

Hay dos métodos de ensayo que utilizan equipos que operan de acuerdo con el mismo principio (Ley de Boyle-Mariotte): son el método de la columna de agua y el método de compensación de presión. La descripción que sigue es para el **método de compensación de presión**, pues es el que más se utiliza.

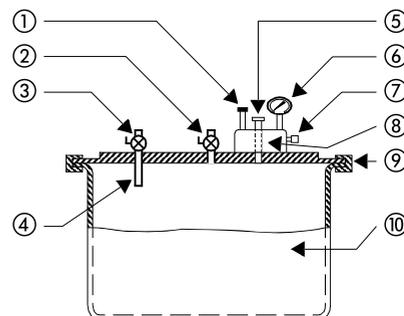
Principio:

Un volumen conocido de aire a una presión conocida se compensa con un volumen desconocido de aire en una muestra de hormigón en una cámara fuertemente sellada. La graduación de la escala de un manómetro para la presión resultante se calibra de acuerdo con el porcentaje de contenido de aire en la muestra de hormigón.

Norma EN 12360-7

Diagrama de un instrumento de ensayo para el método de compensación de presión.

- 1 Bomba
- 2 Válvula B
- 3 Válvula A
- 4 Tubos de expansión para verificaciones durante la calibración
- 5 Válvula de aire principal
- 6 Manómetro
- 7 Válvula para salida de aire
- 8 Espacio de aire
- 9 Sello de abrazadera
- 10 Contenedor



Los contenedores para ensayo de contenido de aire en el hormigón estándar normalmente tienen una capacidad de 8 litros. La compactación puede desarrollarse con un vibrador de aguja o una mesa. Si se usan vibradores de aguja, asegúrese que el aire incorporado no se escape debido a una vibración excesiva.

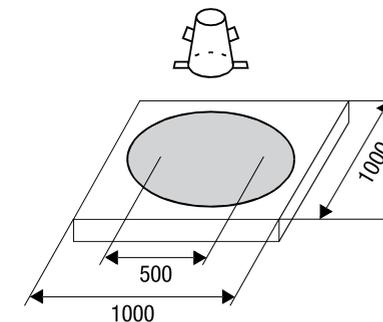
Ninguno de estos métodos es adecuado para el hormigón que se produce con agregados livianos, escoria de alto horno enfriadas a aire o agregados altamente porosos.

4.2.8 OTROS MÉTODOS DE ENSAYO DE LA CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN FRESCO

Ultimamente se han desarrollado otros métodos de ensayo diferentes de los descritos anteriormente, especialmente para el hormigón autocompactante. Han proporcionado muy buenos resultados en la práctica. Los métodos de ensayo que se usan comúnmente se encuentran a continuación.

Método de extendido

Es una combinación de asentamiento (se utiliza el mismo molde) y diámetro de fluidez. El tronco de cono de asentamiento se llena sin completar con hormigón sobre la placa de fluidez, se nivela y luego se levanta lentamente. La medición usual es el tiempo en segundos que lleva alcanzar un diámetro de fluidez de 50 cm. También el máximo de diámetro de fluidez al final de su movimiento.



Un método alternativo que podemos encontrar en algunas ocasiones es invertir el cono de asentamiento. Esto facilita el trabajo ya que el molde no tiene que ser sostenido tan firmemente durante el vertido.

Este método es adecuado para uso en obra y en el laboratorio.

Se pueden agregar mayores obstáculos colocando un anillo de acero dentado para simular el comportamiento del escurrimiento en torno a las armaduras (J-Ring).

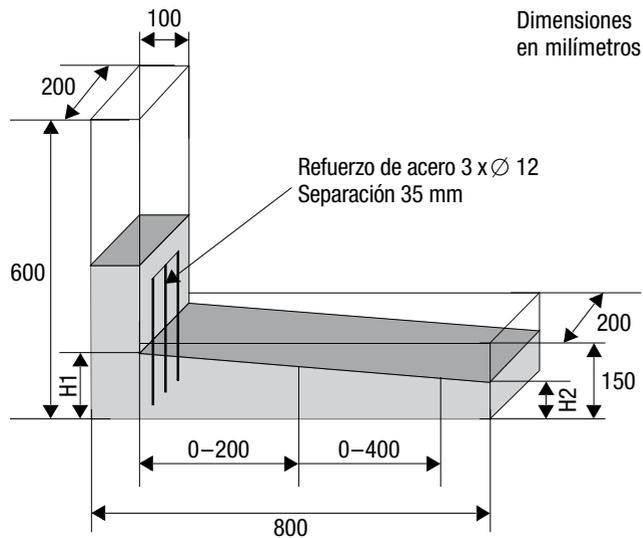
La caja L ('L-box')

L Box es un ensayo que permite evaluar conjuntamente la capacidad de llenado pasando de la rama vertical a la horizontal, la capacidad para sortear obstáculos, la resistencia a la segregación y la capacidad de autonivelación de la mezcla.

Se mide la diferencia de altura que existe entre los extremos de la rama horizontal: H1 y H2. Se aconseja que la relación H1/H2 sea mayor a 0.80.

Como complemento se mide el tiempo que tarda la mezcla en alcanzar 200 mm y 400 mm por la zona horizontal desde la compuerta de entrada T20 y T40. Estos valores se relacionan con la viscosidad plástica de la mezcla, similar al T50 del ensayo anterior.

5 HORMIGÓN ENDURECIDO



Dimensiones en milímetros

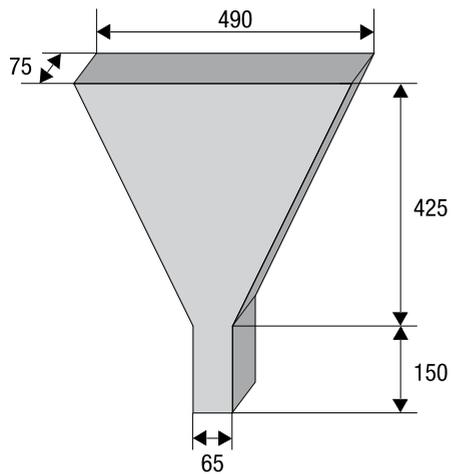
Refuerzo de acero 3 x Ø 12
Separación 35 mm

Los canales de descarga a menudo tienen acero reforzado en la salida.

Este método es adecuado tanto para el laboratorio como para obra.

El canal V

El hormigón se vierte con la salida cerrada en la base. Luego, la salida se abre y se mide el tiempo de descarga, por ej., hasta la primera interrupción en el flujo.



Dimensiones en mm.

Este método es más adecuado para el laboratorio que para obra pues el cono normalmente se fija en un pedestal.

5.1 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

5.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CLASES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ACUERDO CON EN 206-1. VÉASE SECCIÓN 2.4 (PÁG. 26)

Una propiedad importante del hormigón endurecido es la resistencia a la compresión. Se determina por el ensayo de compresión en muestras especialmente producidas (cubos o cilindros) o testigos de una estructura.

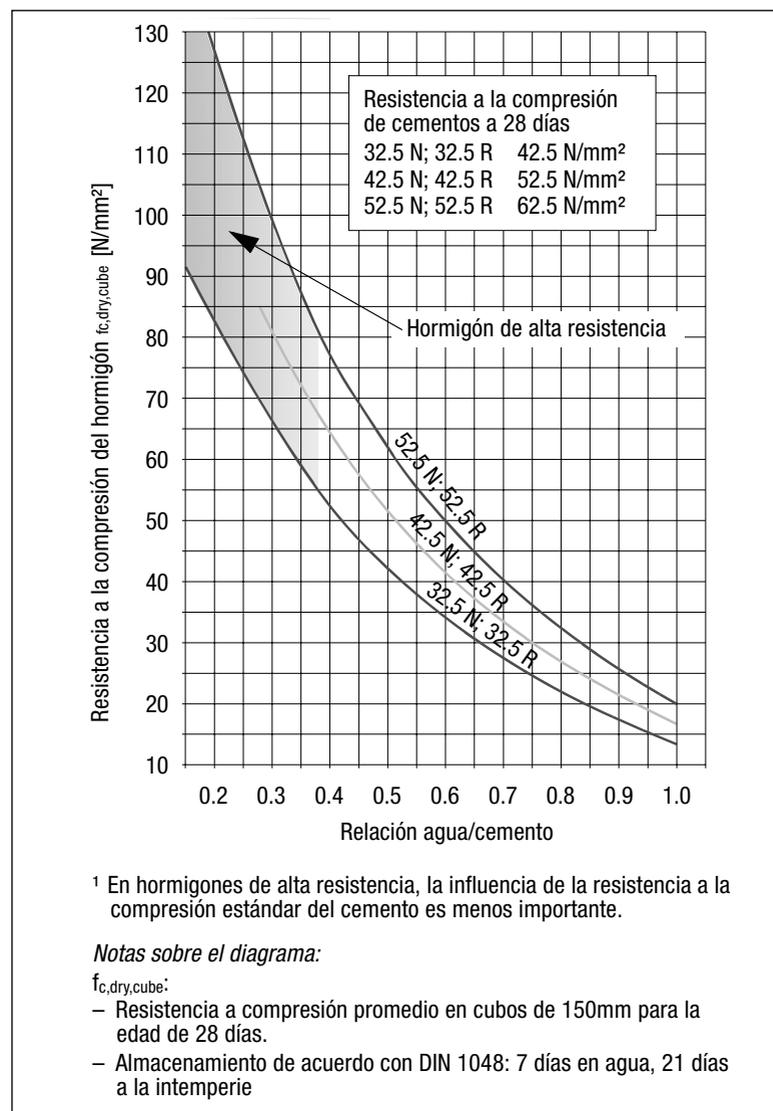
Los principales factores que influyen en la resistencia a la compresión son el tipo de cemento, la relación agua/cemento y el grado de hidratación que se ve principalmente afectado por el método y tiempo de curado.

La resistencia del hormigón resulta asociada por lo tanto a la resistencia del cemento hidratado, la resistencia de los áridos, la adherencia de los dos componentes y el curado. Los valores guías para el desarrollo de la resistencia a la compresión se encuentran en las tablas que siguen.

Desarrollo de la resistencia del hormigón (valores guía¹)

Clase de resistencia del cemento	Almacenamiento continuo a	3 días N/mm ²	7 días N/mm ²	28 días N/mm ²	90 días N/mm ²	180 días N/mm ²
32.5N	+20°C	30...40	50...65	100	110...125	115...130
	+5°C	10...20	20...40	60...75		
32.5R; 42.5N	+20°C	50...60	65...80	100	105...115	110...120
	+5°C	20...40	40...60	75...90		
42.5R; 52.5N	+20°C	70...80	80...90	100	100...105	105...110
	+5°C	40...60	60...80	90...105		

¹ La resistencia a la compresión a la edad de 28 días a una temperatura de almacenamiento continua de 20°C corresponde al 100% - $1\text{N/mm}^2 = 1\text{MP}_2 = 10.2\text{ kg/cm}^2$



Efectos del curado en la resistencia a la compresión, véase capítulo 8 (pág. 134)

5.1.2 HORMIGÓN CON ALTA RESISTENCIA TEMPRANA

La alta resistencia temprana es la resistencia a la compresión del hormigón en las primeras 24 horas luego de la producción.

Hormigón de alta resistencia temprana para estructuras premoldeadas

La alta resistencia temprana a menudo es muy importante para las estructuras premoldeadas.

Alta resistencia temprana significa

- Desenformado temprano
- Rápida rotación del encofrado
- Manipulación temprana de las estructuras premoldeadas
- Mayor economía de uso del cemento
- Menos energía de calor, etc.

Mayor resistencia temprana en el hormigón elaborado

Aquí participan requerimientos completamente opuestos. Por una parte, se necesita un mayor tiempo de trabajo (para transporte/colocación) pero por la otra se requiere una resistencia temprana luego de 6 horas. Estos requerimientos solamente pueden cumplirse utilizando modernos superplastificantes, aceleradores de endurecimiento y mezclas especialmente adaptadas.

Usos del hormigón elaborado de alta resistencia temprana

Para aplicaciones del hormigón elaborado cuando se requiere alta resistencia inicial, incluyendo:

- Menores tiempos de desenformado, especialmente en invierno
- Aplicación de cargas a temprana edad para liberar al tránsito. Túneles.
- Encofrados deslizantes
- Terminación temprana (por ej., hormigón granolítico durante el Invierno)
- Medidas de protección reducidas en época invernal

Parámetros que influyen en el hormigón de alta resistencia temprana

El desarrollo de la resistencia y la consistencia dependen de los siguientes parámetros:

- Tipo y contenido de cemento
- Temperatura del hormigón, del ambiente y del sustrato
- Relación agua/cemento
- Dimensiones de los elementos
- Curado
- Composición de los áridos
- Aditivos químicos para el hormigón

Uso de productos Sika

Productos	5°C h: N/mm ²	10°C h: N/mm ²	20°C h: N/mm ²	30°C h: N/mm ²
Hormigón base	CEM: 350 -- 18 h: 0 24h: 2 48h: 10	CEM: 350 -- 12 h: 0 18 h: 3 24h: 14	CEM: 325 -- 9 h: 2 12 h: 5 18 h: 17	CEM: 325 -- 6 h: 5 9 h: 9 12 h: 13
Sika® Friolite® OC Compuesto anticongelante	CEM: 350 Dos: 1% 18 h: 1 24h: 3 48h: 12	CEM: 325 Dos: 1% 12 h: 2 18 h: 5 24h: 16	CEM: 325 Dos: 1% 9 h: 3 12 h: 6 18 h: 18	
SikaRapid® C-100 Acelerador de endurecido	CEM: 350 Dos: 1% 18 h: 1 24h: 4 48h: 16	CEM: 325 Dos: 1% 12 h: 3 18 h: 7 24h: 15	CEM: 325 Dos: 1% 9 h: 4 12 h: 10 18 h: 23	CEM: 300 Dos: 1% 6 h: 12 9 h: 16 12h: 20
Sika® Viscocrete® 20 HE Superplastificante con alta resistencia temprana			CEM: 325 Dos: 0.4 % 24 h: 27	CEM: 325 Dos: 0.8% 24 h: 34

Ensayos de resistencia

Para obtener datos confiables sobre el desarrollo de la resistencia temprana en la estructura, las muestras deben producirse con gran cuidado. Se recomienda:

- Preferentemente, producción de muestras con formas y dimensiones que combinan con la estructura y testigos extraídos poco antes del ensayo.
- O la producción de muestras con las mismas condiciones de almacenamiento. Es importante considerar que las resistencias tempranas son mucho más bajas en las probetas debido a las pequeñas dimensiones
- Las máquinas especiales de impacto de péndulo pueden también utilizarse para probar la estructura. No es apropiado ensayar la resistencia temprana con un martillo de rebote.

Composición del hormigón

Solamente es posible para otorgar información general ya que la mezcla exacta depende principalmente de los requerimientos específicos.

- **Tipo de cemento:** Utilizar CEM I 52.5 en lugar de CEM I 42.5. El humo de sílice acelera el desarrollo de la resistencia pero la ceniza volante la retarda.
- **Contenido de cemento:** Para tamaño máximo de partículas de 32 mm, aumentar el contenido de ligante de 300 a 325-350 kg/m³
- **Temperaturas del hormigón:** Si es posible aumentar las temperaturas para lograr resistencias especificadas más altas.

- **Curva granulométrica:** Seleccionar curvas con bajo contenido de finos, normalmente reduciendo el contenido de arena, para reducir el requerimiento de agua.
- **Relación a/c:** Reducir el contenido de agua con el superplastificante
- **Aceleración:** Acelerar el desarrollo de la resistencia con un acelerante de endurecido (**SikaRapid® C-100**) sin reducir las resistencias finales.
- **Curado:** Mantener el calor de hidratación en el hormigón protegiéndolo de pérdida de calor y secado.

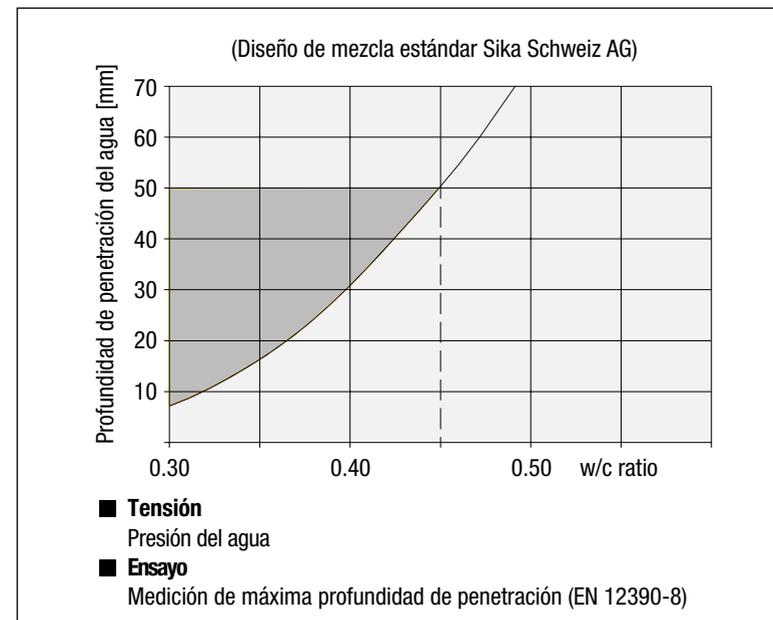
5.1.3 BAJA PERMEABILIDAD

La muy baja permeabilidad define la resistencia de la estructura de hormigón contra la penetración de agua.

La permeabilidad es la penetración del agua en el hormigón por acción de una presión exterior. Se encuentra asociada a la porosidad y por lo tanto a las características de la pasta de cemento humectada.

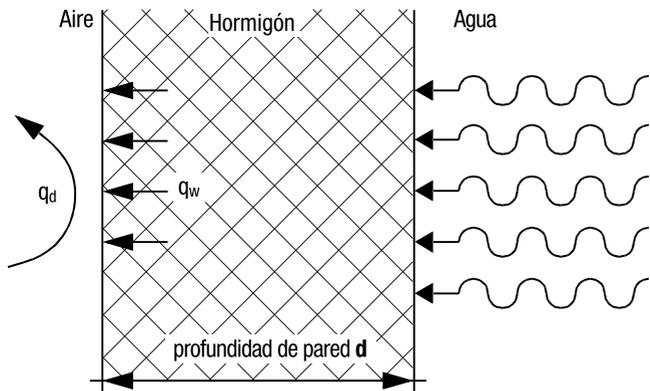
Definición de baja permeabilidad de acuerdo con EN 12390-8

- Max. penetración de agua en el hormigón ≤ 50 mm
- Requerimiento: Buena calidad de hormigón y la correcta solución para la construcción de juntas.



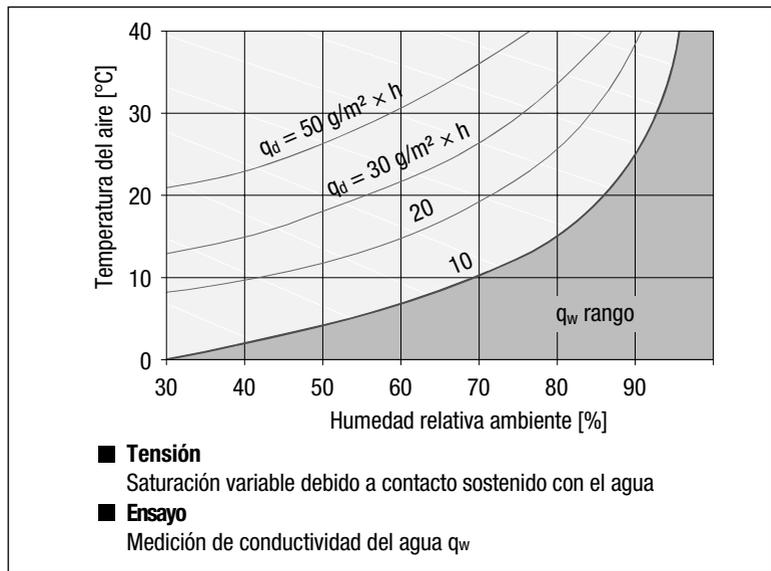
Definición de baja permeabilidad al agua

- Conductividad del agua $q_w <$ volumen de agua evaporable q_d

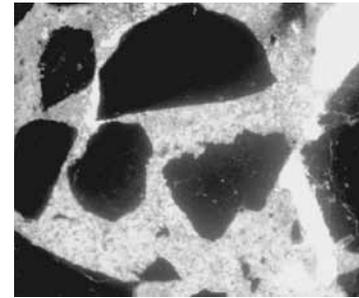


A mayor d , mejor comportamiento frente a la permeabilidad

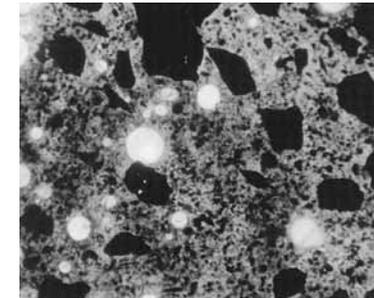
- Rango recomendado para estructuras cerradas al pasaje de agua: $q_w \leq 10 \text{ g/m}^2 \times \text{h}$



Reducción de vacíos capilares y cavidades por reducción de agua

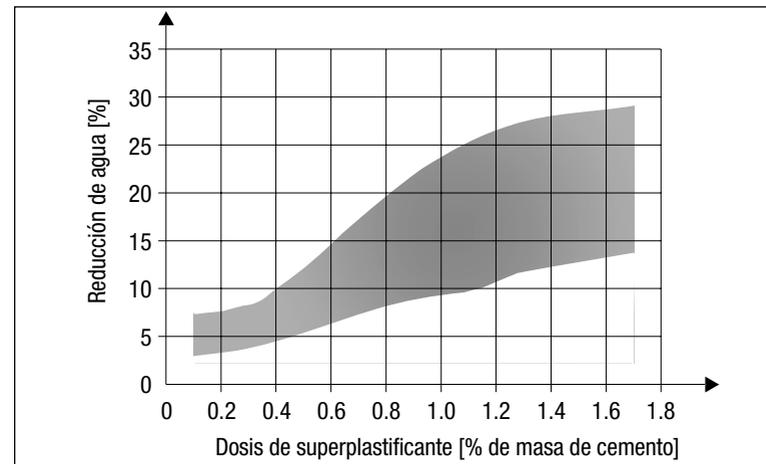


Alta relación a/c > 0.60
Grandes vacíos debido a la ausencia de arena fina y de finos



Baja relación a/c > 0.40
Matriz de cemento de muy baja permeabilidad

Reducción de agua en % con Sikament®*/Sika® ViscoCrete®**



La hidratación adecuada es de importancia primaria para el hormigón de baja permeabilidad. Por lo tanto, el curado correcto del hormigón es esencial (capítulo 8, página 134)

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.
 (**) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

5.1.4 RESISTENCIA A LAS HELADAS Y A LA CONGELACIÓN/DESHIELO

Tensión por frío

Se pueden esperar daños a las estructuras de hormigón como consecuencia de la helada cuando las estructuras son penetradas por la humedad y se exponen a ciclos frecuentes de congelación/deshielo. El daño al hormigón ocurre debido a la congelación cíclica y a la congelación del agua que se absorbió por succión capilar. Luego sigue la destrucción debido al aumento del volumen del agua [hielo] en las capas exteriores del hormigón.

Fundamentos para la resistencia a la helada

- Áridos a prueba de helada
- Estructura de baja permeabilidad de hormigón y/o
- Hormigón enriquecido con microporos
- Un curado completo y cuidadoso
- Alto grado de hidratación del hormigón (por ej., no es una buena idea colocar el hormigón inmediatamente antes de los periodos de helada)

Métodos de prueba

- Resistencia a la helada

Esto puede estimarse comparando los vacíos que se pueden llenar y los que no

Resistencia a la congelación/deshielo

Dado el uso extensivo de las sales para descongelar (generalmente cloruro de sodio NaCl, para disminuir el punto de congelamiento del agua en caminos e impedir la formación de hielo, etc.), la superficie de hormigón se enfría abruptamente debido a la extracción de calor del hormigón. Estas interacciones entre capas congeladas y no congeladas ocasionan una rotura estructural en el hormigón.

Condiciones para la resistencia a la congelación/deshielo

- Áridos a prueba de heladas
- Hormigón con estructura de baja permeabilidad enriquecido con microporos
- Un curado completo y cuidadoso
- Evitar enriquecer demasiado la superficie con mortero fino
- Hormigonar tan pronto como sea posible para que el hormigón adquiera suficiente resistencia antes de la primera sollicitación de tracción por acción de congelamiento y deshielo.

Métodos de ensayo de acuerdo con

- prEN 12390-9 (intemperización)

5.1.5 SUPERFICIE DE HORMIGÓN

En general los requerimientos de baja permeabilidad y apariencia de las superficies de hormigón varían significativamente. Para satisfacer estos requerimientos se necesita de una planificación y ejecución muy detallada. Es esencial obtener la menor permeabilidad para todos los requerimientos de durabilidad. El ataque siempre proviene desde el exterior al interior. Un exceso en la vibración o un curado inadecuado debilitan estas zonas. La apariencia de alta calidad ha llevado a la producción del llamado hormigón "visto".

Apariencia de las superficies de hormigón

Hormigón visto → sección 3.2.8 (Pág. 50)

Hormigón con agregados expuestos

El hormigón con agregados expuestos constituye un diseño de superficie muy conocido, por ej., para muros de retención, paneles de fachadas, elementos de jardín, etc.

La estructura del agregado se expone en la superficie por lavado del hormigón una y otra vez. Esto requiere retraso de fraguado en el hormigón de la superficie que debe ser efectivo en varios mm hacia el interior.

En este tipo de hormigón correctamente diseñado, las 2/3 partes del agregado están inmersas dentro de la matriz de cemento endurecida.

Uso de productos Sika

Nombre del producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® Rugasol® Range	Retardador de superficie	Para superficies con agregados de hormigón expuestos y juntas de construcción

Notas

- El máximo tamaño de partícula debe adaptarse a las dimensiones del elemento por razones relacionadas con la apariencia del diseño (por ej., 0-16 mm para unidades finas).
- El contenido de cemento 300 - 450 kg/m³ depende de la composición del árido (agregados finos → mas cemento)
- Relación agua/cemento 0.40 - 0.45
(→ agregar **Sikament®*** / **Sika® ViscoCrete®****)
- Generalmente aumentar el recubrimiento en 1 cm

De acuerdo con el concepto de Hormigón de muy baja permeabilidad de Sika, en el caso de juntas constructivas con agregado expuesto superficialmente, se aumenta considerablemente el circuito que debe seguir el agua para ingresar al hormigón, y así se disminuye la permeabilidad considerablemente.

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

(**) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

5.1.6 RETRACCIÓN O CONTRACCIÓN

Es la disminución del volumen del hormigón. Los cambios volumétricos o deformación por contracción siguen una secuencia de tiempo y están afectados en mayor medida por el comienzo del secado, las condiciones ambientales y la composición del hormigón.

La secuencia de tiempo se divide de la siguiente manera:

- La contracción química del hormigón nuevo se debe solamente a la diferencia de volumen entre los productos de reacción y los materiales de base. La contracción autogena afecta solamente a la matriz del cemento, no a los áridos.
- Contracción plástica del hormigón nuevo en la etapa inicial de fraguado y endurecido. El agua es extraída del hormigón luego del fraguado inicial por evaporación, lo que reduce el volumen y resulta en la contracción del hormigón en todas las direcciones. La deformación generalmente se detiene cuando el hormigón alcanza una resistencia a la compresión de 1 N/mm².

- Contracción por secado: contracción por el secado lento del hormigón endurecido, por ej., cuanto más rápido disminuye la cantidad de agua libre en la estructura, mayor es la contracción.

Influencias en el grado de contracción

- Planificación y especificación detalladas de las juntas de construcción y etapas de hormigonado
- Diseño de mezcla optimizado
- Mínimo contenido total de agua → usar **Sikament®*/Sika® ViscoCrete®****
- Aditivos químicos para la reducción de la contracción → **Sika® Control®-40** → reducción de la contracción luego de la hidratación inicial
- Prevenir la pérdida de agua humedeciendo previamente el encofrado y el sustrato
- Curado total cubriendo con hojas de plástico o mantas aislantes, cubiertas que retienen el agua (arpilleras, geotextil) o rociando con agente de curado líquido à **Sika® Antisol® Normalizado**

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

(**) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

Fase I	Fase II	Fase III
Contracción química	Contracción plástica	Contracción por secado
Recompac-tación	Impedir pérdida de agua	Reducción de la contracción mediante el curado
aprox. 4–6 horas	aprox. 1 N/mm ²	

5.1.7 RESISTENCIA A LOS SULFATOS

El agua que contiene sulfatos a veces aparece en el suelo o se disuelve en las napas freáticas y puede atacar el hormigón endurecido.

Proceso

Los sulfatos contenidos en el agua se combinan con el aluminato tricálcico (C₃A) aportados por el cemento para formar etringita (también taumasita bajo ciertas condiciones) que lleva a aumentos de volumen y a altas presiones internas en la estructura del hormigón, por lo que podrán aparecer fisuras y descascaramiento.

Medidas

- Estructura de hormigón con muy baja permeabilidad por ej., baja porosidad → uso de tecnología Sika Silicafume → **SikaFume®/Sikacrete® Plus**
- Baja relación agua/cemento → **Sikament®*/Sika® ViscoCrete®**** con un objetivo de a/c ≤ 0.45
- Uso de cemento con mínimo contenido de aluminato tricálcico (C₃A)
- Curado de acuerdo con la estructura

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

(**) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

Nota: Es importante aclarar los requerimientos específicos para cada proyecto. Los valores límites para la clasificación de los tipos de exposición de ataque químico proveniente del suelo y de las napas freáticas, véase Tabla 2.2.1 (pagina 22) en la sección 2.2 Acciones ambientales

Métodos de ensayo

ASTM C 1012

5.1.8 RESISTENCIA QUÍMICA

El hormigón puede ser atacado por contaminantes del agua, del suelo o gases (por ej., aire). También pueden aparecer peligros durante el servicio (en tanques, pisos industriales, etc.)

- Agua de superficie y napas freáticas, contaminantes dañinos del suelo, polución aérea y vegetal y sustancias animales que pueden atacar el hormigón químicamente
 - El ataque químico puede dividirse en dos tipos
 - Ataque por disolución: ocasionado por la acción de aguas blandas, ácidos, sales, bases, aceites y grasas, etc.
 - Ataque por esponjamiento: principalmente ocasionado por la acción de sulfatos solubles en el agua (esponjamiento del sulfato), véase sección 5.1.7 (página 100)
- Véase tabla en la página 22 en la sección 2.2 acciones ambientales

Medidas

- Estructura de hormigón con muy baja permeabilidad por ej., baja porosidad → uso de tecnología Sika Silicafume → **SikaFume®/Sikacrete® Plus**
- Baja relación agua/cemento → **Sikament®*/Sika® ViscoCrete®**** con un objetivo de a/c ≤ 0.45
- Aumentar el recubrimiento del hormigón en 10 mm como mínimo

El hormigón solamente tiene una resistencia adecuada contra los ácidos débiles.

Los ácidos de concentración media degradan el hormigón.

Por lo tanto, se debe especificar la protección del hormigón con una cubierta cuando existe la posibilidad de un ataque ácido altamente agresivo.

(*) Sikament® R | 90 E | AV 08 | S Plus | CR | 225 R | 235 E | 215 S | 33 S.

(**) ViscoCrete® 6 | 20 HE | 3085.

5.1.9 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

Exposición a la abrasión

Las superficies de hormigón están expuestas al desgaste por la rodadura del tránsito, desgaste por roce (patines/lantas) y/o tensión por impacto (tránsito pesado/caída de materiales). La matriz del cemento, los agregados y adherencia a la misma se ven afectados por este ataque que es inicialmente mecánico.

Condiciones para una mayor resistencia a la abrasión

La resistencia a la abrasión del cemento hidratado es menor que la de los agregados, especialmente con matrices cementíceas porosas (alto contenido de agua). Por lo tanto, a medida que decae la relación a/c, la porosidad del cemento hidratado también disminuye y la adherencia con los agregados mejora.

- $a/c \leq 0.45$ es ideal
- Disminuir la permeabilidad de la matriz del cemento hidratado, y aumentar la adherencia de los agregados. (**SikaFume® Sikacrete® Plus**)
- Seleccionar una buena curva granulométrica utilizando tamaños especiales, si resultara necesario. Implementar un curado cuidadoso
- Para aumentar la resistencia a la abrasión aún más, se deberán utilizar áridos especiales.

Composición del hormigón resistente a la abrasión/hormigón granolítico

Mezclas arena-mortero estándar	Tamaño de partícula	
Espesor de capa	30 mm	0 - 4 mm
Espesor de capa	30 - 100 mm	0 - 8 mm
Contenido de cemento	400 - 500 kg/m ³	

Si el espesor de capa excede los 50 mm, debería incorporarse una malla liviana de refuerzo (min 100 x 100 x 4 x 4 mm)

Adhesión al sustrato y terminación

- Antes de la colocación del hormigón de recubrimiento es conveniente preparar el sustrato, cepillando la superficie, limpiando, prehumedeciendo y aplicando una capa de adherencia antes del colado.

Curado

Con **Sika® Antisol® Normalizado** (retirar luego mecánicamente, por ej., con cepillo de acero o chorro de presión si lo que sigue es un recubrimiento), proteger con cubiertas para contribuir al curado, preferentemente durante varios días.

5.1.10 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

El hormigón se usa básicamente para resistir esfuerzos que lo solicitan a compresión y las fuerzas a la tracción se absorben con barras de refuerzo. El hormigón en sí tiene una cierta capacidad resistente a la a la tracción y a la flexión, y esto depende en gran medida de la mezcla. El factor crítico es la adherencia entre los agregados y el cemento hidratado. El hormigón tiene una resistencia a la flexión de aproximadamente 2 N/mm² a 7 N/mm².

Influencias en la resistencia a la flexión

Aumento de resistencia a la flexión

- A medida que aumenta la resistencia a la compresión estándar del cemento (CEM 32.5; CEM 42.5; CEM 52.5)
- A medida que disminuye la relación agua/cemento
- Por el uso de áridos angulares y triturados

Aplicaciones

- Hormigón reforzado con fibras de acero
- Hormigón para pistas de aterrizaje
- Hormigón para estructuras tipo cáscara

Métodos de ensayo

- EN 12390-5, véase sección 5.2.5 (página 109)

5.1.11 DESARROLLO DEL CALOR DE HIDRATACIÓN

Cuando se mezcla con agua, el cemento comienza a reaccionar químicamente. Esto se llama hidratación del cemento.

El proceso químico de endurecimiento es la base de la formación de la pasta de cemento endurecida y por lo tanto del hormigón. La reacción química con el agua de mezclado produce nuevos compuestos a partir de los materiales del clinker → hidratación.

Observando en un microscopio electrónico aparecen tres fases distintas del proceso de hidratación que son fuertemente exotérmicas, es decir que la energía se libera en forma de calor.

Fase I de hidratación

Generalmente entre 4 y 6 horas luego de la producción

El yeso de la pasta de cemento plástica se une al aluminato tricálcico (C₃A) para formar el trisulfato (etringita), una capa insoluble en agua que inicialmente inhibe el proceso de conversión de los otros componentes. El agregado de yeso de 2-5% tiene por lo tanto un efecto retardador. Las largas "agujas" que se crean en esta fase unen las partículas de cemento separadas y de esta manera el hormigón se endurece.

Fase II de hidratación

Generalmente entre 4 y 6 horas luego de la producción y hasta la edad de un día

Luego de algunas horas aparece el comienzo de la fuerte hidratación de los materiales clinker, especialmente el silicato tricálcico (C₃S) con la formación de cristales entrelazados con largas fibras de silicato de calcio que luego consolidan la estructura.

Fase III de hidratación

A partir de un día

La estructura y la microestructura de la matriz de cemento están inicialmente abiertas. A medida que avanza el proceso de hidratación, los intersticios se llenan con otros productos de hidratación y la resistencia aumenta.

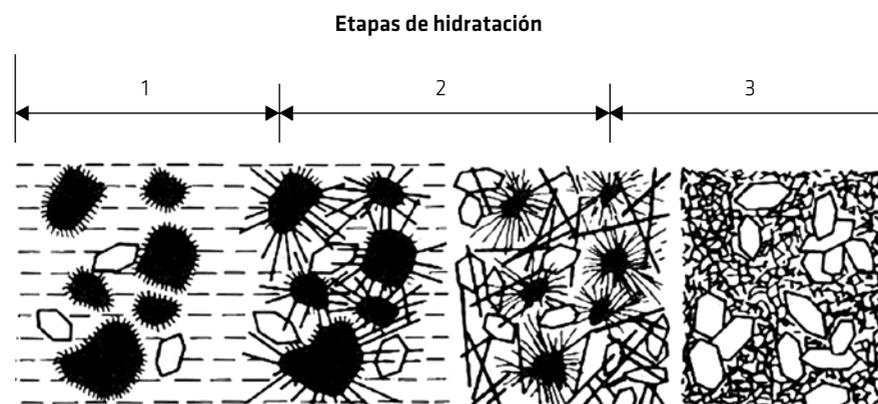


Ilustración de las fases de hidratación y desarrollo estructural durante la hidratación del cemento

5.1.12 REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO

La reacción de álcali-agregado (siglas en inglés AAR) se refiere a las reacciones de la solución en los poros del hormigón con algunos agregados. Producen un gel de sílice que se hincha debido a la absorción de agua y ocasiona fisuras o descascaramiento en el hormigón.

La forma y velocidad de la reacción varía de acuerdo con el tipo de agregado.

- Reacción álcali-sílice (siglas en inglés ASR) con agregados volcánicos
- Reacción álcali-carbonatos (siglas en inglés ACR) con áridos de piedra caliza
- Reacción álcali-silicato en agregados cristalinos

Reacción Alcali-Agregados

Existe el riesgo de esta reacción cuando se utilizan agregados sensibles al álcali. El problema obviamente puede superarse si no se utilizan estos áridos, pero esta medida generalmente resulta impracticable por razones económicas y ecológicas. Al utilizar cementos adecuados y tecnología de hormigón de alto desempeño, esta reacción puede impedirse o por lo menos minimizarse.

Los mecanismos precisos que participan continúan analizándose intensamente y en gran detalle. A grandes rasgos, los iones de álcali penetran los agregados con la absorción de agua y generan una presión interna que causa fisuras y estallido del agregado y luego en la matriz del cemento destruyendo el hormigón. Esto puede describirse en términos simples como una presión o efecto explosivo. Su duración e intensidad dependen de la reactividad del cemento, el tipo y porosidad del agregado, la porosidad del hormigón, humedad y temperatura del medio que rodea al hormigón y las medidas preventivas adoptadas.

Las medidas son:

- Reemplazo parcial del cemento Pórtland por escoria u otras adiciones (Silikafume/cenizas volantes) con bajo Na_2O equivalente
- Análisis de las reacciones potenciales AAR/ASA del agregado y su clasificación (análisis petrográficos/ensayo de barras/ensayo de desempeño, etc.)
- Reemplazo total o parcial de los áridos (mezcla de agregados disponibles)
- Impedir o disminuir el acceso de humedad al hormigón (sellar/redireccionar)
- Diseño de refuerzos para una buena distribución de las fisuras del hormigón (por ej., solamente fisuras muy finas)
- Diseño de hormigón muy baja permeabilidad para minimizar la penetración de la humedad

5.2 ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO



Los ensayos para el hormigón endurecido se regulan en las normas EN 12390

5.2.1 REQUERIMIENTOS PARA PROBETAS Y MOLDES

Norma: EN 12390-1

Términos de esta norma:

- Tamaño nominal

El tamaño común de una muestra

- Tamaño especificado

El tamaño de la muestra en mm seleccionada a partir del rango permitido de tamaños nominales en la norma, y utilizada como base del análisis.

Tamaños nominales permitidos disponibles para uso (en mm)

Cubos ¹	Long. al borde	100	150	200	250	300	
Cilindros ²	Diámetro	100	113 ³	150	200	250	300
Prismas ^{1,4}	Long. al borde de la cara	100		150	200	250	300

¹ Los tamaños especificados no deben diferir de los tamaños nominales

² Los tamaños especificados deben estar dentro de 10% del valor nominal

³ Esto le da un área de transferencia de carga de 10.000 mm²

⁴ La longitud de los prismas deben estar entre $L \geq 3.5 d$

Tolerancias permitidas por muestra

Tolerancia permitida	Cubos	Cilindros	Prismas
Tamaño especificado	± 0.5%	± 0.5%	± 0.5%
Tamaño especificado entre el área superior y la inferior (base)	± 1.0%		± 1.0%
Equidad de áreas de transferencia de carga	± 0.0006 d en mm	± 0.0006 d en mm	
Cuadrado de los lados en relación al área de base	± 0.5 mm	± 0.5 mm	± 0.5 mm
Altura		± 0.5%	
Tolerancia a la rectitud permitida para la línea de cuerpo de los cilindros usados para los ensayos de tracción		± 0.2 mm	
Rectitud del área de los soportes para ensayos de flexión			± 0.2 mm
Rectitud de área de transferencia de carga para ensayos de tracción			± 0.2 mm

Moldes

Los moldes deben ser impermeables y no absorbentes. Las uniones deben ser selladas con material adecuado.

Moldes calibrados

Como material de referencia deben ser de acero o hierro fundido. Si se utilizan otros materiales, su confrontabilidad en el largo plazo con los moldes de acero o el hierro deberá probarse. Las tolerancias dimensionales permitidas para moldes calibrados son más estrictas que las definidas anteriormente para los moldes estándar.

5.2.2 PREPARACIÓN Y CURADO DE LAS MUESTRAS*

* **Nota:** Se recomienda la aplicación de esta norma a todos los ensayos comparativos de hormigón que no sean solamente los ensayos de resistencia.

Norma EN 12390-2

Notas para preparar las muestras

- Accesorio para vertido
Verter en los moldes puede ser más fácil con una extensión, pero su uso es opcional
- Compactación
Vibradores a aguja con una frecuencia mínima de 120 Hz (7200 oscilaciones por minuto) (diámetro de aguja $\leq \frac{1}{4}$ de la dimensión menor de la muestra)

O bien,

Mesa vibradora con una frecuencia mínima de 40 Hz (2400 oscilaciones por minuto)

O bien,

Barra pisón de sección circular de acero E 16 mm, longitud aproximada 600 mm, con aristas redondeadas.

O bien,

Varilla compactadora de acero, cuadrada o circular, aproximadamente 25 x 25 mm, longitud aproximada 380 mm

■ Agentes desencofrantes

Deben usarse para impedir que el hormigón se pegue al molde.

Notas sobre el vertido

Las muestras deben ser vertidas y compactadas en dos capas como mínimo, pero tales capas no deben tener un espesor mayor a 100mm.

Notas sobre la compactación

Cuando se compacta por vibración, se comprueba que se completó la misma si ya no aparecen grandes burbujas de aire en la superficie y ésta tiene una apariencia suave y brillante. Evite la vibración excesiva (¡libere el aire!).

Compactación manual con varilla: La cantidad de impactos por capa depende de la consistencia, pero debe haber por lo menos 25 impactos por capa.

Identificación de muestras

Es importante rotular las muestras desmoldadas en forma clara y durable, especialmente si serán conservadas durante un periodo de tiempo prolongado.

Acondicionamiento de las muestras

Las muestras deben permanecer en el molde a una temperatura de 20 (± 2) °C ó a 25 (± 5) °C en países con clima cálido durante por lo menos 16 horas pero no más de 3 días. Deben estar protegidas del shock físico y climático y del secado.

Luego del desmolde, las muestras deben acondicionarse hasta que comience el ensayo a una temperatura de 20 (± 2) °C sea en agua o en una cámara húmeda y con humedad relativa ambiente $\geq 95\%$. (En caso de conflicto, el método de referencia es el acondicionamiento en agua)

5.2.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS

Norma EN 12390-3

Equipo de ensayo: Máquina para ensayos de compresión de acuerdo con EN 12390-4

Requerimientos de las muestras

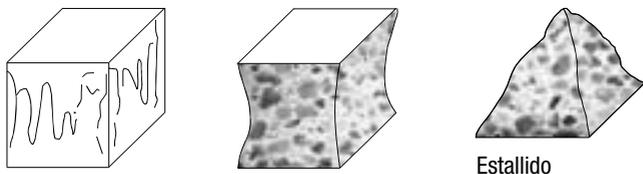
Las muestras deben ser cubos o prismas. Deben cumplir con los requerimientos de precisión dimensional en EN 12390-1. Si las tolerancias se exceden, las muestras deben separarse, adaptarse o analizarse de acuerdo con el Anexo B (normativa).

El anexo B proporciona los detalles de cómo determinar las dimensiones geométricas. Uno de los métodos descritos en el Anexo A (normativa) se utiliza para la adaptación (corte, amolado o aplicación de material de relleno).

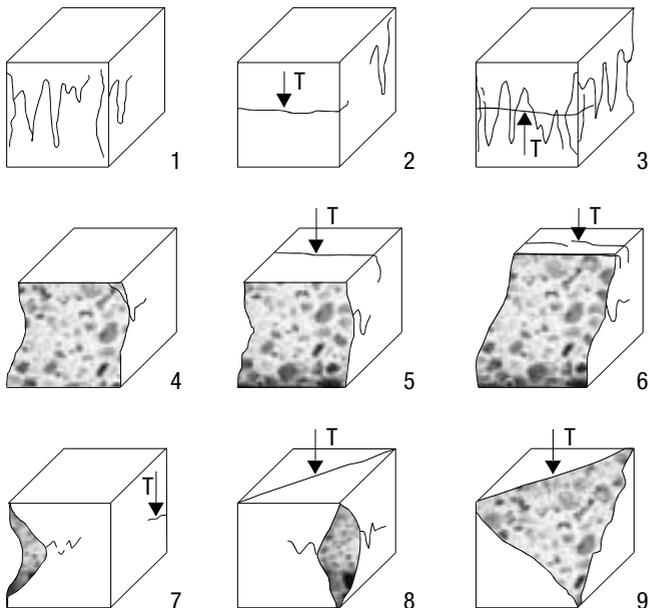
Las muestras cúbicas deben ensayarse en sentido perpendicular a la dirección de vertido (en el momento en que se moldearon los cubos).

Al final del ensayo, el tipo de rotura es lo que se debe evaluar. Si es inusual, debe registrarse juntamente con el número de tipo.

Patrones estándar de rotura (ilustraciones de la norma)



Patrones inusuales de rotura en cubos (ilustraciones de la norma)



T = Fisura por tracción

5.2.4 ESPECIFICACIONES PARA LAS MÁQUINAS DE ENSAYO

Norma EN 12390-4

Esta norma consta principalmente de datos mecánicos: platos de presión/mediciones de fuerza/regulación de fuerza/transmisión de fuerza.

Para información más detallada, véase la norma.

Principio

La muestra para el ensayo se coloca entre un plato superior móvil de presión (esférico) y un plato de presión inferior, y se aplica una fuerza de compresión axial hasta que ocurre la rotura.

Notas importantes

Las muestras sujetas a ensayo deben alinearse correctamente en relación con el plano de tensión. El plato inferior de presión debe equiparse por lo tanto con ranuras centralizadoras, por ejemplo. La máquina de ensayo de compresión debe estar calibrada luego del armado inicial (o luego de desmantelar y volver a ensamblar) como parte del monitoreo del equipo de ensayo (bajo el sistema de aseguramiento de la calidad) o por lo menos una vez al año. Puede también ser necesario luego del reemplazo de una parte de la máquina que afecta a las características del ensayo.

5.2.5 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE LAS PROBETAS

Norma EN 12390-5

Principio

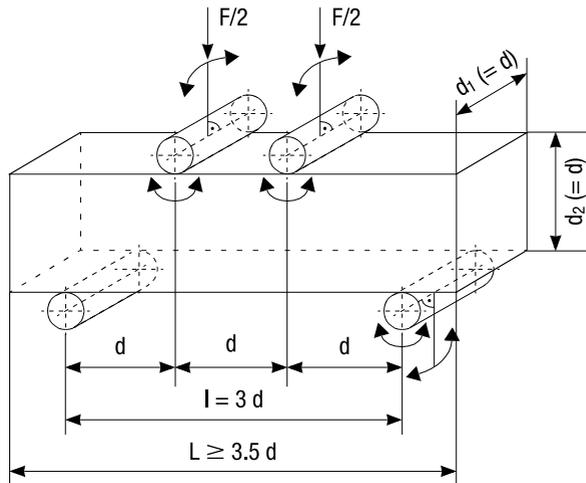
Los rodillos superiores e inferiores inducen a un momento flector a las probetas prismáticas.

- Dimensiones del prisma
Ancho = altura = d
Longitud $\geq 3.5 d$

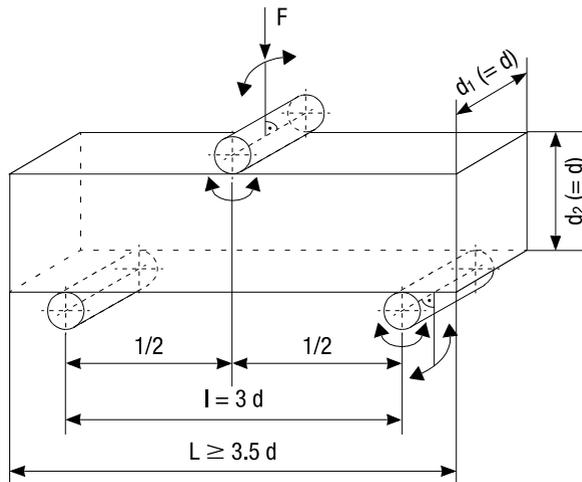
Se utilizan dos métodos de ensayo

- Aplicación de carga en dos puntos
Transferencia de carga **por encima y a través de dos rodillos** a una distancia d (cada una $1/2 d$ del centro del prisma).
Es el método de referencia
- Aplicación de carga en un punto (central)
Transferencia de carga **por encima y a través de un rodillo**, en el centro del prisma
En ambos métodos los rodillos inferiores se encuentran a una distancia de $3 d$ (cada uno $1 1/2 d$ del centro del prisma)

Transferencia de carga en dos puntos



Transferencia de carga central



Los análisis han demostrado que la transferencia de carga en un punto da resultados 13% mayores que la transferencia de carga en dos puntos.

La carga debe aplicarse en forma perpendicular a la dirección del vertido (cuando se prepararon los prismas)

5.2.6 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE LAS PROBETAS

Norma EN 12390-6

Principio

Se somete una probeta cilíndrica a una fuerza de compresión aplicada en forma cercana y adyacente a lo largo de su eje longitudinal. La fuerza de tracción resultante hace que la muestra se rompa por esfuerzo a la tracción.

Muestras para ensayo

Cilindros de acuerdo con EN 12390-1, pero se permite una relación diámetro/longitud igual a 1. Si los ensayos se llevan a cabo en muestras cúbicas o prismáticas, se utilizan espaciadores de acero convexos para aplicar la carga (en lugar de placas convencionales planas). Las muestras rotas deben examinarse, y se debe registrar la apariencia del hormigón y el tipo de rotura si resultaran inusuales.

5.2.7 DENSIDAD DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

Norma EN 12390-7

Principio

La norma describe un método para determinar la densidad del hormigón endurecido. La densidad se calcula a partir de la masa (peso) y volumen que se obtienen a partir de la muestra para ensayo de hormigón endurecido.

Muestras para ensayo

Se requieren muestras para ensayo con un volumen mínimo de un litro. Si el tamaño máximo nominal del agregado es mayor de 25 mm, el volumen mínimo de la muestra debe ser mayor a $50 D^3$, siendo D el tamaño máximo del agregado. (Por ejemplo, el tamaño máximo de partícula de 32 mm requiere un volumen mínimo de 1.64 litros).

Determinación de la masa

La norma indica tres condiciones bajo las cuales se determina la masa de la muestra:

- Como se entrega la muestra
- Muestra saturada de agua
- Muestra que se secó en horno hasta peso constante

Determinación de volumen

La norma indica tres métodos para determinar el volumen de una muestra:

- Por desplazamiento de agua (método de referencia)
- Por cálculo a partir de las masas reales medidas
- Por cálculo a partir de las masas especificadas verificadas (para cubos)

La determinación del volumen por desplazamiento de agua es el método más preciso y el único apropiado para muestras de diseño irregular.

Resultado del ensayo

La densidad se calcula a partir de la masa de la muestra obtenida y su volumen:

$$D = m/V$$

D = densidad en kg/m₃
m = masa de la muestra al momento del ensayo en kg
V = volumen determinado por el método relevante en m³

El resultado debe darse con aproximación a 10 kg/m³.

5.2.8 PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DE AGUA BAJO PRESIÓN

Norma EN 12390-8

Principio

El agua se aplica bajo presión a la superficie del hormigón endurecido. Al final del periodo de ensayo, se divide la muestra y se mide la profundidad máxima de penetración de agua.

Muestras para ensayo

Las muestras son cubos, cilindros o prismas con una longitud mínima o diámetro de 150 mm. El área de ensayo en la muestra es un círculo con un diámetro de 75 mm (la presión de agua puede aplicarse desde arriba o desde abajo).

Condiciones durante el ensayo

- La presión del agua no debe aplicarse en una superficie fratasada (perturbada) de la muestra (preferentemente tomar un área lateral formada por el molde para el ensayo). El informe debe especificar la dirección de la presión de agua en relación con la dirección del vertido al confeccionar las muestras (a ángulos rectos o en paralelo).
- La superficie del hormigón expuesta a la presión del agua debe terminarse en forma rugosa con un cepillo de acero (preferentemente inmediatamente después al desmolde de la muestra)
- Las muestras deben tener por lo menos 28 días en el momento del ensayo.

Ensayo

Durante 72 horas, se debe aplicar una presión de agua constante de 500 (± 50) kPa (5 bar). Las muestras deben inspeccionarse regularmente en búsqueda de áreas húmedas y se medirá la pérdida de agua.

Luego del ensayo, las muestras deben retirarse inmediatamente y ensayarse, aplicando la carga en la dirección de la presión. Al separarlas, el área expuesta a la presión de agua debe quedar identificada.

Si las caras separadas están ligeramente secas, el camino direccional de penetración de agua debe marcarse en la muestra.

La penetración máxima bajo el área de ensayo debe medirse y registrarse al milímetro siguiente.

5.2.9 RESISTENCIA A LAS HELADAS Y A LA CONGELACIÓN/ DESHIELO

Norma EN 12390-9 (2005: En preparación)

La norma describe cómo ensayar la resistencia del hormigón a la helada con agua y a la congelación/deshielo con una solución de NaCl ("agua salada").

Se mide la cantidad de hormigón que se separa de la superficie luego de una cantidad y frecuencia de ciclos definidos de congelación/deshielo.

Principio

Las muestras se enfrían repetidamente a temperaturas en parte por debajo de -20°C y se vuelven a calentar a +20°C o más (en agua o en una solución salina). La cantidad resultante de separación de material indica la resistencia del hormigón a la escarcha o a la congelación/deshielo.

Se describen tres métodos:

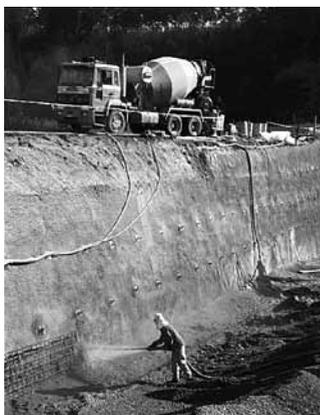
- Método de ensayo de losa
- Método de ensayo con cubo
- Método de ensayo CD/CDF

El método de referencia es el método de ensayo de losa.

Términos del esquema de la norma

- Resistencia a la helada
Resistencia a ciclos repetidos de congelación/deshielo en contacto con el agua.
- Resistencia al congelación/deshielo
Resistencia a ciclos repetidos de congelación/deshielo en contacto con agentes descongelantes
- Intemperismo
Pérdida de material en la superficie del hormigón debido a la acción de ciclos de congelación/deshielo
- Rotura de la estructura interna
Fisuras dentro del hormigón que no son visibles a la superficie pero que producen un cambio en las características del hormigón como reducción en el módulo dinámico E.

6 HORMIGÓN GUNITADO O PROYECTADO



6.1 DEFINICIÓN

El hormigón Gunitado o Proyectado es un material transportado y compactado por medios neumáticos. El hormigón luego de elaborado y entregado en obra es transportado por aire comprimido a través de mangueras o tubos al frente de obra donde se incorpora un potente aditivo acelerante de fragüe que al ser lanzado sobre el sustrato se compacta y endurece.

Utilización

El hormigón gunitado se usa principalmente para las siguientes aplicaciones:

- Consolidación de cabeceras de túneles
- Consolidación de muros de contención y terraplenes
- Recubrimientos de alto desempeño
- Trabajos de reparación y reacondicionamiento

6.2 REQUERIMIENTO DE CALIDAD PARA EL HORMIGÓN PROYECTADO

- Alta economía debida a la reducción del rebote
- Incremento de resistencia a la compresión
- Capas más espesas debido a la mayor cohesión
- Mínima permeabilidad
- Mayor resistencia al congelamiento/deshielo
- Buena adhesión y resistencia a la tracción

Cómo pueden lograrse estas condiciones:

Qué	Cómo	Producto Sika	
Resistencia temprana	Acelerante	Sigunita® L65 Sigunita® L500	
Resistencia final	Reductor de agua/SiO ₂ /acelerante libre de álcali	SikaTard® 930 Sika®ViscoCrete® 6 SikaFume® Sigunita® L500	
Resistencia a Sulfatos	Reductor de agua+SiO ₂	SikaTard®930/ Sika®ViscoCrete® 6 3085 20 HE SikaFume®	
	Químicos	Reductor de agua + SiO ₂ /fibras plásticas	SikaCrete®-PP 1
	Abrasión	Reductor de agua + SiO ₂ /fibras de acero	SikaTard® 930+SikaFume®
Muy baja permeabilidad	Reductor de agua para baja relación a/c	SikaTard® 930+ Sika®ViscoCrete® 6 3085 20 HE	
Bajo rebote	SiO ₂ + agente aguja bombeo	SikaFume®+SikaPump®	
Tiempos de trabajo prolongados	Retardador de fraguado	SikaTard® 930	
Alto rendimiento	Reductor de agua/agente ayuda bombeo (rocío húmedo)	SikaTard® 930/ Sika®ViscoCrete® 6 3085 20 HE SikaPump®	
Alta flexibilidad y demora/detención en la operación	Retardador de fraguado	SikaTard® 930	

6.3 DESARROLLO DE RESISTENCIA TEMPRANA

La calidad del hormigón proyectado se define por sus propiedades. Para hormigón proyectado debe aplicarse la SN EN 206-1 cuando resulte apropiado.

En Europa se usa también la clasificación J1, J2 y J3, elaborada por la Sociedad Austríaca del Hormigón, en su Código de Prácticas para el Hormigón Proyectado.

Resistencia temprana clase J1

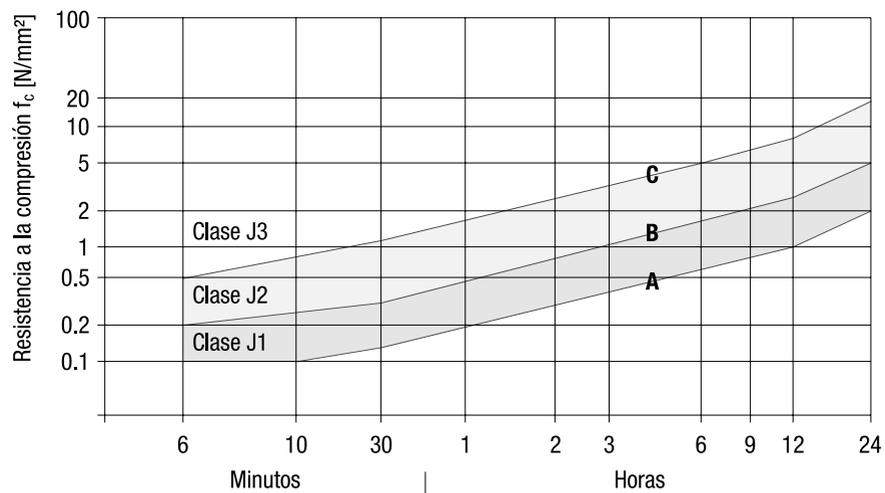
Aplicación en capas delgadas sobre un sustrato seco sin requisitos estructurales.

Resistencia temprana clase J2

Aplicación en capas más gruesas, con alto rendimiento, presión de agua baja y con carga de trabajos subsiguientes sobre el hormigón recién proyectado.

Resistencia temprana clase J3

Aplicación para trabajos de consolidación o bajo alta presión de agua. Sólo debe usarse en situaciones especiales debido al incremento en la formación de polvo.



Entre A y B Clase J1
Entre B y C Clase J2
Por encima de C Clase J3

Fuente: Código de Prácticas para Hormigón Gunitado, Sociedad Austríaca del Hormigón.

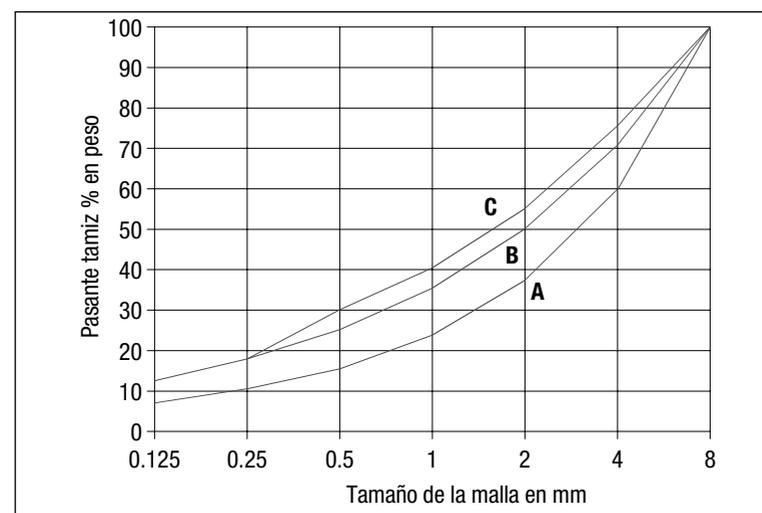
6.4 EL PROCESO DE PROYECTADO

Proyectado mediante vía seca

En el proceso de proyectado en seco (low build) se bombea la mezcla base semiseca (tierra húmeda) usando aire comprimido, y luego se agrega agua a la altura de la boquilla, usando un acelerante si es necesario. Esta mezcla se aplica con un pulverizador. El contenido de humedad inherente de los áridos en la mezcla base no debe exceder el 6% pues la velocidad de flujo efectiva se reduce en gran medida por atascos y aumenta el riesgo de obstrucción.

Cálculo para la curva granulométrica con fracciones de áridos individuales

Contenido	Componente	0.125	0.25	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0
	Rango A	7	10.4	15.6	23.9	37.5	60.4	100
	Rango B	12.5	17.7	25	35.4	50	70.7	100
	Rango C	12.5	17.7	30	40.4	55	75.7	100
100 %	0-8 mm	5.8	12.5	19.0	28.0	40.5	62.2	100



Contenido de cemento

Para **100 litros de mezcla seca**

28 kg de cemento que se agregan a 80 litros de áridos

Para **1250 litros de mezcla seca**

350 kg de cemento que se agregan a 1000 litros de áridos

Ejemplo de diseño de mezcla para 1m³ de mezcla seca

Hormigón proyectado mediante vía seca 0-8, hormigón proyectado clase C 30/37, CEM I 42.5, 350 kg por 1000 l de áridos, humo de sílice 20 kg.

Cemento	280 kg
SikaFume®	20 kg
0-4 mm con 4% de humedad intrínseca (55%)	~ 680 kg
4-8 mm con 2% de humedad intrínseca (45%)	~ 560 kg
Mezcla húmeda m³	~ 1540 kg *
*Debe ser comprobado por prueba de consumo	

Aditivos químicos

Reductor de agua/retardador: **Sika-Tard®-930**, dosis 0.2-2.0%.

Acelerante (libre de álcali y no tóxico): **Sigunita® L500**, dosis 3-6%.

Alternativa, alcalino: **Sigunita® L65**, dosis 3.5-5.5%.

Rociando el hormigón obtenido a partir de 1 m³ de mezcla seca se obtiene material sólido en la pared de:

Acelerado con Sigunita® L500 (Rebote 16-20%)	0.58-0.61 m ³
Acelerado con Sigunita® L65 (Rebote 20-25%)	0.55-0.58 m ³
Contenido de cemento en el hormigón proyectado sobre la pared	~ 450-460 kg/m ³

Proceso de gunitado por vía húmeda

Hay dos procesos diferentes de gunitado mediante vía húmeda, el bombeado "ligero" y el bombeado "denso". En el proceso de bombeado denso el hormigón de base se bombea en una columna densa hasta la boquilla con una bomba para hormigón, luego se dispersa en un transformador con aire comprimido y se convierte en un chorro fino. Normalmente el acelerante se agrega al aire comprimido antes del ingreso al transformador. Esto asegura que el tratamiento sea uniforme.

En el caso de bombeo de chorro delgado, se bombea la misma mezcla a través de un rotor como para el gunitado en seco. Se agrega el acelerante mediante un accesorio separado de la boquilla con más aire comprimido.

Suponiendo que se especifiquen los mismos requisitos para el hormigón proyectado aplicado, ambos procesos -la aplicación en chorro delgado y grueso- requieren la misma mezcla de base en cuanto a granulometría, relación agua/cemento, aditivos químicos, compuestos y contenido de cemento.

Cálculo para la curva granulométrica con fracciones de áridos individuales

Contenido	Componente	0.125	0.25	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0
	SIA-A	7	10.4	15.6	23.9	37.5	60.4	100
	SIA-B	12.5	17.7	25	35.4	50	70.7	100
	SIA-C	12.5	17.7	30	40.4	55	75.7	100
100%	0-8 mm	5.8	12.5	19.0	28.0	40.5	62.2	100

Ejemplo de diseño de mezcla para 1 m³ de hormigón proyectado mediante vía húmeda

Hormigón proyectado húmedo 0-8, hormigón proyectado clase C 30/37, CEM I 42.5, 425 kg, humo de sílice 20 kg, fibras de acero 40 kg

Cemento	425 kg	135 l
SikaFume®	20 kg	9 l
Áridos:		
0.4 mm con 4% humedad intrínseca (55%)	967 kg	358 l
4-8 mm con 2% humedad intrínseca (45%)	791 kg	293 l
Agua para mezcla (agua/ligante=0.48)	155 kg	155 l
Vacíos de aire (4.5%)		45 l
Fibras de acero	40. kg	5 l
Hormigón proyectado		1000 l
Peso unitario por m³	2398 kg	

Compuestos

Reductor de agua/retardador: **SikaViscoCrete® 6 | 3085 | 20 HE / SikaTard® 930**

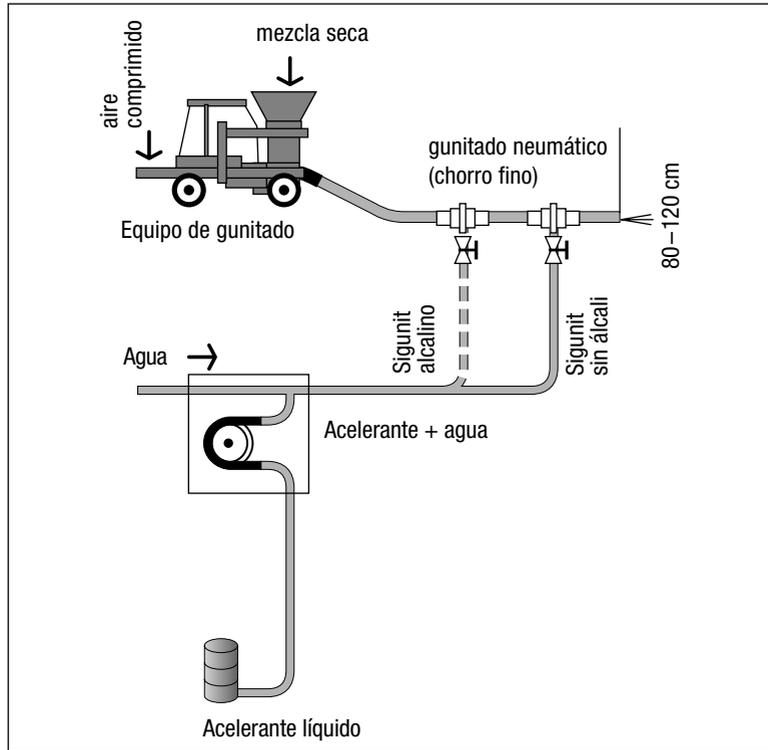
Acelerante sin álcali: **Sigunita® L500**, dosificación 3-8%

Alternativa con álcali: **Sigunita® L65** dosificación 3.5%-5-5%

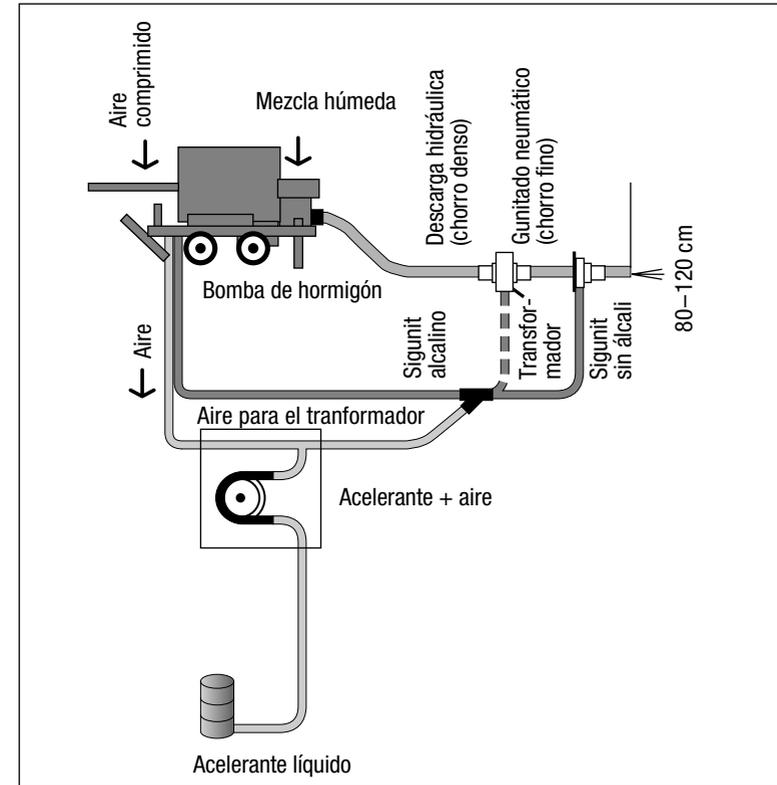
Material sólido en pared obtenido de 1 m³ de hormigón gunitado aplicado:

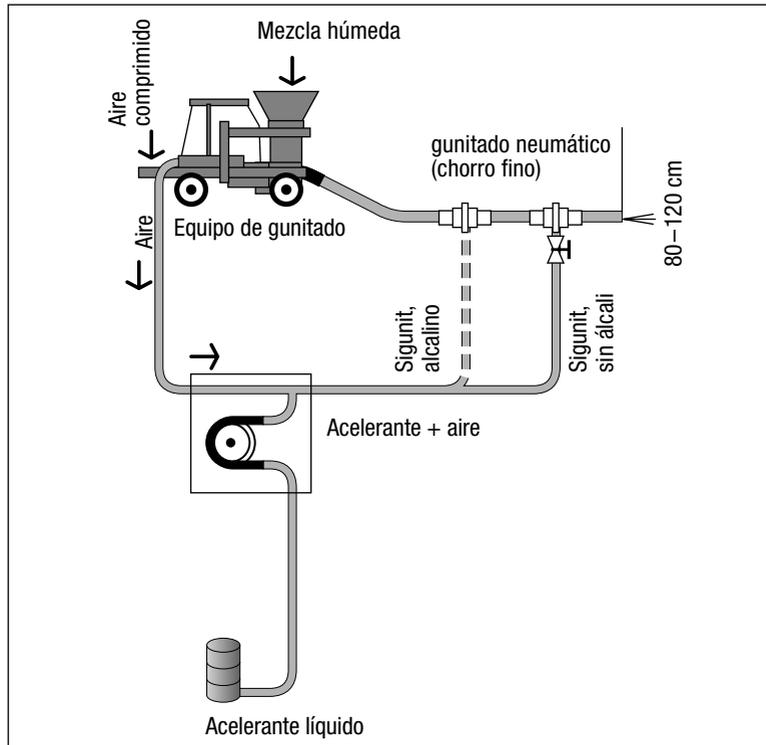
Acelerado con Sigunita® L500	0.90-0.94 m ³
Acelerado con Sigunita® L65 (Rebote 10-15%)	0.85-0.90 m ³
Contenido de cemento en hormigón gunitado en pared	450-470 kg/m ³
Contenido de fibras de acero en hormigón gunitado en pared	30-36 kg/m ³

Gunitado por vía seca



Gunitado por vía húmeda por chorro denso





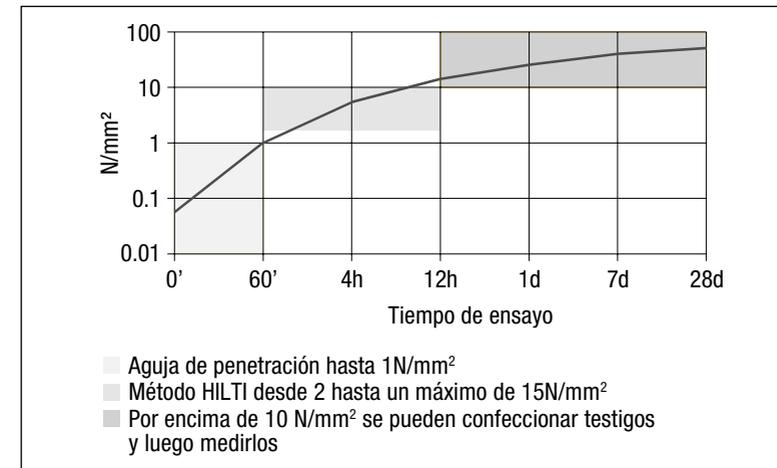
6.5 MÉTODOS DE ENSAYO/MÉTODOS DE MEDICIÓN

Determinación de resistencia temprana

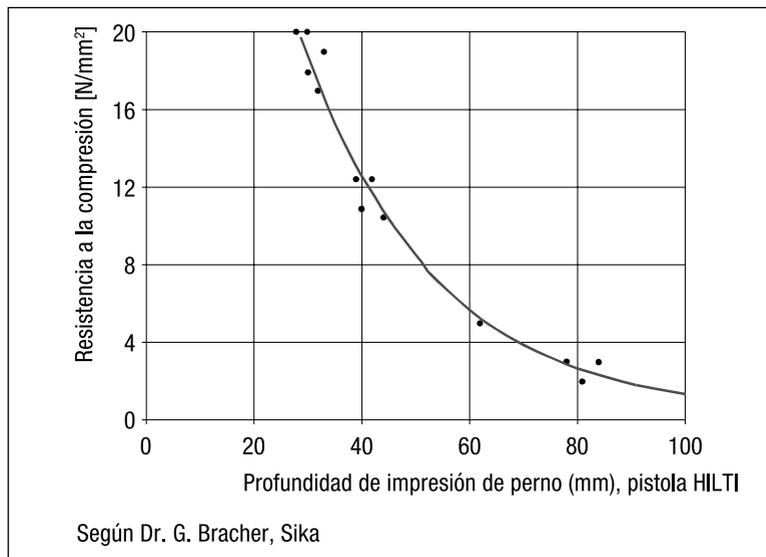
Para determinar las resistencias más tempranas (en el rango de 0 a 1 N/mm²), se usa una aguja Proctor o de penetración.

Los siguientes son métodos largamente probados para evaluar la resistencia a la compresión entre 2 y 10 N/mm²:

- **Kaindl/Meyco:** Determinación por fuerza de arrancamiento de bulones.
- **HILTI (Dr. Kusterle):** Mide la profundidad de impresión (I) y la fuerza precisa de arrancamiento de pernos (P) disparados con una máquina HILTI DX 450L (la carga y las medidas de los pernos son estándar).
- **HILTI simplificado (Dr. G. Bracher, Sika):** Mide la profundidad de impresión (I) de pernos disparados con una máquina HILTI DX 450L (la carga y las medidas de los pernos son estándar). La determinación por este método de la resistencia temprana requerida debe ofrecer una precisión de ± 2 N/mm²



6.6 EL SISTEMA SIKA DE GUNITADO POR VÍA HÚMEDA



Desarrollo de resistencia entre día 1 y día X

Por encima de 10N/mm² se pueden extraer testigos de 50 mm de diámetro y de altura. El promedio se calcula a partir de una serie de cinco testigos.

		Rango de dosificación promedio recomendado
Superplastificante con tiempo abierto extendido	SikaTard® 930 SikaViscoCrete® 6 3085 20 HE	0.8%-1.6%
Acelerante no tóxico y libre de álcali	Sigunita® L500	4.0%-8.0%
Humo de sílice	Sikafume®	4%-10%

Reductor de agua con estabilizador

Hormigón proyectado estabilizado, con retardo de fragüe y trabajabilidad óptima, con SikaTard®.

Reductor de agua

- SikaTard®
- SikaViscoCrete® 6 | 3085 | 20 HE

Los reductores de agua para hormigón proyectado difieren de los tradicionales. Deben cumplir con los siguientes requisitos adicionales:

- Buena bombeabilidad con baja relación agua/cemento
- Trabajabilidad/tiempo abierto prolongado
- Buena combinación con el acelerante elegido para dar soporte al desarrollo de resistencia.

Acelerante de fraguado

Sigunita® L500	Acelerante libre de álcali
Sigunita® L65	Acelerante alcalino

Humo de sílice

El SiO₂ en el humo de sílice reacciona con el hidróxido de calcio para formar hidrato de silicato de calcio adicional. Esto hace que la matriz de cemento sea más densa, más dura y más resistente. Sin el agregado de humo de sílice es muy difícil cumplir con los requisitos actuales de muy baja permeabilidad y resistencia a los sulfatos.

6.7 HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

Definición

El **hormigón proyectado reforzado con fibras de acero**, como el hormigón reforzado convencional, consiste en lo que respecta a su composición, de cemento, agregados, agua y acero. El agregado de fibras de acero proporciona al hormigón proyectado un refuerzo uniforme para control de fisuras en toda su masa.

Razones para el uso de hormigón proyectado reforzado con fibras de acero:

- Ahorro en el costo de instalación de refuerzo de malla de acero
- Elevada resistencia temprana con drástica reducción del asentamiento
- Eliminación de la “sombra” cuando se proyecta sobre malla de refuerzo
- Sección transversal capaz de soportar tensiones de diversas clases en distintas direcciones debido a su homogeneidad.

Diseño de mezcla Sika recomendado para hormigón proyectado reforzado con fibra de acero:

■ Granulometría	0 - 8 mm
■ Contenido de cemento	425-450 kg/m ³
■ SikaFume®	min. 15 kg/m ³
■ SikaTard® 930	1.2%
■ SikaViscoCrete® 6 3085 20 HE	1%
■ SikaPump®	0.5%
■ Sigunita® L500	3-6%
■ Fibra de acero	40-50 kg/m ³

Notas adicionales:

- Puede ser necesario aumentar el contenido de cemento, porque el contenido de finos del hormigón proyectado con refuerzo de fibra de acero debe ser mayor que en el hormigón convencional, para anclar las fibras.
- La adición de humo de sílice mejora el anclaje de las fibras, ayudando así a lograr los valores esperados.
- SikaPump® mejora de manera considerable la bombeabilidad.
- El diámetro mínimo de la bomba debe ser por lo menos el doble de la longitud máxima de la fibra.
- El diámetro mínimo recomendado para la manguera de la bomba es de 65 mm.
- La pérdida de fibra en el hormigón proyectado por vía húmeda es de 10-20%.
- En la proyección por vía seca debe contemplarse una pérdida de fibra de hasta 50%. La capacidad de llenado del bombeador también se verá afectada, con el resultado de menor rendimiento de aplicación y mayor consumo de acelerante.
- Las muestras para medir la trabajabilidad del hormigón proyectado reforzado con fibra de acero, son losas de 10 cm de espesor y lados de 60 cm.

6.8 HORMIGÓN PROYECTADO RESISTENTE A LOS SULFATOS

Un hormigón proyectado con contenido de cemento estándar, 400-450 kg/m³, puede tener alta resistencia a los sulfatos si contiene:

- un cemento HS combinado con reductor de agua y SikaPump®, o
- un cemento Portland estándar combinado con reductor de agua y SikaFume® agregado al >5%, o
- un CEM III-S.

Requisito: a/c <0.50

Diseño de mezcla Sika recomendado para hormigón proyectado por vía húmeda:

■ Granulometría	0-8 mm
■ Contenido de cemento	425 kg/m ³
■ SikaFume®	30 kg/m ³
■ SikaTard® 930	1.6%
■ SikaViscoCrete® 6 3085 20 HE	1.2%
■ SikaPump®	0.5%
■ Sigunita® L500	3-5%

6.9 HORMIGÓN PROYECTADO CON MAYOR RESISTENCIA AL FUEGO

El hormigón proyectado ve aumentada su resistencia al fuego si se lo mejora con fibras de polipropileno. En caso de fuego las fibras de polipropileno se derriten y dejan vías libres para la incipiente difusión de vapores. Así se previene la destrucción de la matriz del cemento debido a la presión de vapor en el interior. Es imprescindible usar los agregados adecuados para aumentar la resistencia al fuego. Se deberán hacer ensayos previos para verificar su aptitud.

■ Granulometría	0-8 mm
■ Tipo de cemento	CEM III/A-S
■ Contenido de cemento	425 kg/m ³
■ SikaTard® 930	1.5%
■ SikaViscoCrete® 6 3085 20 HE	1.2%
■ SikaPump®	0.5%
■ Sigunita® L500	3-6%
■ Fibras de polipropileno	2.7 kg/m ³ , de acuerdo con el tipo

7 AGENTES DESENCOFRANTES



Muchos factores tienen influencia sobre la calidad del acabado del hormigón, incluyendo la composición del hormigón, las materias primas, el encofrado que se use, la capacidad de compactación, la temperatura, el curado y el agente desencoformante que se elija. Más abajo describimos el efecto del agente desencoformante y aconsejamos sobre su selección y uso correcto.

7.1 ESTRUCTURA DE LOS AGENTES DESENCOFRANTES

Pueden formularse agentes desencoformantes a partir de tres grupos de materiales diferentes:

Desencoformante por formación de película

Estos materiales son la sustancia base que tiene la responsabilidad principal del efecto desencoformante. Con este fin se usan varios aceites naturales o sintéticos, o ceras de parafina.

Aditivos

Con estos materiales se intensifica el efecto desencoformante, o se obtienen efectos adicionales. Esta categoría incluye intensificadores de desencoformado, agentes humectantes, agentes anticorrosivos, preservantes y emulsificantes necesarios para crear las emulsiones agua-aceite. La

mayoría de los agentes desencoformantes en uso en la actualidad incluyen también otros aditivos, algunos de los cuales reaccionan químicamente frente al hormigón para causar la interrupción del fraguado. De esta manera resulta más fácil desprender el hormigón del encofrado, y se obtiene un producto más adecuado para usos generales.

Diluyentes

Estos productos se usan para reducir la viscosidad de los desencoformantes y los aditivos. Mejoran la trabajabilidad, tiempo de secado, espesor requerido etc. Básicamente, son solventes orgánicos o agua para las emulsiones.

7.2 REQUISITOS DE LOS AGENTES DESENCOFRANTES

Los siguientes requisitos son los especificados para la acción de los desencoformantes, tanto in situ como para premoldeado:

- Desprendimiento fácil y limpio, sin adherencias ni daños para el encofrado
- Superficie de hormigón perfecta a la vista (piel impermeable, color uniforme, sin orificios)
- Superficie de hormigón de perfecta calidad (sin excesiva interrupción del fraguado, apta para la aplicación de pinturas o revestimientos; de otra manera se debe dar instrucciones claras para la preparación)
- Encofrado libre de corrosión y envejecimiento prematuro
- Fácil aplicación

Otro requisito importante, especialmente para el premoldeado, es la resistencia a altas temperaturas cuando se usa encofrado en caliente u hormigón caliente. También es deseable que no se produzcan olores desagradables, especialmente en la planta de premoldeado. Para uso in situ también se valora la resistencia a la intemperie y en algunos casos la transitabilidad de la capa desencoformante.

7.3 SELECCIÓN DE AGENTES DESENCOFRANTES ADECUADOS

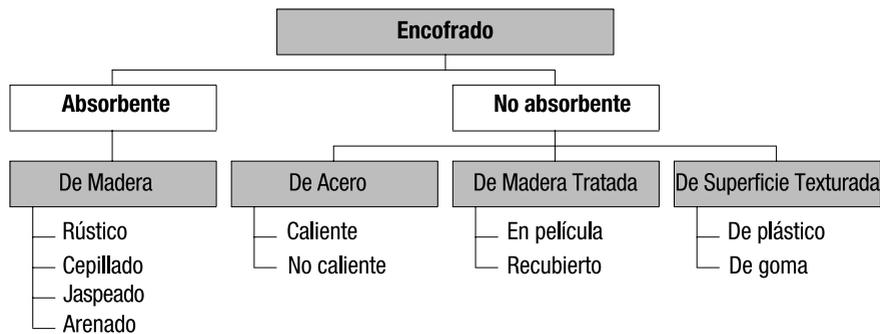
El tipo de encofrado determina la selección del agente desencoformante. Véase en la tabla de la pág. 130 una lista de los diferentes tipos.

7.3.1 AGENTES DESENCOFRANTES PARA ENCOFRADO ABSORBENTE

En el encofrado nuevo de madera la absorción es muy alta. Si no se prepara correctamente el encofrado, la pasta de cemento perderá el agua. Como resultado se verán adherencias en el encofrado, y exceso de polvo en la superficie debido a la falta de hidratación en la mezcla. También es posible que la capa de hormigón inmediata al encofrado resulte dañada por componentes del encofrado, como azúcares de la madera. Este contacto produce polvo, reducción de resistencia o decoloración, y sucede más fácilmente cuando el encofrado ha permanecido a la intemperie expuesto a la luz solar directa. Estos efectos son más pronunciados cuando se usa el encofrado por primera vez, y normalmente decrecen con cada uso.

Se ha desarrollado un método simple para neutralizar los problemas que presenta el uso de encofrado nuevo. Consiste en tratar el encofrado con un agente desencofrante y recubrirlo con una pasta de cemento o una lechada espesa que luego se retira con cepillo. Después de este envejecimiento artificial, se aplicará un desencofrante con algún efecto sellador antes de cada hormigonada en los primeros usos. Para este fin se usa generalmente un aceite desencofrante de baja reactividad, sin solvente o con bajo contenido de solvente.

Luego de que el encofrado ha sido usado varias veces, la absorción disminuye, ya que los intersticios y vacíos en la superficie se van rellenando con los residuos de la pasta de cemento y de los desencofrantes. Por lo tanto el encofrado de madera viejo sólo necesita una capa delgada de desencofrante. En estos encofrados viejos se puede usar también desencofrantes que contienen solvente o emulsiones.



7.3.2 AGENTES DESENCOFRANTES PARA ENCOFRADOS NO ABSORBENTES

Los encofrados fabricados con maderas modificadas por resinas sintéticas, de plástico o de acero son no absorbentes, por lo tanto no absorben el agente desencofrante, el agua o la pasta de cemento. En todos estos encofrados es muy importante que el agente desencofrante se aplique de manera pareja, con medida y en capas delgadas. Deben evitarse los “charcos”. No sólo producen vacíos sino también decoloración y/o exceso de polvo.

Para obtener una película de desencofrante delgada y uniforme en la superficie del encofrado se usan generalmente aceites de baja viscosidad con aditivos desencofrantes, tal vez con solventes para obtener un hormigón visto con buena presentación.

Esto es particularmente importante cuando las paredes del encofrado son altas y se manejan alturas de vertido importantes, lo que causa abrasión mecánica de la superficie del encofrado. También se sienten los efectos de la intemperie y del tiempo de espera entre la aplicación del agente desencofrante y el colado del hormigón.

El encofrado de acero caliente es una aplicación especial. Debe cuidarse que no se evapore la película desmoldante a causa del calor. El agente desencofrante debe ser formulado de tal manera que no se produzca saponificación.

Los encofrados texturados de goma o de silicona no siempre requieren agentes desencofrantes, por lo menos cuando son nuevos, porque el hormigón no se adhiere a la superficie lisa e hidrofóbica. Si fuera necesario usar desencofrante debido a la textura o al envejecimiento, deberán usarse emulsiones especiales o productos que contengan solventes, dependiendo del perfil de la textura. Debe realizarse una prueba de adecuación para verificar que el agente desencofrante no cause esponjamiento o disolución parcial de la superficie del encofrado.

7.4 INSTRUCCIONES DE USO

Hay algunas instrucciones generales, además de la información específica para cada producto.

7.4.1 APLICACIÓN DEL AGENTE DESENCOFRANTE

La regla más importante es aplicar la cantidad mínima absoluta en forma tan uniforme como sea posible. El método de aplicación para un agente desencofrante depende principalmente de la consistencia del producto. Los productos con baja viscosidad (líquidos) deben aplicarse preferentemente con rociado de baja presión (presión de 4-5 bars). Utilizar una boquilla plana, de tamaño según el contenido de solvente del desmoldante –posiblemente combinada con una válvula de control o filtro para impedir excesos en la aplicación que ocasionan fuga o goteo.



Sobre un encofrado liso se puede probar la cantidad correcta y la uniformidad con la “prueba del dedo”. Al pasar el dedo no deben quedar marcas visibles ni formarse acumulación del producto. El exceso debe retirarse de una superficie horizontal usando una esponja de goma o de espuma. Si se ha aplicado el producto en exceso sobre una superficie vertical o inclinada, se verán rayas en la superficie o acumulación en la base. El exceso debe retirarse con un trapo o esponja.

Los desencofrantes de alta viscosidad como pastas de cera se aplican con un trapo, esponja, rodillo, etc. Nuevamente, sólo debe aplicarse la mínima cantidad posible y de la manera más pareja.

Las condiciones atmosféricas son un factor importante en la aplicación de desencofrante. No es conveniente aplicar desencofrante bajo la lluvia, ya que el producto pierde capacidad de adhesión y puede haber agua en el encofrado. En un clima muy seco, bajo un sol fuerte, los encofrados absorbentes pueden necesitar mayor cantidad de producto. Las emulsiones no deben ser sometidas a la escarcha, pues al descongelarse pueden separarse antes del colado del hormigón.

7.4.2 TIEMPO DE ESPERA ANTES DEL HORMIGONADO

Es difícil prescribir un tiempo de espera uniforme entre la aplicación del desencofrante y el hormigonado, ya que son muchos los factores en juego: tipo de encofrado, condiciones atmosféricas, temperatura y tipo de desencofrante. Siempre debe respetarse el tiempo de secado de las emulsiones al agua y los productos que contienen solventes, caso contrario podría no lograrse el efecto desencofrante. También puede sufrir la calidad del acabado, pues los residuos de solvente atrapados pueden causar orificios.

La tasa de evaporación varía según el tipo de solvente. Los tiempos de espera para cada producto deben tomarse de las Planillas de Información sobre el Producto.

Las exposiciones (tráfico, temperatura, etc.) sobre la película, o un excesivo tiempo de espera pueden reducir la acción desencofrante en algunos casos. Si el encofrado es absorbente esto puede suceder al cabo de pocos días. El encofrado no absorbente es menos sensible y, dependiendo de las condiciones ambientales, puede contarse con que se mantendrá el efecto desencofrante por varias semanas.

7.4.3 HORMIGONADO

Cuando se cuela el hormigón es importante procurar que el desencofrante sufra el mínimo de acciones mecánicas. Si es posible, no se colará el hormigón en diagonal sobre una superficie vertical, para evitar la abrasión de la película. El vertido debe mantenerse a distancia del encofrado usando embudos o tubos. Durante la compactación es necesario verificar que el vibrador no toque la superficie del encofrado, pues puede producir abrasión del desencofrante y adherencia local del hormigón.

Resumen

La industria del hormigón no puede prescindir del desencofrante. La acertada selección del desencofrante y su uso correcto, en conjunción con hormigón de calidad y encofrado adecuado, contribuye a lograr superficies de hormigón durables y visualmente uniformes. La selección incorrecta, así como el uso de materiales pobres y composición defectuosa, puede provocar fallas en la superficie del hormigón.

La serie Sika®Separol® ofrece la solución ideal para su necesidad de desencofrante.

8 CURADO



8.1 GENERALIDADES

Para obtener hormigones de larga durabilidad, el mismo no sólo debe ser resistente sino también de muy baja permeabilidad, especialmente en las áreas próximas a la superficie. Cuanto menor sea la porosidad y más densa la pasta de cemento, mayor será la resistencia a las influencias exteriores, las tensiones y los ataques. Para obtener buenos resultados con el hormigón endurecido es preciso proteger el hormigón fresco, principalmente de

- Secado prematuro debido a sol, viento, baja humedad, etc.
- Calor o frío extremo y/o cambios bruscos de temperatura
- Lluvia
- Choque físico o térmico
- Agresión química
- Tensión mecánica

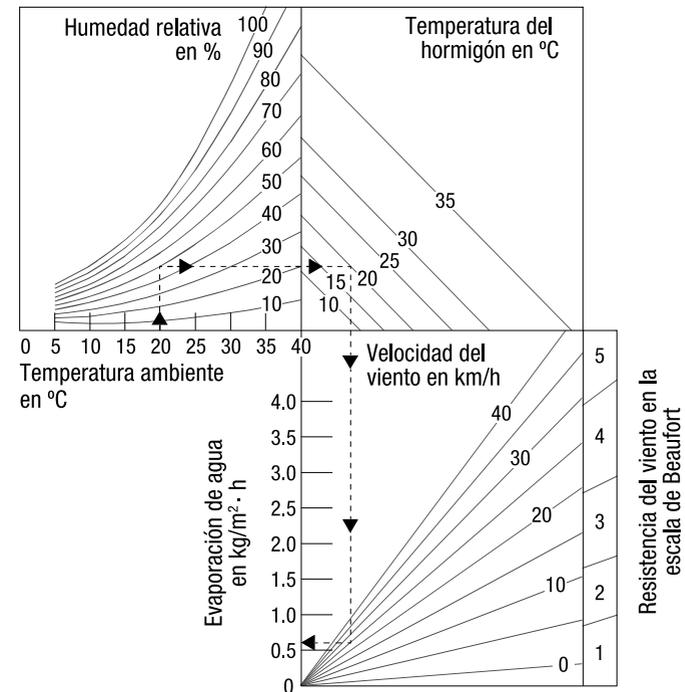
Es necesario proteger al hormigón del *secado prematuro* para que la pérdida de agua no afecte el desarrollo de la resistencia. Las consecuencias de la pérdida prematura de agua son

- Baja resistencia cerca de la superficie
- Tendencia a producir polvo
- Mayor permeabilidad
- Reducción de la resistencia al ambiente

- Baja resistencia a la agresión química
- Grietas tempranas
- Aumento de riesgo de fisuración por contracción

El siguiente diagrama ilustra la cantidad de agua evaporada por m^2 de superficie de hormigón en distintas circunstancias. Como puede verse en la figura (donde indican las flechas) con 20°C de temperatura del aire y del hormigón, humedad relativa ambiente de 50% y velocidad promedio del viento de 20 km/h , 1 m^2 de hormigón puede evaporar 0.6 l de agua por hora. Si la temperatura del hormigón es mayor que la temperatura del aire, la tasa de evaporación aumenta de manera significativa, más cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas. En las mismas condiciones un hormigón a temperatura de 25°C produciría 50% más evaporación, es decir 0.9 l por m^2 por hora.

Efecto de la humedad relativa ambiente, la temperatura ambiente, la temperatura del hormigón y la velocidad del viento sobre la evaporación, según VDZ (Asociación de Fabricantes de Cemento de Alemania)



Ejemplo:

Un hormigón fresco con un contenido de agua de 180 litros por m^3 contiene 1.8 litros de agua por m^2 en un espesor de 1 cm. La tasa de evaporación de 0.6 l por m^2 por hora significa que en 3 horas el hormigón pierde un volumen de agua equivalente al contenido total de agua de una losa de 1 cm. de espesor, y en 9 horas el contenido de agua de una losa de 3 cm de espesor. Este espesor excede el mínimo de requerido para recubrimiento de exterior según DIN 1045.

El aporte de agua proveniente de las capas más profundas es limitado. El material cercano a la superficie recibe un considerable impacto negativo sobre su resistencia, permeabilidad y resistencia al desgaste.

Las temperaturas extremas pueden causar deformaciones en el hormigón, que se dilata al calor y se contrae al frío. Estas deformaciones causan tensiones que pueden resultar en fisuras, tal como las causa la contracción. Es importante por lo tanto evitar la exposición a gran amplitud térmica (>15K) entre el núcleo y la superficie del hormigón fresco y nuevo, y la exposición a bruscos cambios de temperatura en el hormigón parcialmente endurecido.

El esfuerzo mecánico tal como el causado por violentas oscilaciones y choques intensos durante el fraguado y en la primera etapa del endurecimiento puede perjudicar al hormigón. El agua corriente o de lluvia a menudo causa daños irreparables al hormigón fresco. En los trabajos posteriores debe protegerse los bordes y usarse cubiertas de protección para las superficies no encofradas y prolongar el tiempo de cimbrado para las superficies encofradas.

La agresión química por parte de sustancias en el suelo, el aire o el agua, en caso de que ocurra a edad muy temprana, puede dañar el hormigón hasta hacerlo inutilizable, aunque se haya usado la mezcla adecuada y la correcta técnica de colocación y compactación. Es importante proteger al hormigón de estas sustancias durante el mayor tiempo posible, usando pantallas, drenajes o cubiertas.

8.2 MÉTODOS DE CURADO

Las medidas de protección contra el secado prematuro son:

- Aplicar agentes de curado líquidos, como **Sika®Antisol® Normalizado**.
- Conservar el encofrado
- Aplicar pliegos de coberturas
- Cubrir con membrana antihidrófuga
- Rociar con agua o formar 'neblinas', manteniendo efectivamente húmedo el medio que rodea a las piezas, y
- Una combinación de estos métodos

Los agentes de curado líquidos como **Sika®Antisol® Normalizado** pueden rociarse sobre la superficie del hormigón con métodos simples, por ejemplo usando fumigadores de baja presión. Deben aplicarse sobre la totalidad de la superficie a la edad más temprana posible: en superficies de hormigón expuestas, inmediatamente después de que la superficie pierde el brillo inicial y se vuelve mate, y en superficies encofradas, inmediatamente después del descimbrado. Es importante formar una membrana densa y aplicar la cantidad correcta (en g/m²), según indican las especificaciones del producto. Sobre superficies verticales pueden necesitarse varias aplicaciones.

Sika®Antisol® Normalizado es de color blanco lechoso cuando está fresco, y permite que se vean fácilmente las irregularidades o defectos de aplicación. Cuando se seca forma una membrana protectora transparente.

Conservar el encofrado significa que el encofrado de madera debe mantenerse húmedo y el encofrado de acero debe preservarse del calentamiento, por ejemplo por sol directo, y de enfriado rápido en bajas temperaturas.

El método más usado para superficies sin encofrar y para después de retirar el encofrado es el recubrimiento con cubiertas plásticas impermeables, para evitar la evaporación del agua. Los pliegos deben colocarse superpuestos sobre el hormigón húmedo, y deben fijarse en los borde (por ejemplo colocando elementos pesados como tablonos o piedras) para prevenir la evaporación del agua del hormigón.

El uso de cubiertas plásticas se recomienda especialmente para el hormigón visto, ya que evita la eflorescencia. Las mantas no deben apoyarse directamente sobre el hormigón fresco. También debe evitarse el "efecto chimenea".

Cuando se usan arpilleras o mantas de paja para conservar la humedad, deben mantenerse constantemente húmedas. Una alternativa es recubrirlas a su vez con mantas plásticas.

El secado prematuro puede evitarse manteniendo constantemente húmeda la superficie del hormigón. El mojado y secado alternativo del hormigón puede producir tensiones, y por lo tanto fisuras, en el hormigón nuevo. Debe evitarse rociar directamente la superficie con chorros de agua, ya que el enfriado brusco puede producir fisuras al incidir sobre un hormigón con desarrollo de calor latente, en especial en el caso de estructuras masivas. Son adecuados los rociadores de boquilla o las mangueras perforadas que se usan para riego de jardines. Las superficies horizontales deben curarse bajo el agua siempre que sea posible.

8.3 MEDIDAS DE CURADO PARA HORMIGÓN

Método	Medidas	Temp. exterior en °C				
		Menos de -3	-3 a +5	5 a 10	10 a 25	Más de 25
Cubierta/membrana	Cubrir y/o rociar con membrana y humedecer. Mojar encofrado de madera. Proteger encofrado de acero del sol					X
	Cubrir y/o rociar con membrana			X	X	
	Cubrir y/o rociar con membrana y aislar con calor. Aconsejable usar encofrado aislante, ej. madera		X*			
	Cubrir y aislar con calor. Cerrar (carpa) o calefaccionar el área de trabajo. Mantener la temperatura del hormigón en 10°C por 3 días mínimo	X*	X*			
Agua	Mantener húmedo sin interrupción				X	

* El curado y el descimbrado se extienden según la cantidad de días con heladas. El hormigón debe estar protegido de las precipitaciones por lo menos durante 7 días.

Con baja temperatura, no es suficiente evitar la pérdida de agua en la superficie del hormigón. Para evitar el enfriamiento excesivo deben aplicarse medidas de aislación térmica en el momento adecuado. Estas medidas dependen sobre todo de las condiciones atmosféricas, los componentes, sus dimensiones y el encofrado.

El curado con agua no está permitido con temperaturas bajo cero. Para períodos breves son adecuados los tableros, paja seca, cañas, tabiques livianos y mantas plásticas. Las mantas a su vez deben estar protegidas. Las hojas plásticas con reverso metalizado son las más adecuadas, y son fáciles de manejar. Cuando las temperaturas bajo cero se prolongan, es necesario calefaccionar el aire y mantener húmeda su superficie. Es importante la aislación o sellado, es decir mantener entradas de aire cerradas y usar carpas selladas.

8.4 PERÍODO DE CURADO

El tiempo de curado debe determinarse de tal manera que el material cercano a la superficie logre la resistencia estructural y la estanqueidad necesarias para su durabilidad, y que el refuerzo esté protegido contra la corrosión.

Tanto el desarrollo de la resistencia como el tiempo de curado requerido están estrechamente ligados a la composición del hormigón, la temperatura del hormigón fresco, las condiciones ambientales y las dimensiones de la estructura.

Están en preparación normas para el curado del hormigón, como parte del proceso europeo de estandarización.

El principio del proyecto europeo está incorporado en E DIN 1045-3. Estipula que el curado debe continuar hasta lograr el 50% de la resistencia característica f_{ck} en el componente del hormigón. Para determinar el tiempo de curado se solicita al productor que informe sobre el desarrollo de la resistencia. Esta información se basa sobre la relación de resistencia a la compresión entre los promedios de resistencia a 2 y 28 días a una temperatura de 20° C y lleva a la clasificación de desarrollo de resistencia en un rango de rápido, medio, lento y muy lento. Sobre este rango se basa el período mínimo de curado prescrito por E DIN 1045-3. La siguiente tabla muestra el período mínimo de curado como un factor del desarrollo de resistencia del hormigón y la temperatura de la superficie.

Curado según DIN 1045-3 Julio de 2001

Métodos de curado

DIN 1045-3	
	-Humedad relativa ambiente $\geq 85\%$
	-Mantener el encofrado
	-Colocar cubiertas impermeables
	-Colocar cubiertas que retengan el agua
	-Mantener una película de agua sobre la superficie del hormigón
	-Usar agente de curado

Tiempo de curado

Clases de exposición: Véase sección 2.2, pág. 22

Reglamentación	DIN 1045-3		ZTV-ING Parte 3		
Clases de Exposición (según DIN 1045-2)	X0 XC1	XC2-XC4 XS XD XF XA	XM	XC2 XS	XC3-XC4 XM XD XF XA
Período mínimo de curado requerido	12 hs	Hasta que resistencia cerca de la superf. alcanza un mínimo			
		50%	70%	50%	70%
		de la resistencia característica f_{ck}			
Definición simplificada de tiempo mínimo de curado	Se considera que se ha alcanzado la resistencia necesaria si se mantienen los períodos especificados				
		igual	doble	igual	doble
	según la Tabla 2 DIN 1045-3				

Tabla 2 DIN 1045-3

Temperatura del aire/hormigón	Tiempo mínimo de curado en días como factor del desarrollo de resistencia r^1 del hormigón			
	$r \geq 0.50$	$r \geq 0.30$	$r \geq 0.15$	$r \geq 0.15$
$T \geq 25^\circ\text{C}$	1	2	2	3
$25 > T \geq 15^\circ\text{C}$	1	2	4	5
$15 > T \geq 10^\circ\text{C}$	2	4	7	10
$10 > T \geq 5^\circ\text{C}$	3	6	10	15

¹ Los valores intermedios pueden interpolarse

El valor r ($r = f_{cm,2} / f_{cm,28}$ - relación de resistencia promedio a la compresión del hormigón luego de 2 y 28 d) define el desarrollo de la resistencia del hormigón y se determinará por ensayos de adecuación.

Definición precisa de período mínimo de curado	Se permite evidencia precisa de desarrollo de resistencia suficiente en la estructura (por ej., por madurez).	
Requerimientos generales de aplicación	Consistencia después de 5 h	→ Se debe especificar una adecuada extensión al período de curado
	Temperatura menor a 5°C	→ No es posible deducir períodos de $T < 5^\circ\text{C}$ de los tiempos específicos de curado
	Temperatura inferior a 0°C (ZTV-ING)	→ Se deberán proporcionar medidas de protección a la escarcha cuando el hormigón no alcanzó una resistencia mínima a la compresión de 10 N/mm^2

LOS ADITIVOS PARA EL HORMIGÓN Y EL MEDIO AMBIENTE

Los aditivos para hormigón son líquidos o en polvo. Se agregan en pequeñas cantidades a la mezcla de cemento para obtener resultados específicos:

- para aumentar la durabilidad
- para mejorar la trabajabilidad
- para modificar la reacción de hidratación y por lo tanto el fraguado o endurecimiento del cemento

El efecto de los aditivos es siempre mejorar el hormigón. En términos cuantitativos, los superplastificantes (reductores de agua de alto rango) y los plastificantes (reductores de agua) constituyen el 80% de los aditivos usados en la actualidad.

¿En qué medida contaminan los aditivos?

Los superplastificantes deberían ser no tóxicos, solubles en agua y biodegradables.

Pruebas realizadas sobre muestras de hormigón demuestran que los superplastificantes en pequeñas cantidades y sus productos de descomposición son lixiviables. No obstante, los materiales se degradan bien y no causan contaminación. Aún en condiciones extremas, sólo una pequeña cantidad de carbón orgánico lixivia en el agua.

- Conclusión de la prueba: Los superplastificantes no contaminan el aire.

Para resumir: ¿En qué medida los superplastificantes son “ecológicamente amigables”?

Los aditivos del hormigón son aptos para ser usados, y cuando se los aplica correctamente son inofensivos para el hombre, los animales y el entorno.

Los beneficios técnicos de los superplastificantes para los clientes y los profesionales de la construcción superan el riesgo de que durante el uso se produzcan pérdidas, que son generalmente controlables y de escaso volumen. Los aditivos merecen ser considerados “ecológicamente amigables” porque no producen contaminación significativa del aire, el suelo o el agua.

Consultar las siguientes publicaciones:

- “Environmental Compatibility of Concrete Admixtures”, Informe de la Asociación de Fabricantes de Aditivos del Hormigón de Suiza, Julio 1995
- Proyecto ANACAD de la Unión Europea: Analysis and Results of Concrete Admixtures in Wastewaters, Informe Final BMG Engineering AG Zurich, Febrero 2000.

MEMBRESÍA EFCA

Sika es miembro de EFCA, la Federación Europea de Asociaciones de Aditivos del Hormigón.

Los aditivos fabricados por Sika cumplen con las normas de calidad ambiental de EFCA.



ÍNDICE

A

Acabado	80
Acelerador del Endurecimiento	12
Acelerador del Fraguado	12
Acelerador libre de Alkali	125
Acelerador	118
Adiciones	27
Aditivos Químicos para Hormigón	12
Aditivos, norma EN 934-2	12
Aditivos y medioambiente	141
Agente Sellador	12
Agentes de Curado	136
Agregados para Hormigón	8
- Estándar	8
- Livianos	8
- Pesados	8
Agregados	
- Agregados para hormigón	8
- Triturados	11, 38
- Agregados resistentes a las heladas	98
- Norma EN 12620	9
- Finos	11, 38
Agua de Lavado	16
Agua de Mezcla	16
Agua Potable	16
Agua Subterránea	16
Alisado	80
Arena	9
Asentamiento	79
- Ensayos de Asentamiento	84
Autocompactante	41,89

B

Bombeabilidad	82
---------------	----

C

Caja- L	89
Cálculo del Volumen del Material	18
Calor de Hidratación	103
Canal V	90
Capa ó puente de adherencia	102
Cemento Portland	6
Cementos de acuerdo con la Norma EN 197-1	6
Cementos, tipos	7
Cenizas volantes (fly ash)	14, 27
Certificación de Control de Producción	31
Clases de Exposición	21, 22
Clases de Resistencia Temprana en el Hormigón Gunitado	116
Cloruros, contenido	29
Cohesión	82
Color, hormigón con	59
Compactabilidad	
- grados	79
- ensayos	85
Componentes Adicionales del Cemento	6
Composición del Hormigón	30
Compuestos estabilizantes	
- Norma EN 934-2	12
Conservación de muestras	106
Consistencia	79, 89
- Clases	25, 79
- Contenido mínimo de cemento	28
- Contracción	99
- Monitoreo de la Consistencia	80
- Contracción plástica	100
Consolidación de Cabeceras de Túneles	114
Contenido de Finos	15
Contenido de Aire	81
- Determinación del Contenido de los Vacíos de Aire	88
Contracción por secado	100

Contracción química	99	Esfuerzos por Heladas	98
Control de Conformidad	31	Estabilizador de Mezcla	80
Cubierta Protectora	69	Estabilizador del Hormigón Gunitado	125
Cubos	105	Estabilizador	12
Curado	134	Estructura Granular	8
- agentes	136	Estructuras Premoldeadas	36
- medidas para el	138	Etringita	100
Curvas de Distribución por Tamaño de Partícula (granulométricas)	10	Evaporación	135
		Exudación	80
		Exposición, clases	21, 22

D

Densidad a granel, suelto	14
Densidad del Hormigón Endurecido	111
Densidad del Hormigón Fresco	81
- Determinación de densidad	88
Desarrollo de Resistencia	91
Deshielo	43
Desenconfrentes	128
- Tasa de Aplicación	132
- Cantidad Adecuada de Aplicación	132
Desenconfrentado, tiempo de	93
Desgaste Reducido	82
Designaciones de los Grados de Hormigón	31
Diámetro de Fluidez	79
- Ensayos	86
Dosificación de Aditivos Químicos	
Estabilizantes	13
Dosificación para retardador	74
Dry Shakes	70

E

Eflorescencia de superficie ("blooming")	80
Encofrado Absorbente	129
Ensayos de Consistencia	84
Escoria de Cemento	6
Esfuerzo por Abrasión	
- esmerilado	101
- impacto	101
- rodadura	101

F

Factor de Espaciamiento SF	44
Fases de Hidratación	103
Fibras de Acero	54, 126
Fibras de Polipropileno	68, 127
Fisurado	52
Fisuras de Superficie	52
Fraguado Inicial	75
Filler calcáreo	13
Finos, contenido	15

G

Grado de Compactabilidad	79
- Ensayos	85
Grados de Hormigón	31
Grupos por Tamaño de Partícula Gunitado	9
- por Vía Húmeda	118
- bombeado grueso	118
- bombeado fino	118

H

Hormigón Autocompactante	41, 89
Hormigón Bajo Agua	56
Hormigón Bombeado	37
Hormigón Colado In Situ	34

Hormigón Coloreado	59
Hormigón Compactado a rodillo	59
Hormigón con Agregados Expuestos	51, 99
Hormigón de Alta Resistencia Temprana	93
Hormigón de Alta Resistencia	46
Hormigón de Altas Temperaturas	73
Hormigón de Bajas Temperaturas	77
Hormigón Elaborado	33
Hormigón de Encofrado deslizante	47
Hormigón Endurecido	91
Hormigón Estandar	5
Hormigón Fresco	72
Hormigón Granolítico	71
Hormigón Gunitado o Proyectado	114
- Hormigón Gunitado Estabilizado	125
- Hormigón Gunitado Resistente a los Sulfatos	127
- Hormigón Gunitado con Mayor Resistencia al Fuego	127
Hormigón Gunitado Reforzado con Fibras de Acero	126
Hormigón Gunitado Resistente a los Sulfatos	127
Hormigón Liviano aireado	57
Hormigón Liviano	5, 57
Hormigón masivo	52
Hormigón Monolítico	70
-Hormigón para Areas de Tránsito	40
- Hormigón de baja permeabilidad	49
- Hormigón con Mayor Resistencia al Fuego	67
Hormigón para Segmentos de Túneles	68
Hormigón Pesado	55
Hormigón Reforzado con Fibra	54
Hormigón Visto	50
Hormigón	
- Hormigón Coloreado	59
- Hormigón de Diseño	20
- Hormigón Resistente a la Congelación/deshielo	43
- Hormigón Resistente a las Heladas	43
- Hormigón de Alta Resistencia Temprana	93
- Hormigón de Alta Resistencia	46
- Hormigón Prescripto	20
- Hormigón Autocompactante	41, 89
Húmedo sobre Húmedo	71

I

Incorporadores de aire	12
------------------------	----

L

Lechada	80
Ligantes	6
Losas de Pavimento	60-67

M

Máquinas de Ensayo	109
Martillo de Péndulo	94
Martillo de Rebote	79
Materiales componentes del hormigón	5
Materiales Inactivos	13
Medidas de protección en Invierno	78
Medidas para el Curado	138
Medio Ambiente y Aditivos del Hormigón	141
Método de Flujo de asentamiento	89
Método del Tremie o embudo	56
Método HILTI	123
Mezcla de Aridos	10
Mezcla Seca para gunitado	117
Mezclas Lubricantes	39
Microporos	98
Monitoreo Regular	84
Muestras de Ensayo	105
Muestreo	84

N

Norma EN 206- 1: 2000	20
Norma EN 934-2	12

P

Patrones estandar de Rotura	108	- al Fuego	54, 67, 127
Pérdida de Calor	78	- Química	101
Períodos de desencofrado	93	Resistencia a la compresión	
Permeabilidad	95, 96	- clases	26, 91
Piedras para Pavimento De Hormigón	60-67	Retardador	12
Polvo de Sílice	14, 27	Retardo de Superficie	99
Porosidad Capilar	49	Retardo Nocturno	76
Premoldeado	36	Retardo: Ensayos Preliminares	76
Presiones del Encofrado	43		
Principales componentes Del Hormigón	5		
Prismas	105		
Probetas	105		
- Cubos	105		
- Curado	105		
- Cilindros	105		
- Prismas	105		
Proceso Contra Flujo de Calor	69		
Proceso de Gunitado	117		
Profundidad de la Penetración	123		
Profundidad de Penetración del Agua	112		
Proyectado o Gunitado por Vía Seca	117		
Puzolanas	14		

R

Reacción Alkali-agregados	104		
Rebote	115		
Recompactación	52		
Reductor de Agua	12		
Relación agua/cemento	83		
Resistencia a Fisuras Posteriores	54		
Resistencia a la Abrasión	101		
Resistencia a la Compresión	91, 107		
Resistencia a la Flexión	102, 109		
Resistencia a la Helada	72		
Resistencia a la Tracción	111		
Resistencia a la tracción	115		
Resistencia a los Sulfatos	100		
Resistencia al congelamiento	78		
Resistencia a la Congelación/deshielo	98, 113		
Resistencia			
- desarrollo de	91		

T

Tabla de Dosificación para Retardo	74		
Tamaños de Tamiz	10		
Tamiz : tamaño pasante	10		
Taumasita	100		
Temperatura Crítica	73, 74		
Temperatura del hormigón, caída	79		
Temperatura del Hormigón Fresco	82		
Temperatura Mínima	78		
Terminación	80		
Terminación Temprana	93		
Tiempo de Curado	139		
Tiempo de Mezcla	44		
Tiempo de Trabajabilidad	73		
Tiempos de Retardo	74		
Trabajabilidad	83		
- Requerimientos de Trabajabilidad	72		
Transferencia de Carga;			
1-punto/ 2-puntos	110		
Tránsito, áreas de	40		

V

Vacíos Capilares	81		
Vacíos de Aire			
- Vacíos de Aire: Características	45		
- Vacíos de Aire Efectivos	44		
Vacíos de Compactación	81		
Vacíos de Gel	81		
Vacíos de Vibración	51		
Valor- k	27		
- Cenizas volantes (fly ash)	27		
- Silicafume	27		
Valor- objetivo de Consistencia	79		
Vapor	68		
Variaciones de Temperatura	136		
Vibrador, diámetros	51		

X

Xilasa de la Madera	51		
---------------------	----	--	--

Nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro son de aplicación. Se ruega consultar la versión última y actualizada de la Hoja de Datos del Producto previamente a cualquier uso.