

HORMIGÓN
MANUAL DEL HORMIGÓN SIKA

BUILDING TRUST

Manual del Hormigón Sika

Editor
Sika Services AG
Tueffenwies 16
CH-8048 Zurich

Autores
Dipl.-Ing. HTL Jürg Schlumpf, Sika Services AG
Dipl.-Ing. Bastian Bicher, Sika Services AG
Dipl.-Ing. Oliver Schwoon, Sika Services AG

Diseño
Sika Services AG
Corporate Marketing Service

Traducción a español
Equipo de Concrete Latam

Revisado por
Equipo Concrete Sika S.A.U

© 2020 by Sika AG
Todos los derechos reservados

Edition 2020

PRÓLOGO

Este nuevo Manual del hormigón es una guía capítulo a capítulo, sobre los principales métodos y procesos de producción de hormigón para satisfacer diferentes requisitos. Por supuesto, también se tienen en cuenta las crecientes exigencias de sostenibilidad del hormigón.

Uno de los principales requisitos para un hormigón durable es su impermeabilidad. Pero el hormigón impermeable por sí solo no es todo lo que se necesita para hacer que una estructura sea impermeable. En este Manual del Hormigón se ha añadido un capítulo específico "White Box" sobre "Construcción de Hormigón Impermeable" que considera la forma y las dimensiones del diseño, el diseño de la mezcla de hormigón impermeable, y las soluciones alternativas para el sellado de juntas impermeables.

El hormigón moderno se produce a partir de seis componentes. Esto da lugar a una matriz compleja, cuyo control supone constantemente un reto recurrente para todos los implicados. Para cada estructura, los componentes del hormigón deben adaptarse a los requisitos de rendimiento del hormigón fresco y del endurecido.

Los autores del Manual del Hormigón han trabajado en Sika durante muchos años como ingenieros en la gestión de proyectos y productos. Este documento está escrito tanto como una introducción al hormigón y su aplicación, como para un estudio más profundo del material de construcción más importante, el hormigón, y pretende ser una fuente de información fiable para nuestros socios.

Contenido

PRÓLOGO		3
1	HORMIGÓN MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	7
1.1	Introducción	7
1.2	Básicos	8
1.2.1	Términos de hormigón	8
1.2.2	Aditivos	8
1.3	Historia de los aditivos en Sika	9
1.4	Principales usos del hormigón	10
2	SOSTENIBILIDAD	14
2.1	Aditivos para hormigón y el medio ambiente	14
2.2	Poderoso y sostenible	16
2.3	Ciclo de vida para aditivos de hormigón	20
3	LOS SEIS COMPONENTES DEL HORMIGÓN	24
3.1	Cemento y Ligante	24
3.1.1	Cemento acorde con la norma europea	25
3.1.2	Cemento acorde con la norma ASTM	27
3.2	Áridos para hormigón	28
3.2.1	Áridos estándar acordes con la norma europea	29
3.2.2	Áridos acordes con la norma ASTM	30
3.2.3	Arenas perjudiciales	32
3.3	Aditivos para hormigón	36
3.3.1	Aditivos para hormigón acordes con la norma europea	36
3.3.2	Aditivos para hormigón acordes con la norma ASTM	39
3.3.3	Tecnología Policarboxilato Éter	40
3.3.4	Productos Sika	43
3.4	Adiciones para hormigón y Materiales Cementantes Suplementarios (SCM)	44
3.4.1	SCM acordes a la norma europea	44
3.4.2	SCM acordes a la norma ASTM	45
3.5	Fibras	46
3.5.1	Clasificación de las fibras	47
3.5.2	Cómo especificar hormigón reforzado con fibras	48
3.5.3	Gama de SikaFiber®	49
3.6	Agua	50
3.6.1	Agua acorde a la norma europea	50
3.6.1	Agua acorde a la norma ASTM	51

4	DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN	52
4.1	Cálculos del diseño de mezclas de hormigón	52
4.2	Concepto del diseño volumen de pasta	56
5	ENSAYOS Y PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO	60
5.1	Relación agua/ cemento	60
5.1.1	Método de prueba en recipiente	61
5.1.2	Método ensayo microondas	61
5.2	Trabajabilidad y consistencia	63
5.3	Hormigón clima frío	72
5.4	Contenido de aire hormigón fresco	77
5.5	Densidad hormigón fresco	80
5.6	Temperatura hormigón fresco	81
5.7	Cohesión y sangrado	82
6	APLICACIÓN DE HORMIGÓN	86
6.1	Hormigón con grúa y cuba	86
6.2	Hormigón bombeado	88
6.3	Hormigón autocompactante (HAC)	92
6.4	Hormigón para áreas de tráfico alto	96
6.5	Hormigón en masa	98
6.6	Hormigón monolítico para soleras industriales	100
6.7	Hormigón compactado con rodillo (RCC)	102
6.8	Hormigón de encofrado deslizante	104
6.9	Hormigón proyectado	106
6.10	Hormigón prefabricado pesado	110
6.11	Hormigón para dovelas de túneles	114
6.12	Hormigón semiseco	116
6.13	Hormigón con impresión 3D	122
7	PROPIEDADES Y ENSAYOS DEL HORMIGÓN ENDURECIDO	126
7.1	Requerimientos para probetas y moldes	126
7.2	Densidad	130
7.3	Resistencia a compresión	131
7.4	Resistencia a flexión	137
7.5	Resistencia a tensión	139
7.6	Módulo de Young (Módulo E)	140
7.7	Retracción	142
7.8	Estanqueidad	144
7.9	Resistencia a las heladas y a hielo/deshielo	148
7.10	Resistencia a la abrasión	150
7.11	Resistencia química	152
7.12	Resistencia a sulfatos	154
7.13	Resistencia AAR	156
7.14	Resistencia al fuego	158
7.15	Migración de cloruros	160
8	TIPOS DE HORMIGÓN	162

8.1 Hormigón impermeable 162
8.2 Hormigón con resistencia a la corrosión 166
8.3 Hormigón con resistencia a las heladas y a hielo/deshielo 170
8.4 Hormigón con resistencia a sulfatos 174
8.5 Hormigón con resistencia al fuego 178
8.6 Hormigón resistente a la reacción álcali-sílice 182
8.7 Hormigón resistente a la abrasión 186
8.8 Hormigón con resistencia química 190
8.9 Hormigón de alta resistencia 192
8.10 Hormigón con retracción controlada 196
8.11 Hormigón reforzado con fibras 198
8.12 Hormigón visto 202
8.13 Hormigón coloreado 204
8.14 Hormigón bajo agua 206
8.15 Hormigón ligero 208
8.16 Hormigón pesado 210
8.17 Hormigón para pilotes 212
8.18 Hormigón permeable 214

9 CONCEPTO WHITE BOX 218

10 RECOMENDACIONES PARA LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN 224
10.1 Preparación de encofrados 224
10.2 Puesta en obra del hormigón 232
10.3 Curado 234

11 NORMAS 240
11.1 Normas EN 2066 240
11.1.1 Definiciones desde la norma 241
11.1.2 Tipos de exposición relacionadas con acciones ambientales 242
11.1.3 Clasificación por consistencia 247
11.1.4 Tipos de resistencia a compresión 248
11.1.5 El valor k (tomado de EN 206) 250
11.1.6 Contenido de cloruros (tomado de EN 206) 252
11.1.7 Especificación de hormigón 252
11.1.8 Control de conformidad 253
11.1.9 Prueba de otras propiedades del hormigón 253
11.2 Normas EN 934-2 254
11.2.1 Requerimientos especiales de la norma 254
11.3 ASTM “hormigón y áridos” 262
11.4 ASTM para aditivos 266

12 ÍNDICE 270

1 HORMIGÓN MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN



Sika - con una larga experiencia
Fundada por Kaspar Winkler en 1910, el nombre Sika es hoy sinónimo de soluciones impermeables y duraderas. Comenzando por el mortero de acabado, utilizado por primera vez en la impermeabilización del antiguo túnel ferroviario de San Gotardo, y extendiéndose a sistemas completos de impermeabilización para un amplio número de aplicaciones, que actualmente incluyen también el túnel de base de San Gotardo, el túnel ferroviario de alta velocidad más largo del mundo, los productos Sika contribuyen al éxito de la construcción.
El diseño de un edificio estanco completo, desde el sótano hasta la cubierta, requiere el desarrollo de soluciones para la más amplia gama de aplicaciones, soluciones que puedan instalarse de forma práctica y que proporcionen una protección permanente. En el caso de una estructura completa, esto significa el sellado de superficies como techos, paredes subterráneas o placas de cimentación. También significa asegurar la estanqueidad de las juntas de construcción y de las juntas de movimiento. Además, las soluciones de impermeabilización en las zonas visibles deben cumplir unos requisitos estéticos elevados.
Además del agua, las estructuras de los edificios están expuestas a una amplia gama de fuerzas y tensiones, empezando por las tensiones mecánicas derivadas del tipo de construcción y extendiéndose a diversas agresiones externas. Las condiciones de temperaturas extremas, calientes o frías, la agresividad del agua u otros productos químicos, las tensiones continuas de rodadura, abrasión o pulsación de las superficies o, en casos extremos, el impacto del fuego, ejercen enormes tensiones sobre las estructuras en su conjunto y sobre los materiales de construcción.
¡El hormigón ha marcado el desarrollo de Sika de forma sostenible, y desde 1910 Sika ha contribuido notablemente al desarrollo del hormigón como material de construcción durable!

1.2 BÁSICOS

En realidad, tres componentes principales son suficientes para producir el hormigón:
- Ligante (Cemento)
- Áridos
- Agua

Debido a las exigencias cada vez mayores en cuanto a la calidad del hormigón (sobre todo la durabilidad) y a los enormes avances en la tecnología de los aditivos y el hormigón, ahora es posible producir muchos tipos diferentes de hormigón.





Los áridos (arena y áridos gruesos) son los principales componentes del hormigón, con más del 70% en volumen. Por lo tanto, el tipo y la calidad de los áridos son de vital importancia para las propiedades del hormigón, tanto fresco como endurecido.

1.2.1 CONCRETE TERMS

Hormigón estándar	Hormigón con un tamaño máximo de árido > 8 mm Densidad (secado en estufa) 2000 kg/m³ < densidad <2600 kg/m³
Hormigón pesado	Densidad (secado en estufa) > 2.600 kg/m³
Hormigón ligero	Densidad (secado en estufa) > 800 kg/m³ y < 2.000 kg/m³
Hormigón fresco	Hormigón, mezclado, mientras puede ser trabajado y compactado
Hormigón fresco	Hormigón al fraguar, con resistencia medible
Hormigón “verde”	Recién colocado y compactado, estable, antes del inicio de fraguado (hormigón verde es un término de la industria de los prefabricados)

Otros términos utilizados son hormigón proyectado, hormigón bombeado, hormigón autocompactante, etc. Definen la colocación en el encofrado, el trabajo y/o la manipulación hasta el punto de instalación (véase el capítulo 6).

1.2.2 ADITIVOS

Además de los tres componentes principales del hormigón, los aditivos y adiciones también se utilizan en hormigones con mayores especificaciones de rendimiento tanto en estado fresco como en endurecido.

1.3 HISTORIA DE LOS ADITIVOS EN SIKA

Sika comenzó a desarrollar los primeros aditivos para mezclas de cemento en 1910, año en que fue fundada. En aquella época, los principales objetivos eran acortar el tiempo de fraguado de las mezclas de mortero, hacerlas impermeables o aumentar su resistencia. Algunos de estos primeros y exitosos productos de Sika siguen utilizándose hoy en día.
El agua es necesaria en el hormigón para la consistencia y la hidratación del cemento, pero un exceso de agua es desfavorable para las propiedades del hormigón endurecido. Los productos Sika también se han desarrollado para reducir el contenido de agua manteniendo o incluso mejorando la consistencia (trabajabilidad).
Desde la fundación de la empresa, Sika siempre ha estado presente en los lugares en los que se mezclan cemento, áridos, arena y agua para obtener un mortero u hormigón: Sika es su socio de confianza para la construcción económica de estructuras de hormigón duraderas.

Date	Product base	Typical Sika Product	Main effects
1910	Solución acuosa alcalina	Sika®-1	Impermeabilizante
1930	Lignosulfonato	Plastocrete®	Reducción agua hasta 10%
1940	Gluconato	Plastiment®	Reducción agua hasta 10% más retardante
1960	Mezcla de carbohidrato y polifosfato Mezcla de surfactante sintético	Sika® Retarder SikaControl® AER	Retardante Inclusor de aire tradicional
1970 1980 1990	Naftaleno Melamina Vinil copolímeros	Sikament®	Reducción agua hasta 20% Reducción agua hasta 20% Reducción agua hasta 25%
1990	Mezcla de solución salina orgánica e inorgánica	SikaRapid®	Acelerante endurecedor
1992	Aminoalcoholes	Sika® FerroGard®-901	Inhibidor de Corrosión
2000	Policarboxilatos Modificados (PCE)	Sika® ViscoCrete®	Reducción agua hasta 40%
2010	Policarboxilatos Modificados (PCE)	Sika ViscoFlow®	Retención del asentamiento hasta 7 horas
2018	Mezcla de calcio-carbonato y polvo de aleación	SikaControl® AER-200 P	Inclusor de aire químico

1.4 PRINCIPALES USOS DEL HORMIGÓN



Tiene sentido clasificar los usos del hormigón sobre la base de dónde y cómo se produce, junto con su método de aplicación, ya que cada aplicación tiene diferentes requisitos y propiedades. Las ventas de cemento en 2019 para cuatro países diferentes se dan como ejemplo de cómo varían los porcentajes para los diferentes canales de distribución y uso para los métodos de uso globales:

	Consumo de cemento [%]			
	Germany	USA	China	India
Plantas de hormigón preparado	57	67	40	15
Productores de componentes prefabricados y productos de hormigón	22	8	15	15
Contratistas	15	13	7	25
Otras ventas	6	12	38	45

La correcta planificación y preparación de las obras de hormigón son cruciales para el uso exitoso de este material de construcción.

Pasos en la preparación

Al preparar un diseño de hormigón, el rendimiento de este debe estar definido por los requisitos específicos del proyecto. Deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros:

- Requerimientos de resistencia
- Requerimientos de durabilidad
- Requerimientos estéticos
- Tamaño máximo de los áridos
- Equipos de mezclado
- Método de colocación
- Índice de colocación
- Consistencia del hormigón (tiempo de trabajabilidad)
- Temperatura ambiente
- Curado/acabado de la superficie
- Métodos de entrega y tiempo
- Definición de requerimientos de ensayos
- Diseño de mezcla y especificación
- Ensayos preliminares
- Ajustes de diseño de mezcla si es necesario
- Retiro de las formaletas

Producción



La producción de hormigón es un factor crítico para el resultado de este y consiste básicamente en la dosificación y mezcla de los componentes. Los siguientes parámetros pueden afectar las propiedades del hormigón durante la mezcla:

- Diseño de la mezcla de hormigón
- Tipo, dosificación y timing de aditivos
- Tipo y tamaño de la amasadora
- Intensidad de mezcla y tiempo de mezclado
- Operario de la amasadora de hormigón
- Limpieza/mantenimiento de la amasadora
- Adición de materias primas
- Control de calidad en planta
- Procedimiento de mezclado

Preparación en obra



La preparación en la obra incluye lo siguiente:

- Instalación de los sistemas de manipulación/colocación del hormigón.
- Preparación del encofrado (incluida la aplicación de desencofrantes)
- Comprobación de la armadura
- Comprobación del encofrado (fijación, integridad, presión del encofrado)
- Suministro de herramientas para la compactación
- (vibradores, etc.) y el acabado (vigas y llanas, etc.)

Entrega



Cuando se suministra el hormigón, hay que tener en cuenta los siguientes criterios adicionales:

- Tiempo de entrega (condiciones de tráfico, posibles demoras, etc.)
- Definir las revoluciones necesarias del mixer durante el trayecto
- No dejar el camión hormigonera parado al sol durante los periodos de espera
- Para una consistencia fluida, definir la capacidad máxima a transportar
- No añadir agua ni dosificación extra de aditivo (a menos que se especifique)
- Volver a mezclar bien antes de descargar (un minuto por m^3)

Colocación del hormigón



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

- Revisar albarán de entrega
- Utilización del equipo adecuado (vibradores, etc.)
- Evitar la manipulación excesiva del hormigón.
- Colocación y compactación en continuo
- Recompactación en grandes vertidos
- Tomar las medidas oportunas durante las interrupciones
- Realizar los acabados necesarios (inspección final)

Curado



Para conseguir una calidad constante y consistente del hormigón, es esencial un curado adecuado y correcto. A ello contribuyen las siguientes medidas de curado:

- Proteger en general de las influencias climáticas adversas (sol directo, viento, lluvia, heladas, etc.)
- Evitar las vibraciones (después del acabado).
- Utilizar un agente de curado
- Cubrir con láminas o mantas antiheladas
- Mantener la humedad/nebulizar o rociar si es necesario
- Mantener el tiempo de curado adecuado a la temperatura ambiente





2 SOSTENIBILIDAD

2.1 ADITIVOS PARA HORMIGÓN Y EL MEDIO AMBIENTE

Los aditivos del hormigón son aditivos líquidos o en polvo. Se añaden a la mezcla de hormigón en pequeñas cantidades para cumplir requisitos específicos en cuanto a:

- Fijar el comportamiento del hormigón fresco
- Controlar el fraguado o el endurecimiento
- Aumentar la durabilidad

La intención de los aditivos es siempre mejorar el hormigón. En términos cuantitativos, los superplastificantes (reductores de agua de gama media y alta) y los plastificantes (reductores de agua) representan, en conjunto, más de la mitad de todos los aditivos utilizados en la actualidad.

¿En qué medida los aditivos del hormigón se filtran, biodegradan o liberan sustancias volátiles?

Los aditivos deben ser NO tóxicos, solubles en agua y biodegradables.

Los ensayos realizados en probetas de hormigón pulverizado muestran que, en principio, pequeñas cantidades de superplastificante y sus productos de descomposición son liberados. Sin embargo, los materiales se degradan bien y no causan ninguna contaminación relevante de las aguas subterráneas. Incluso en las condiciones más extremas, sólo pequeñas cantidades de carbono orgánico se filtran al agua.

¿Qué tan amigables con el ambiente son los superplastificantes?

Los aditivos del hormigón son apropiados para su aplicación y, cuando se utilizan correctamente, son inofensivos para las personas, los animales y el medio ambiente.

Las ventajas técnicas del superplastificante para los clientes y los profesionales de la construcción superan la aparición de emisiones bajas y controlables durante su uso. Los aditivos del hormigón merecen ser calificados como respetuosos con el medio ambiente porque crean una contaminación insignificante del aire, el suelo o las aguas subterráneas.

Publicaciones:

- Asociación de fabricantes suizos de aditivos para el hormigón (FSHBZ) 'EFCA-Sello de calidad ambiental para los aditivos del hormigón: Directrices técnicas' Informe técnico
- Proyecto de la UE ANACAD
- 'Análisis y resultados de los aditivos del hormigón en las aguas residuales' Informe final BMG

Membresía de la EFCA
Sika es miembro de EFCA, la Federación Europea de Asociaciones de Aditivos del Hormigón

.

Las empresas locales de Sika están trabajando en todo el mundo junto con sus asociaciones locales de hormigón y aditivos, para apoyar y promover un desarrollo cada vez más sostenible mediante el uso de tecnologías de aditivos para el hormigón.

Selección de asociaciones:

2.2 PODEROSO Y SOSTENIBLE

Los aditivos del hormigón pueden mejorar la sostenibilidad de este de muchas maneras diferentes. En primer lugar, pueden mejorar significativamente la calidad y el rendimiento del hormigón, lo que prolonga su vida útil. La adición de aditivos estabilizadores y reductores de agua especiales también permiten utilizar áridos reciclados para la producción de hormigón de buena calidad. Por último, la energía necesaria para obtener altas resistencias tempranas en el hormigón prefabricado puede reducirse en gran medida o incluso sustituirse por completo mediante aditivos reductores de agua y acelerantes.

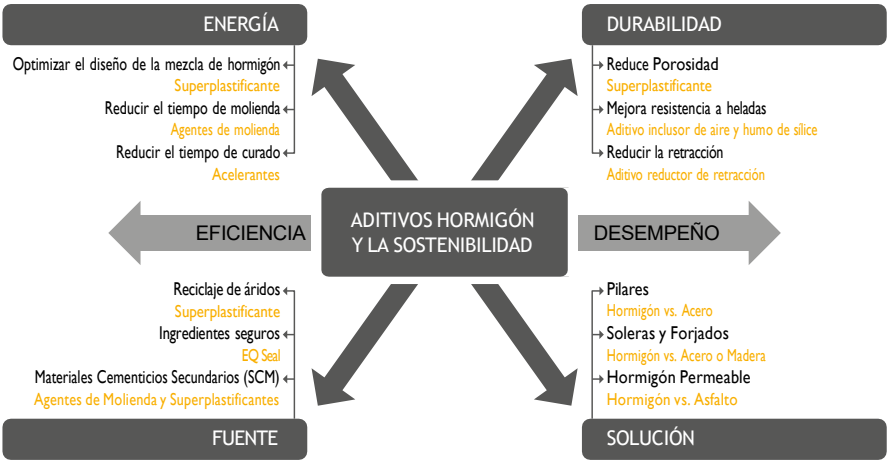


Fig. 2.2.1: Influencia de los aditivos para hormigón en la sostenibilidad del hormigón

Eficiencia

Los aditivos del hormigón son una parte importante para lograr una reducción significativa de energía en el proceso de colocación del hormigón. Los aditivos tienen una importante tarea en la perspectiva de la sostenibilidad.

Desempeño

El hormigón es un material de construcción con un notable desempeño de producto en términos de durabilidad y soluciones técnicas y los aditivos del hormigón forman parte de este exitoso concepto.



Ahorro de Recursos y Reducción de Residuos en la Producción de Hormigón

El hormigón es uno de los materiales de construcción más versátiles y duraderos que se conocen, lo que lo convierte en el material de construcción más utilizado del mundo. Es omnipresente en nuestro entorno construido, utilizándose en escuelas, hospitales, casas, oficinas, carreteras, ferrocarriles, presas, etc. Dada la gran demanda de hormigón, su producción y aplicaciones sostenibles son un tema de creciente importancia para la industria de la construcción y los reguladores de todo el mundo. El hormigón viejo se recicla cada vez más. Se tritura y se utiliza como árido para la producción de hormigón nuevo. La eficiencia de los materiales se mejora aún más mediante el reciclaje in situ de material. Influencia de los aditivos para hormigón en la sostenibilidad del hormigón. Los beneficios medioambientales son evidentes:

- La reutilización de los materiales existentes reduce la extracción de nuevos materiales áridos y
- Se reduce la contaminación causada por el transporte de residuos a los vertederos

Aditivos para un hormigón de calidad fabricado con áridos reciclados

El reciclaje preserva los recursos naturales de grava y arena y reduce residuos de la demolición que, de otro modo, se eliminaría en los vertederos. Los áridos reciclados están permitidos en una amplia gama de aplicaciones de la construcción y deben cumplir con los requisitos de la especificación correspondiente. Los aditivos de Sika permiten el uso de hormigón reciclado como árido en la producción de hormigón, de modo que se puede producir un hormigón de buena calidad y trabajabilidad.

Solución Sika: Aditivos para el reciclado in situ del material excavado

Durante la construcción del nuevo estadio deportivo de Zúrich se llevó a cabo una aplicación ejemplar del reciclaje in situ. El gran reto era la producción de hormigón con una calidad constante utilizando áridos producidos a partir de material excavado en la obra. Esto sólo fue posible con un ajuste continuo de la formulación del hormigón y los conocimientos técnicos de Sika en materia de aditivos. Además de ahorrar en la extracción de materias primas, se evitaron más de 6.000 viajes en camión porque se necesitó menos transporte

Materias primas renovables para Sika® ViscoCrete®

Los superplastificantes a base de éteres de policaboxilato (PCE) se utilizan hoy en día de forma generalizada como aditivos del hormigón para mejorar su trabajabilidad durante la colocación y su durabilidad tras el endurecimiento. Además, los PCE pueden utilizarse para reducir el impacto medioambiental del hormigón, principalmente al permitir diseños de mezclas de hormigón con cantidades reducidas de cemento y/o un mayor uso de materiales cementantes suplementarios como escoria, cenizas volantes o piedra caliza.
Todos los superplastificantes PCE de alto rendimiento se basan en monómeros derivados del petróleo crudo. Como alternativa al petróleo crudo se han considerado otros materiales, los materiales de base biológica. Los materiales que se derivan total o parcialmente de recursos de biomasa son de base biológica. Los recursos de biomasa son materiales orgánicos que están disponibles de forma renovable o recurrente, como los residuos de las cosechas, los residuos de la madera, las hierbas y las plantas acuáticas.

Sika ha desarrollado una nueva tecnología de síntesis para producir PCE que se basa principalmente en materias primas renovables. Esta innovación ecológica está en consonancia con uno de los objetivos corporativos de Sika de desarrollar productos sostenibles. Los productos Sika® ViscoCrete® de base biológica se lanzaron a finales de 2013 en la India. Más del 80% de las materias primas a base de petróleo utilizadas en Sika® ViscoCrete® han sido sustituidas por sustancias vegetales renovables que quedan como residuos de la producción de azúcar. Además de los beneficios ecológicos, Sika® ViscoCrete® de base biológica también mejora las propiedades del hormigón, incluyendo una reducción sustancial de agua y un comportamiento robusto en el hormigón fresco, creando un equilibrio ideal entre su densidad y sus características de flujo.

Sika Francia ha tomado el PCE de base biológica y ha formulado un producto Sika® ViscoCrete®. El producto resultante, denominado Sika®ViscoCrete®-850 Vegetal, ha formado parte de un proyecto premiado, donado por la asociación francesa de premezclado para el concurso "Sustainable Building E-C". Los ganadores fueron seleccionados de acuerdo con varios criterios, incluyendo el diseño del proyecto, su desempeño (hecho posible por el hormigón), su calidad y su eficiencia económica, enfocados en la capacidad de reducir la huella de CO_2.



2.3 EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LOS ADITIVOS PARA HORMIGÓN

Se identifican las mega tendencias que cambiarán también las necesidades de materiales de construcción como el hormigón. Las mega tendencias seleccionadas son:

- Eficiencia energética y de recursos
- Cambio climático
- Escasez de agua
- Aumento de la necesidad de infraestructuras eficientes
- Necesidad creciente de productos seguros y sin riesgos

El Análisis del Ciclo de Vida (LCA) proporciona un método para cuantificar y evaluar los posibles impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida de un producto, desde la compra de la materia prima hasta la producción, el uso, el tratamiento al final de la vida útil, el reciclaje y la disposición final, lo que se conoce como "de la cuna a la tumba" (ISO, 2006). El LCA ayuda a evaluar los productos y las actividades dentro del marco de las megatendencias, concretamente proporcionando una evaluación cuantitativa de su expediente medioambiental. Esto permite mejorar y diferenciar los productos.

Enfoque "de la cuna a la puerta":
En un enfoque "de la cuna a la puerta", el LCA investiga el impacto ambiental potencial de un producto desde la extracción de la materia prima hasta la producción final.

En el caso de los aditivos para el hormigón, se consideran más relevantes las cuatro categorías de impacto y los indicadores de recursos que se indican a continuación:

- Demanda de energía acumulada (valor calorífico neto)
- Potencial de calentamiento global (GWP 100 años)
- Indicador ecológico 99
- Entrada neta de agua dulce

Tabla 2.3.1: Análisis del ciclo de vida de un diseño de mezcla de hormigón ecológicamente optimizado

Parámetro de comparación	Diseño de mezcla de hormigón de referencia	Diseño de mezcla de hormigón mejorado
Comparación diseño de mezcla	Cemento: 350 kg/m³ Adición: 0 kg/m³ Cont. de agua (0,52): 182 L/m³ Arena: 857 kg/m³ Gravilla: 1.007 kg/m³	Cemento: 280 kg/m³ Adición (Caliza): 40 kg/m³ Cont. de agua (0,52): 145,6 L/m³ Arena: 926 kg/m³ Gravilla: 1.087 kg/m³ Superplasticizer: 3,36 kg/m³
Comparación tecnología del hormigón	Hormigón fresco: Mesa de sacudidas (FTS): 44 cm Resistencia a la compresión: 1-día: 22,3 N/mm² 28-días: 40,0 N/mm² Porosidad: 4,8%	Hormigón fresco: Mesa de sacudidas (FTS): 42 cm Resistencia a la compresión: 1-día: 22,4 N/mm² 28-días: 41,4 N/mm² Porosidad: 2,8%
Comparación económica	€/m³ 80,75 Costes Adicionales: más cemento y agua	€/m³ 80,25 Costes Adicionales: más aditivo, piedra caliza, gravilla y arena
Evaluación del impacto del ciclo de vida De la cuna a la puerta (Método: CML2001 – Nov.09)		
Entrada neta de agua dulce	182 L/m³	146 L/m³
Potencial de calentamiento Global	286 kg CO_2-Equiv./m³	230 kg CO_2-Equiv./m³
Demanda de energía acumulada	1.196 MJ/m³	982 MJ/m³
Eco indicator 99	4,5 puntos	3,7 puntos

Ejemplo: Tanque de almacenamiento de hormigón etileno

En Bélgica se ha construido un depósito de hormigón de etileno de un millón de toneladas. El volumen total de hormigón es de 3.461 m³. Para mostrar los beneficios de utilizar la tecnología del superplastificante Sika® ViscoCrete® en este proyecto específico, se realizó una evaluación del ciclo de vida (LCA) de dos sistemas de hormigón con el mismo rendimiento (relación a/c de 0,46). El sistema de hormigón contiene un superplastificante en su fórmula, mientras que el sistema de hormigón alternativo fue diseñado para proporcionar el mismo rendimiento sin la adición de un superplastificante. El LCA va de la cuna a la puerta, lo que incluye todas las fases del ciclo de vida, desde la extracción de la materia prima y la logística hasta la fabricación y el envasado.

Resultados y conclusiones

Para evaluar las ganancias derivadas del uso del superplastificante en términos de reducción de agua y cemento, se muestran a continuación el uso neto de agua dulce, la demanda energética acumulada y el potencial de calentamiento global (PCG) para ambos sistemas de hormigón. La entrada de agua dulce neta contabiliza el consumo de agua dulce (por ejemplo, agua de alimentación, agua subterránea, agua de lago, agua de río, agua de superficie). El GWP mide la contribución potencial al cambio climático, centrándose en las emisiones de gases de efecto invernadero (p. ej., CO2, CH4), que aumentan la absorción de la radiación térmica de la atmósfera, provocando un aumento de la temperatura en la superficie de la Tierra.

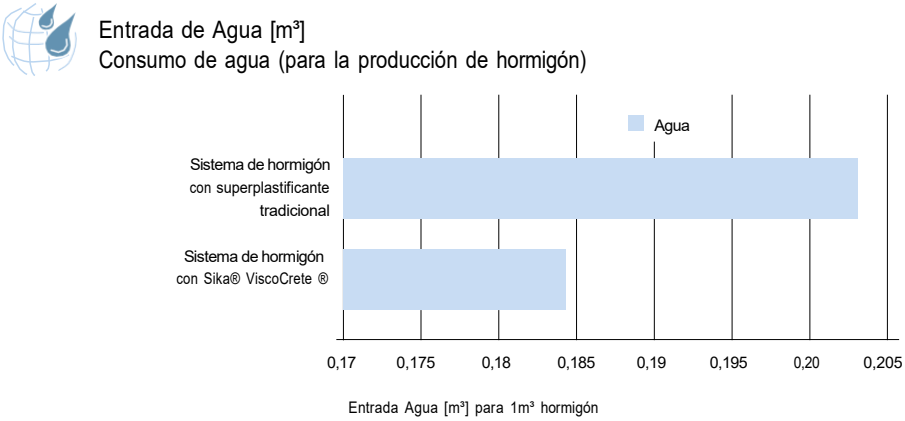


Fig. 2.3.1: Entrada neta de agua con y sin Sika® ViscoCrete®

Potencial de Calnentamiento Global [kg CO²-eq.], CML 2001
Contribución potencial al cambio climático debido a la emisión de gases de efecto invernadero

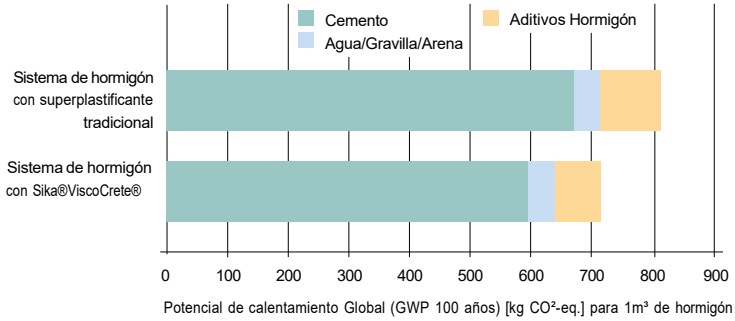


Fig. 2.3.2: Potencial de Calentamiento Global con y sin Sika® ViscoCrete®

Demanda de energía acumulada [MJ]
Cantidad total de energía primaria procedente de recursos renovables y no renovables

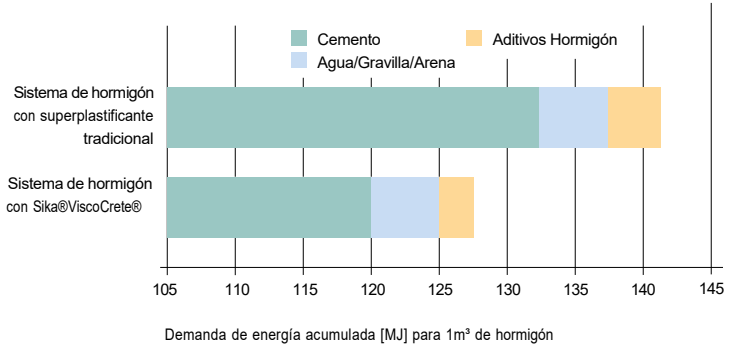
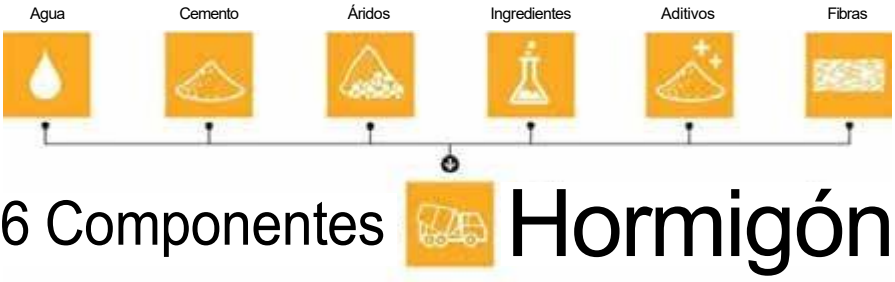


Fig. 2.3.3: Demanda acumulada de energía con y sin Sika® ViscoCrete®

3 LOS SEIS COMPONENTES DEL HORMIGÓN



El hormigón es un material de construcción versátil. En el pasado, el hormigón se componía de cemento, agua y áridos. Para cumplir los requisitos cada vez más exigentes, el hormigón moderno se produce a partir de hasta seis componentes. Esto da lugar a una matriz compleja, que supone un reto recurrente para todos los implicados. Para cada estructura, los componentes del hormigón deben adaptarse a los requisitos de rendimiento del hormigón fresco y del endurecido.

3.1 CEMENTO Y LIGANTE

El cemento es el ligante hidráulico (hidráulico = que reacciona al combinarse con el agua) que se utiliza para producir el hormigón. La pasta de cemento (cemento mezclado con agua) fragua y se endurece por hidratación, tanto al aire como bajo el agua.
Los principales materiales de base, por ejemplo para el cemento Portland, son la piedra caliza, la marga y la arcilla, que se mezclan en proporciones definidas.
Esta mezcla cruda se quema a unos 1.450°C para formar el clínker, que luego se moltura hasta alcanzar la conocida finura del cemento.



3.1.1 CEMENTO DE ACUERDO CON NORMA EUROPEA

En Europa, los cementos están bajo la norma EN 197-1 (composición, especificaciones y criterios de conformidad). La norma divide los cementos comunes en cinco tipos:

CEM I	Cemento Portland
CEM II	Cemento Portland con adiciones
CEM III	Cemento con escoria de alto horno
CEM IV	Cemento puzolánico
CEM V	Cemento compuesto

Los diversos tipos de cemento pueden contener diferentes componentes entre el clínker de cemento Portland (K):

Componentes principales	Índice de tipos (EN 197-1)
Escoria granulada	S
Humo de sílice	D
Puzolanas naturales e industriales	P o Q
Cenizas volantes silíceas	V
Cenizas volantes calcáreas	W
Esquistos calcinados (p.e. aceite de esquito)	T
Caliza	L o LL

Componentes menores

Se trata principalmente de materiales minerales inorgánicos seleccionados procedentes de la producción de clínker o componentes como se describen (a menos que ya estén contenidos en el cemento como componente principal, ver página 26).



Tabla 3.1.1: Tipos de cemento y su composición de acuerdo con EN 197-1

Main cement type	Denominación	Tipo de cemento	Composición (partes por peso en %)[1]										
			Componentes principales										Componentes menores
			Cemento Portland clínker	Escoria	Polvo de sílice	Puzolanas		Ceniza volante		Esquisto calcinado	Caliza		
						Naturales	Artificial	Silíceas	Calcáreas				
			K	S	D[2]	P	Q	V	W	T	L[4]	L[5]	
CEM I	Cemento Portland	CEM I	95–100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
CEM II	Cemento Portland Escoria	CEM II/A-S	80–94	6–20	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
		CEM II/B-S	65–79	21–35	–	–	–	–	–	–	–	–	0–5
	Cemento Portland polvo silice	CEM II/A-D	90–94	–	6–10	–	–	–	–	–	–	–	0–5
	Cemento Portland 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
	Cemento Portland ceniza volante	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
	Cemento Portland esquisto	CEM II/A-T	80–94	–	–	–	–	–	–	6–20	–	–	0–5
		CEM II/B-T	65–79	–	–	–	–	–	–	21–35	–	–	0–5
	Cemento Portland 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	0–5
	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 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	CEM IV/A	65–89	–	11–35					–	–	–	0–5
		CEM IV/B	45–64	–	21–55					–	–	–	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 números de la tabla se refieren al total de componentes mayores y menores.

2 El contenido de polvo de sílice está limitado al 10%.

3 En los cementos 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 tipo de componente principal debe estar especificado por la designación del cemento.

4 El carbono orgánico total (COT) no debe superar el 0,2% en peso.

5 El carbono orgánico total (COT) no debe superar el 0,5% en peso.

3.1.2 CEMENTO ACORDE A LA NOMRA ASTM

De acuerdo con las regulaciones ASTM, el cemento es descrito como:

Cemento Portland ASTM C150

Cemento mezclado ASTM C595

ASTM C150 Especificación estándar para el cemento Portland cubre los siguientes tipos de cemento:

Tipo I	Para uso cuando las propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo no son requeridas.
Tipo IA	Cemento inclusor de aire para los mismos usos que el Tipo I, cuando la incorporación de aire es deseada.
Tipo II	Para uso general, especialmente cuando se requiera resistencia moderada a los sulfatos.
Tipo IIA	Cemento inclusor de aire para los mismos usos que el Tipo II, cuando la incorporación de aire es deseada.
Tipo II(MH)	Para uso general, especialmente cuando se desea calor de hidratación y resistencia a los sulfatos moderado.
Tipo II(MH)A	Cemento inclusor de aire para los mismos usos que el Tipo - II(MH), cuando la incorporación de aire es deseada.
Tipo III	Para uso cuando se requiere alta resistencia temprana.
Tipo IIIA	Cemento inclusor de aire para los mismos usos que el Tipo III, cuando la incorporación de aire es deseada.
Tipo IV	Para uso cuando se desea bajo calor de hidratación.
Tipo V	Para uso cuando se requiere alta resistencia a sulfatos.

ASTM C 595 Especificación estándar para cemento hidráulico mezclado cubre los cementos hidráulicos mezclados para aplicaciones generales y especiales, usando escoria o puzolana, o ambos, con cemento Portland o cemento Portland-clínker o escoria con cal.

Estos cementos se clasifican en:

Tipo IS	Cemento portland-escoria de alto horno
Tipo IP	Cemento Portland-puzolana
Tipo IT	Cemento mezclado ternario

También se pueden describir de acuerdo con las propiedades de incorporación de aire, resistencia moderada a los sulfatos, calor moderado de hidratación, alta resistencia a los sulfatos o bajo calor de hidratación.

3.2 ÁRIDOS PARA HORMIGÓN

El árido para hormigón, que consiste en arena y áridos gruesos, representa el esqueleto de granular del hormigón. Todas las cavidades dentro de este esqueleto deben rellenarse con pasta conglomerante lo más completa posible. Los áridos de hormigón suman aproximadamente el 80% del peso del hormigón y el 70% del volumen del hormigón. El uso óptimo del tamaño y la calidad del árido mejora la calidad del hormigón.



Los áridos pueden ser de origen natural (fluvial o glacial) o producidos industrialmente como áridos ligeros o áridos reciclados. Para el hormigón de alta calidad, se limpian y clasifican en instalaciones industriales mediante procesos mecánicos como trituración, lavado, cribado y mezcla.
Los áridos para hormigón deben tener una unión fuerte con la pasta de cemento endurecida, no deben interferir con el endurecimiento del cemento y no deben tener un efecto negativo en la durabilidad del hormigón.

Áridos	Densidad	Fuente
Estándar	2,2 – 3,0 kg/dm³	De depósitos naturales, p. Ej. grava de río, grava de origen glacial, etc. Material redondo o machacado (p. Ej., Túnel excavado)
Pesados	> 3,0 kg/dm³	Como baritas, mineral de hierro, granulado de acero para hormigón pesado (por ejemplo, hormigón con protección contra la radiación)
Ligeros	< 2,0 kg/dm³	Como arcilla expandida, piedra pómez, poliestireno para hormigón ligero, hormigones aislantes
Para alta durabilidad	> 2,5 kg/dm³	Como cuarzo, carborundo para revestimiento de hormigón granítico
Granulados reciclados	approx. 2,4 kg/dm³	De hormigón viejo triturado, etc.

3.2.1 ÁRIDOS ESTÁNDAR SEGÚN NORMA EUROPEA

En Europa, los áridos se definen en la norma EN 12620. Esta norma es muy completa y para dar más detalles que la siguiente lista estaría fuera del alcance de este documento.

Términos importantes de la norma (con notas adicionales):

- Árido Natural
  Proviene de depósitos minerales; solo se somete a preparación mecánica y/o lavado.
- Árido mixto
  Árido constituido por una mezcla de áridos finos y gruesos.
  Se puede producir una mezcla de áridos sin separación previa en áridos gruesos y finos o combinando fracciones simples de áridos gruesos y finos.
  Árido reciclado
  Árido hecho de material inorgánico procesado mecánicamente previamente utilizado como material de construcción (es decir, hormigón)
- Filler
  Árido que pasa predominantemente por el tamiz de 0,063 mm, que se añade para obtener propiedades específicas.
- Rango de tamaño de partícula
  Designación de un árido por tamaño de tamiz inferior (d) y superior (D), expresado como d/D.
- Árido fino (arena)
  Designación para fracciones de tamaño menor con D no mayor de 4 mm. Los áridos finos se pueden producir mediante la descomposición natural de la roca o la grava y/o la trituración de la roca o la grava, o mediante el procesamiento de minerales producidos industrialmente.
- Árido grueso
  Nombre (término) para fracciones de mayor tamaño con D no menos de 4 mm y d no menos de 2 mm.
- Árido formado naturalmenteproducido de forma natural 0/8 mm
  Denominación para áridos naturales de origen glacial o fluvial con D no superior a 8 mm (también se puede producir mezclando áridos procesados).
- Finos
  Proporción de un árido que pasa el tamiz de 0,063 mm (recomendación para consideraciones de diseño de mezcla: 0,125 mm).
- Composición granulométrica
  Distribución del tamaño de partícula, expresada como la fracción que pasa en porcentaje del peso a través de un número definido de tamices

Pasa tamiz, curvas de distribución de tamaño de partículas
El tamaño de partícula se expresa por el tamaño del orificio de los tamices de prueba que acaba de pasar la partícula en cuestión.
Es de gran importancia diseñar una combinación razonable de los diferentes materiales y sus fracciones correspondientes para lograr una curva granulométrica combinada continua (ver página 41).

322 ÁRIDOS SEGÚN NORMA ASTM

De acuerdo a la especificación ASTM, tenemos tres tipos principales de árido:

Peso normal:
Áridos gruesos y finos de peso normal ASTM C33

Ligeros:
Áridos ligeros para hormigón estructural ASTM C330
Áridos ligeros para mampostería ASTM C331
Áridos ligeros para hormigón aislante ASTM C332

Pesados:
Áridos pesados ASTM C637
(áridos para hormigón con resistencia a radiación)

ASTM C33 *Especificación estándar para áridos* define los requisitos para la clasificación y calidad del árido fino y grueso para uso en hormigón.

El árido fino debe consistir en arena natural, arena manufacturada o una combinación de estas. El árido fino debe estar libre de cantidades nocivas de impurezas orgánicas. El árido fino para uso en hormigón que estará sujeto a humedad, exposición prolongada a una atmósfera húmeda o contacto con suelo húmedo no debe contener ningún material que sea peligrosamente reactivo con los álcalis del cemento en una cantidad suficiente para causar una expansión excesiva del mortero u hormigón. El árido fino sometido a cinco ciclos de la prueba de solidez debe tener una pérdida promedio ponderada requerida.

El árido grueso debe consistir en grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de alto horno enfriada por aire u hormigón de cemento hidráulico triturado, o una combinación de estos.

ASTM C330/331/332 *Especificación estándar para áridos ligeros para hormigón* indica los requisitos para los áridos ligeros propuestos para uso en distintos tipos de aplicaciones de hormigón en donde la principal consideración es reducir la densidad manteniendo la resistencia a la compresión del hormigón.

Esta especificación cubre dos tipos generales de áridos ligeros:

- Áridos preparados por expansión, granulación o sinterizando productos tales como escoria de alto horno, arcilla, diatomita, cenizas volantes, lutita o pizarra; y
- Áridos preparados mediante el procesamiento de materiales naturales, como piedra pómez, escoria o toba.

Los áridos estarán compuestos predominantemente de material inorgánico granular y celular ligero. Los áridos ligeros deben ensayarse y no deben contener cantidades excesivas de sustancias nocivas; y debe cumplir con los valores especificados de impurezas orgánicas, manchas de áridos, pérdida por ignición de los áridos, grumos de arcilla y partículas deleznables, densidad aparente suelta, resistencia a la compresión, retracción por secado, saltos y resistencia al hielo/ deshielo.

ASTM C637 *Especificación estándar para áridos para hormigón blindado contra radiación* cubre áridos especiales para su uso en hormigones de protección contra la radiación en los que la composición o el peso específico alto, o ambos, son de consideración primordial

Los áridos cubiertos por esta especificación incluyen:

- Áridos minerales naturales de alta densidad o alto contenido fijo de agua, o ambos. (Estos incluyen áridos que contienen o consisten predominantemente en materiales como barita, magnetita, hematita, ilmenita y serpentina).
- Áridos sintéticos como hierro, acero, ferro fósforo y frita de boro u otros compuestos de boro (ver Nomenclatura Descriptiva C638).
- Áridos fino compuesto por arena natural o manufacturada que incluye minerales de alta densidad.
- El árido grueso puede consistir en mineral machacado, piedra triturada o productos sintéticos, o combinaciones o mezclas de estos

3.2.3 ARENAS PERJUDICIALES



Los áridos, arena y gruesos, se añaden al hormigón como una especie de relleno inerte, también conocido como "estructura granular". La granulometría correcta asegura un llenado óptimo del espacio junto con propiedades físicas óptimas, durante la aplicación y la construcción final del elemento. Si bien los áridos más gruesos, además de los problemas de forma, generalmente cumplen con este concepto, los problemas a menudo surgen de la naturaleza y el origen de las fracciones más pequeñas. Sus componentes finos y más finos correspondientes a impurezas causan diversos problemas técnicos en el hormigón.

La variabilidad de las arenas y sus impurezas resulta de:

- Mineralogía
- Forma y tamaño de partículas
- Degradación desde roca a arena (abrasión por glaciares, ríos, mar o viento)
- Grado de degradación mineralógica (estructura mineral densa o estratificada)
- Proceso mecánico (quebrado, tamizado, lavado)

La arena adecuada para la producción de hormigón se está convirtiendo cada vez más en una materia prima escasa en todo el mundo. Incluso si uno pudiera pensar en los desiertos, la arena debería estar infinitamente disponible, este no es exactamente el caso. Las arenas del desierto, en particular, no son adecuadas para el hormigón debido a su superficie extremadamente lisa.

Se deben considerar dos problemas principales cuando surgen problemas relacionados con la arena:

1. Efecto del tamaño de la partícula
   Con la disminución del diámetro de las partículas, su área superficial específica (área superficial por masa [m²/g]) aumenta directamente de manera proporcional.
   Por ejemplo, la superficie exterior específica de las partículas finas en el rango de menos de 100 micrómetros es aproximadamente 200 veces mayor que la de los granos de arena de 8 a 10 mm.
   Por tanto, un contenido alto de finos aumenta sustancialmente la superficie inherente de la mezcla de hormigón que requiere agua y/o aditivos adicionales para lograr una trabajabilidad determinada. Como resultado, el contenido de agua se volvería demasiado alto y/o las mezclas serían ineficaces. Sin embargo, aún más problemática es la desviación del contenido de estos finos que dificulta una producción de hormigón continua y homogénea.

2. Propiedades de adsorción
   También es posible que los componentes finos problemáticos de los áridos sean minerales arcillosos o mica. Estos minerales pueden causar problemas graves debido a su estructura cristalina en capas específicas. Dependiendo del tipo de mineral, estos silicatos en capas no solo pueden intercalar moléculas e iones más pequeños, sino que también pueden hincharse fuertemente. Por lo tanto, el área superficial específica aumenta dramáticamente nuevamente y cambia en parte con el tiempo. En este caso, incluso de policarboxilato más grande (PCE) se neutraliza parcial o completamente del sistema de hormigón.

Por tanto, los minerales de arcilla y la mica dan como resultado un requerimiento de agua muy diferente individualmente y los superplastificantes en particular tienen una eficacia muy limitada. Los superplastificantes específicos Sika® ViscoCrete® permiten una compensación específica de tales propiedades desventajosas de la arena y, además, Sika® Stabilizer VMC también está disponible como un aditivo estabilizador especial para estos casos.

Resolviendo desafíos de áridos en la producción de hormigón
Sika ha desarrollado una metodología para encontrar la solución adecuada a los problemas observados por el cliente relacionados con las arenas y los áridos. En muchos casos, la razón de cambios y problemas en las propiedades del hormigón no es obvia. Por lo tanto, se requieren varios pasos para identificar el problema y brindar el soporte y las soluciones de productos adecuados.

Con nuestro concepto, queremos ayudarte a desbloquear la caja fuerte usando el método Sika C.O.D.E.





1. Desafío del cliente
2. Operación de Análisis
3. Diagnóstico de causa
4. Solución Eficaz de Sika
5. Problema Desbloqueado

C – Customer challenge

Es importante escuchar al cliente y comprender los desafíos que debe resolver. Los expertos de Sika argumentan los problemas con los clientes mientras se aseguran de comprender completamente sus necesidades. Los siguientes inconvenientes pueden surgir en la producción de hormigón:

- Alta demanda de agua
- Alta adsorción de aditivo
- Cohesión o “Pegajosidad“
- Sangrado/ segregación
- Capacidad de bombeo
- Mala calidad de la superficie
- Mantenimiento del cono

O – Operación de análisis

EEl siguiente paso en el concepto Sika CODE es el análisis. Las muestras de arenas y áridos se analizan utilizando varios métodos en los laboratorios tecnológicos de Sika en todo el mundo.
El enfoque del análisis involucra los siguientes puntos:
:

- Mineralogía
- Granulometría
- Adsorción
- Aspecto

D – Diagnóstico de la causa

Con los resultados analíticos, la causa del desafío del cliente puede diagnosticarse. Por supuesto, puede ser que haya varias causas que conduzcan a un inconveniente. Sin embargo, la mayoría los podemos encontrar en la siguiente lista:

- Adsorción de agua
- Adsorción de aditivo
- Las partículas tienen una forma desfavorable.
- Alta presencia de finos
- Baja presencia de finos

E – Solución efectiva Sika

Después de identificar la causa, nuestros expertos Sika pueden trabajar en la solución más eficaz para nuestro cliente.
La solución puede ser un producto, combinación de productos, soporte técnico o ambos, productos y soporte.
Entre otras, se pueden ofrecer las siguientes soluciones:

- Diseño de mezcla de hormigón
- Soporte técnico
- Reductores de agua
- Estabilizadores

3.3 ADITIVOS PARA HORMIGÓN

Los aditivos para hormigón son líquidos o polvos que se añaden al hormigón durante la mezcla en pequeñas cantidades. La dosificación generalmente se define en función del contenido de cemento (expresado como un % del peso de cemento).



Los aditivos para hormigón tienen un impacto significativo en las propiedades del hormigón fresco y endurecido. Los aditivos pueden actuar química o físicamente sobre la hidratación del cemento.

3.3.1 ADITIVOS PARA HORMIGÓN SEGUN NORMA EUROPEA

De acuerdo con EN 206, se definen los aditivos para hormigón y los requerimientos son descritos en la EN 934-2. En la norma EN 934-2 están definidos los diferentes grupos de productos, los cuales se describen, en resumen, en las tablas 3.3.2 y 3.3.3.

Tabla 3.3.1: Dosificación de aditivo según EN 206:

Dosificación permitida	≤ 5% del peso del cemento. (El efecto en el desempeño y durabilidad del hormigón de una dosificación mayor debe ser revisada.)
Dosificaciones bajas	Cantidades de aditivo < 0,2% del peso del cemento están permitidas solo si se disuelven en parte del agua de mezcla

Si la cantidad total de aditivo líquido es > 3 L/m³ de hormigón, su cantidad de agua debe incluirse en el cálculo de la relación a/c. Si se añade más de un aditivo, su compatibilidad debe verificarse mediante pruebas específicas.

Tabla 3.3.2: Aditivos – según EN 934-2:

Aditivo reductor de agua/ Plastificante
Aditivo que permite reducir el contenido de agua de una mezcla dada sin afectar la consistencia, o que aumenta el asentamiento/ flujo sin afectar el contenido de agua; o produce ambos efectos simultáneamente.
Reductor de agua de alto rango/ Superplastificante
Mezcla que permite una alta reducción del contenido de agua de una mezcla dada sin afectar la consistencia, o que aumenta considerablemente el asentamiento/ flujo sin afectar el contenido de agua; o produce ambos efectos simultáneamente.
Aditivo reductor de agua y retardante
Combina los efectos de un aditivo reductor de agua (efecto primario) y un retardante (efecto secundario).
Retarder and Superplasticizer
Combina los efectos de un superplastificante (efecto primario) y un retardante (efecto secundario).
Aditivo reductor de agua y acelerante
Combina los efectos de un reductor de agua (efecto primario) y acelerante de fraguado (efecto secundario).

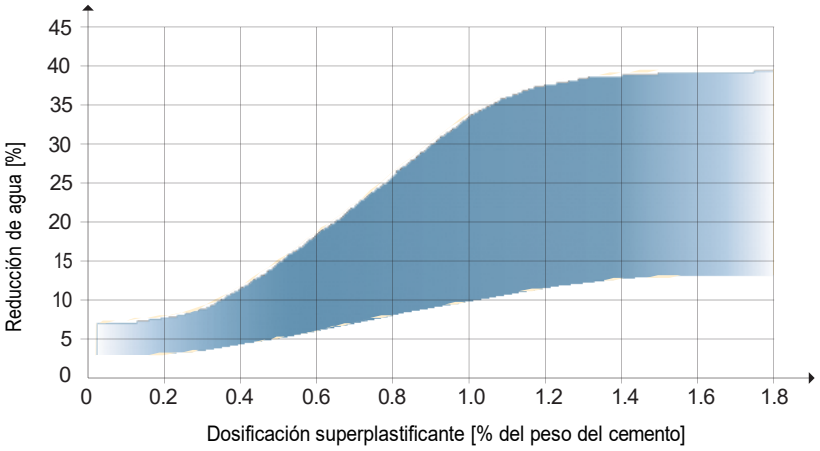


Fig. 3.3.1: Reducción de agua con Sika® ViscoCrete®/ SikaPlast®/ Sikament®

Tabla 3.3.3: Aditivos – según EN 934-2:

Agente modificador de viscosidad (estabilizador/ aditivo retenedor de agua)
Reduce la pérdida de agua de mezcla al reducir el sangrado del hormigón fresco.
Agente inclusor de aire
Proporciona un sistema de huecos de aire distribuidos uniformemente al introducir una cantidad específica de pequeñas burbujas de aire durante el proceso de mezclado que permanecen en el hormigón después de que endurece.
Acelerante de fraguado
Reduce el tiempo de fragua inicial, con un incremento en la resistencia inicial.
Acelerante de endurecimiento
Acelera el desarrollo temprano de la resistencia del hormigón, sin o con poca influencia en el tiempo de fraguado y las propiedades plásticas del hormigón recién mezclado.
Retardante
Extiende el tiempo del fraguado inicial, con un tiempo de trabajabilidad extendido y un retardo del desarrollo temprano de resistencia.
Aditivo resistente al agua
Reduce la absorción capilar de agua del hormigón endurecido.

Tabla 3.3.4: adicionales para hormigón no definidos en regulaciones Europeas:

Aditivos controladores de retracción
Reduce la retracción por secado del hormigón a temprana edad para evitar las fisuras por retracción por secado.
Ayudante de bombeo
Aditivo para mejorar la estabilidad del hormigón fresco y fácil bombeo del hormigón, especialmente con aplicación de áridos difíciles y curvas granulométricas desfavorables.
Aditivos inhibidores de corrosión
Aditivo que produce una capa protectora sobre el refuerzo de acero en hormigón armado. Como resultado, el inicio de la corrosión se retrasa y la velocidad de corrosión disminuye, lo que aumenta la durabilidad.
Aditivo mejorador de acabado superficial
Aditivo reductor de vacíos que reduce significativamente el contenido total de huecos de aire en el hormigón fresco para la producción de hormigón visto de alta calidad.
Aditivo para control de reacción álcali-sílice
Mezcla que permite el control de la reacción álcali-sílice (ASR) en hormigón con alto contenido de álcali. La aplicación minimiza las expansiones perjudiciales en el hormigón debido a ASR y aumenta la durabilidad y la vida útil de la estructura de hormigón.

3.3.2 ADITIVOS PARA HORMIGÓN SEGÚN NORMA ASTM

De acuerdo con las norma ASTM, los aditivos para hormigón se describen como:

Aditivos químicos	ASTM C494
Aditivos inclusor de aire	ASTM C260
Aditivos inhibidores de corrosión	ASTM C1582
Pigmentos	ASTM C979
Sistema de aditivos para clima frío	ASTM C1622
Aditivos para hormigón proyectado	ASTM C1141

ASTM C494 Especificación estándar para aditivos químicos para hormigón cubre los materiales y los métodos de prueba para el uso de aditivos químicos que serán usados en las mezclas de hormigón con cemento hidráulico en campo.
La norma establece los siguientes ocho tipos:

Tipo A Aditivos reductores de agua
Tipo B Aditivos retardantes
Tipo C Aditivos acelerantes
Tipo D Aditivos reductores de agua y retardante
Tipo E Aditivos reductores de agua y acelerante
Tipo F Aditivo reductor de agua de alto rango
Tipo G Aditivo reductor de agua de alto rango con retardo
Tipo S Aditivos de desempeño especifico.
(p.e. aditivo retenedor de trabajabilidad, utilizado para mejorar y extender el tiempo de trabajabilidad del hormigón recién mezclado sin efecto negativo en los tiempos de fraguado)

ASTM C979 Especificación estándar de pigmentos para hormigón con color integral cubre el requisito básico de pigmentos coloreados y blancos en forma de polvo que se utilizarán como aditivos en hormigón con el fin de producir hormigón de color integral. Cuando los pigmentos sean un componente de una mezcla de varios componentes, esta especificación se aplica al componente de pigmento de la mezcla. Esta especificación no incluye la determinación de la estabilidad del pigmento cuando se usa a temperatura elevada usando vapor de baja presión (atmosférica) o de alta presión (autoclave) para acelerar el proceso de curado. El cemento (ya sea Tipo I o Tipo II), áridos y aditivos, deben someterse a los siguientes métodos de prueba: humectabilidad; resistencia a los álcalis; porcentaje de sulfatos; solubilidad del agua; estabilidad de curado atmosférico; resistencia a la luz; efectos sobre el hormigón, que incluyen preparación de mezclas, fabricación y curado, tiempo de fraguado, contenido de aire, resistencia a la compresión; y coincidencia de color.

ASTM C1622 Especificación estándar para sistemas de aditivos en clima frío cubre sistemas de aditivos para clima frío que se agregarán al hormigón de cemento hidráulico cuando la temperatura del hormigón inmediatamente después de la colocación sea baja. Esta especificación estipula ensayos del sistema de aditivos para clima frío con materiales adecuados especificados o con materiales propuestos para trabajos específicos, y proporciona tres niveles de prueba. El aparato utilizado debe ser adecuado para entornos de baja temperatura. El hormigón, los materiales cementicios, áridos y el aditivo inclusor de aire deben probarse y cumplir con los requisitos químicos y de desempeño, como tiempo de fraguado inicial, resistencia a la compresión, retracción y durabilidad.

3.3.3 TECNOLOGÍA POLICARBOXILATO

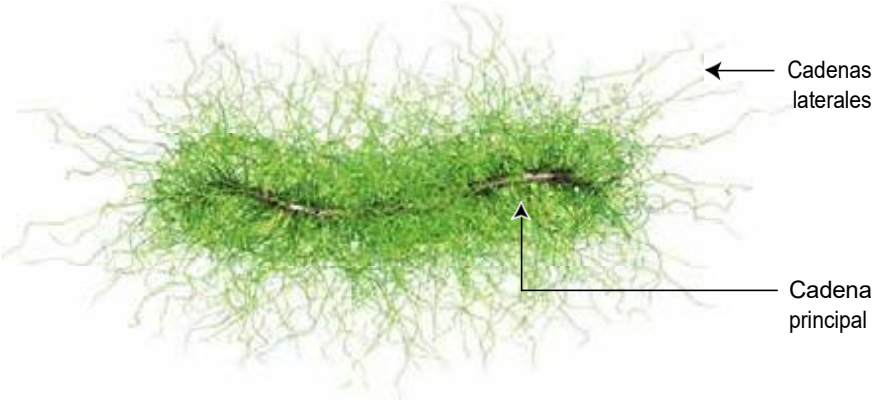
La principal característica de la tecnología de superplastificantes a base de policarboxilato-éter es su diseño de polímero específico para lograr propiedades específicas del hormigón. El modo de acción se basa en la adsorción del PCE sobre el grano de cemento y la dispersión de las partículas por repulsión electrostática y obstrucción estérica.

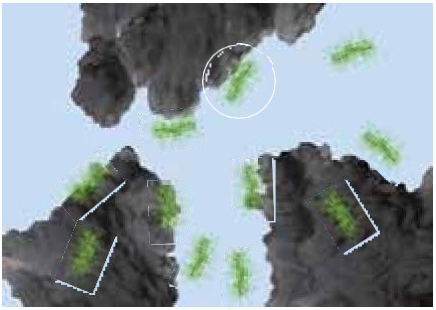
Las características que pueden verse influenciadas son:

- Velocidad de adsorción
- Reducción de agua con alta licuefacción/ trabajabilidad inicial
- Retención del asentamiento de cono sin retardo y posterior desarrollo rápido de resistencia
- Desarrollo temprano de la resistencia con suficiente tiempo de trabajabilidad
- Cohesividad/ “pegajosidad“
- Estabilidad/ viscosidad

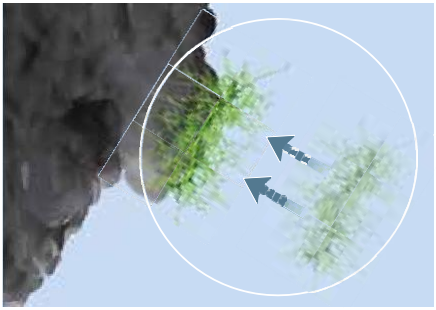
Se pueden optimizar varias combinaciones de estas propiedades. Los polímeros constan de una cadena principal con grupos carboxilo y cadenas laterales.

El primer componente, la columna vertebral con grupos carboxilo, es responsable de la reducción de agua alcanzable/ asentamiento inicial y tiempo de mezcla, respectivamente. El segundo, cadenas laterales, determina la capacidad de mantenimiento de asentamiento del cono del superplastificante, afectado por un número creciente de cadenas laterales. El factor crucial es el espacio limitado para los grupos carboxilo y las cadenas laterales a lo largo de la cadena principal. Se puede unir un grupo carboxilo o una cadena lateral en un lugar determinado. Básicamente, las variaciones en esos factores conducen a tres tipos genéricos de polímeros: polímeros reductores de agua, controladores del asentamiento del cono y retenedores del asentamiento del cono.



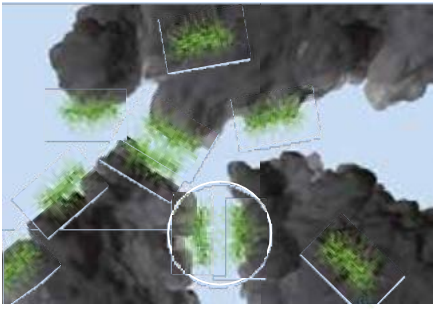


Adsorción del polímero (cadena principal) en el grano de cemento.



Detalle de la adsorción del polímero (cadena principal) en el grano de cemento.

Trabajabilidad mejorada debido a la repulsión estérica.



Detalle de la trabajabilidad mejorada debido a la repulsión estérica.

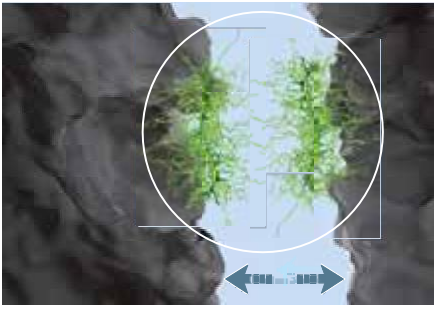


Fig. 3.3.2: Modo de acción: PCE

Es posible diseñar un PCE con una gran cantidad de grupos carboxilo y, en consecuencia, un número bajo de cadenas laterales, lo que lleva a una alta reducción de agua y asentamiento más corto en el tiempo del hormigón (polímero ViscoCrete® reductor de agua).

Otra posibilidad es tener una gran cantidad de cadenas laterales, lo que da como resultado una menor reducción de agua y un asentamiento mayor. Este tipo de PCE funciona creando un cierto efecto de depósito que da como resultado una retención de asentamiento prolongada (polímero ViscoCrete® retenedor de asentamiento).

La tercera posibilidad es diseñar PCE que sean capaces de cambiar su estructura en el hormigón con el tiempo. Este comportamiento especial provoca un efecto de dispersión retardado. Este tipo de polímero diseñado específicamente se puede utilizar para controlar el asentamiento (polímero ViscoCrete® controlador de asentamiento)

La tecnología Sika® ViscoCrete® ofrece más que la posibilidad de diseñar polímeros PCE con propiedades específicas. Permite la combinación de varios polímeros para aprovechar el potencial de cada uno. Esta compatibilidad es una de las principales ventajas de la tecnología Sika® ViscoCrete®: soluciones a la medida y adaptadas al desempeño requerido del hormigón pueden ser desarrolladas. Además, los productos finales se pueden optimizar con respecto a los requisitos del mercado local para producir la mejor solución de coste-desempeño.

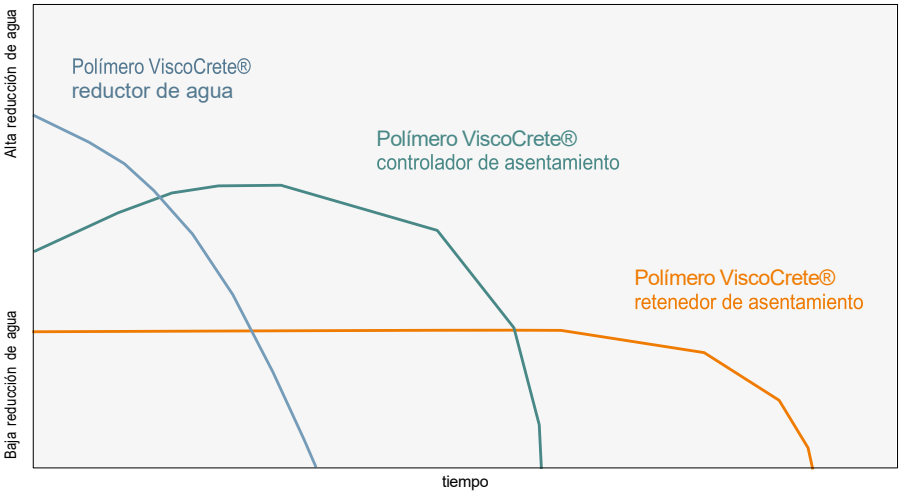


Fig. 3.3.3: Tecnología del producto Sika® ViscoCrete®

3.3.4 PRODUCTOS SIKA

Nombre de gama	Tipo de Producto
SikaControl® AER	Inclusor de aire
Sika® Antisol®	Agente de curado
SikaRapid® Antifreeze	Aditivo para heladas en clima frío
SikaColor®	Hormigón coloreado
SikaControl® SRA	Controlador de retracción
SikaControl® ASR	Aditivo para el control de reacción álcali-Sílice
Sika® FerroGard®	Inhibidor de corrosión
SikaFiber®	Fibra de acero, micro y macro sintéticas
SikaFume®	Humo de sílice
Sika® Stabilizer Lightcrete	Aditivo espumante
Sikament®	Superplastificante
SikaPaver®	Aditivo auxiliar de compactación y antieflorecencia
SikaControl® PerFin	Mejorador de superficies de hormigón
SikaPlast®	Superplastificante
Sika® Plastiment®	Reductor de agua/ Plastificante
Sika® Plastocrete®	Reductor de agua/ Plastificante
Sika® Stabilizer Poro	Formadores de espuma
Sika® Stabilizer Pump	Ayudante de bombeo
SikaRapid®	Acelerante para hormigón
Sika® Rugasol®	Retardante superficial
Sika® Separol®	Agente desencofrante
Sika® Sigunit®	Acelerante para hormigón proyectado
Sika® Stabilizer VMA	Agente modificador de viscosidad
SikaTard®	Retardante para hormigón convencional y proyectado
Sika® ViscoCrete®	Superplastificante
Sika ViscoFlow®	Aditivo mejorador de trabajabilidad
SikaControl® WT	Aditivo impermeabilizante
Sika® Stabilizer VMC	Aditivo estabilizante especial

3.4 ADICIONES PARA HORMIGÓN Y MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS (SCM)

3.4.1 SCM DE ACUERDO A NORMA EUROPEA

Las adiciones para hormigón se definen como materiales finamente divididos utilizados en el hormigón para mejorar u obtener propiedades deseadas en el hormigón fresco y endurecido. EN 206 enumera dos tipos de adiciones inorgánicas:

- Adiciones inertes (Tipo I)
- Adiciones hidráulicas puzolánicas o latentes (Tipo II)

Tipo I

Materiales prácticamente inactivos como rellenos de cal, polvo de cuarzo y pigmentos de color.

- Filler (polvo de cuarzo, piedra caliza en polvo)
  Las mezclas de finos bajos se pueden mejorar añadiendo filler. Estos materiales inertes se utilizan para mejorar la curva granulométrica. El requerimiento de agua es mayor, particularmente con piedra caliza en polvo.
- Pigmentos: Los óxidos metálicos pigmentados (principalmente óxidos de hierro) se utilizan para colorear el hormigón. Se añaden en niveles de 0,5 - 5% del peso del cemento; deben permanecer fijos y estables en el entorno de cemento alcalino. Con algunos tipos de pigmento, el requerimiento de agua de la mezcla puede aumentar.

Tipo II

Materiales hidráulicos puzolánicos o latentes como puzolanas naturales (cenizas volcánicas), cenizas volantes y polvo de sílice, así como escoria granulada de alto horno.
Las cenizas volantes son cenizas finas de centrales eléctricas de carbón que se utilizan como adición tanto para cemento como para hormigón. Su composición depende principalmente del tipo de carbón, su origen y las condiciones de combustión (EN 450).
El humo de sílice (humo de sílice) consiste principalmente en partículas esféricas de dióxido de silicio amorfo de la producción de silicio y aleaciones de silicio. Tiene una superficie específica de 18 - 25 m² por gramo y es una puzolana altamente reactiva (EN 13263).
Las dosificaciones estándar de humo de sílice son del 5% al 10% como máximo del peso del cemento. Las especificaciones y los criterios de conformidad para la escoria de alto horno granulada molida para su uso en hormigón, mortero y lechada están regulados en la EN 15167-1.

3.4.2 SCM SEGÚN NORMAS ASTM

De acuerdo con las regulaciones de ASTM, se definen los materiales cementantes suplementarios (SCM) como:

Cenizas volantes y puzolana natural cruda o calcinada	ASTM C618
Escoria de alto horno molida	ASTM C989
Humo de sílice	ASTM C1240

ASTM C618 Especificación estándar para cenizas volantes de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para uso en hormigón cubre cenizas volantes de carbón y puzolanas naturales brutas o calcinadas para uso en hormigón donde se desea una acción cementicia o puzolánica, o ambas, o donde se pueden desear otras propiedades normalmente atribuidas a las cenizas volantes o puzolanas, o donde se deben lograr ambos objetivos.

Las cenizas volantes y las puzolanas naturales deberán cumplir los requisitos de composición química y físicos prescritos. Los materiales deben probarse para determinar su finura, índice de actividad de resistencia, requerimiento de agua, solidez y expansión o contracción del autoclave.

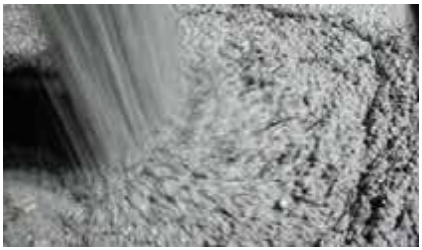
ASTM C989 Especificación estándar para cemento con escoria para uso en hormigón y morteros cubre tres grados de resistencia de la escoria de alto horno granulada finamente molida (grados 80, 100 y 120) para uso como material cementante en hormigón y morteros.

La escoria no deberá contener adiciones y deberá cumplir con el requisito de composición química de sulfuro, azufre y sulfato. Las propiedades físicas de la escoria deben estar de acuerdo con los requisitos de finura según lo determinado por la permeabilidad al aire y el contenido de aire, el índice de actividad de la escoria y la resistencia a la compresión.

ASTM C1240 Especificación estándar para el humo de sílice utilizado en mezclas cementicias cubre el humo de sílice para uso en hormigón y otros sistemas que contienen cemento hidráulico.

El material estará compuesto de humo de sílice, principalmente de sílice amorfa. Los métodos de prueba para el análisis químico, el contenido de humedad y la pérdida por ignición, la densidad aparente, la superficie específica, el arrastre de aire del mortero, el índice de actividad de resistencia, la reactividad con los álcalis del cemento y la resistencia a los sulfatos del humo de sílice deben cumplir con esta especificación. Las pruebas físicas incluirán la determinación de la densidad de la muestra y la superficie específica utilizando el método de adsorción de nitrógeno BET. El humo de sílice se almacenará de tal manera que permita un fácil acceso para la correcta inspección e identificación de cada envío.

3.5 FIBRAS



El hormigón reforzado con fibras es aquel al que se le han añadido fibras durante su producción para mejorar su comportamiento ante fisuras y fracturas. Después de muchos años de investigación y desarrollo, el hormigón fibroreforzado está, ahora, establecido por completo en el mercado por sus importantes ventajas.



La adición de fibras adecuadas puede proporcionar mejoras significativas en las propiedades de su hormigón, que incluyen:

- Menos fisuras por retracción plástica.
- Mejor cohesión en el hormigón fresco.
- Mayor resistencia en flexión y cortante.
- Capacidad de carga y ductilidad mejoradas.
- Mayor resistencia a la abrasión.
- Protección en ciclos de hielo-deshielo.
- Resistencia al descascaramiento en altas temperaturas.

Hay tres componentes principales que ayudan al desempeño de la fibra:

1. Resistencia a la tensión y módulo de elasticidad

Las fisuras pueden ocurrir en diferentes momentos en el hormigón, principalmente al inicio y durante el proceso de endurecimiento, donde se trata principalmente, fisuras por retracción en edades tempranas durante las 24 horas. Las fibras reducen las fisuras durante el proceso de endurecimiento gracias a su resistencia a la tracción y ductilidad. Donde hay mayores fuerzas actuando, las fibras previenen fisuras más grandes al disipar las deformaciones en fisuras más numerosas, finas y menos dañinas. Si se producen fisuras en el hormigón, el módulo de elasticidad de las fibras es importante, ya que define la resistencia de las fibras para contrarrestar la deformación elástica.

2. Anclaje

Para transferir las tensiones entre el hormigón fisurado y las fibras, es importante demostrar que existe suficiente adherencia o anclaje, entre las fibras y el material de la matriz. Esto se puede lograr de diferentes formas según la forma o textura de la fibra.

3. Relación de aspecto

Esto es la relación entre el largo y el diámetro equivalente de la fibra. Para un buen anclaje y desempeño en el hormigón endurecido, una fibra larga y delgada es lo ideal. La fibra quedará bien embebida y no se saldrá. Por otro lado, si la unión entre la fibra y la matriz es demasiado buena, puede provocar la rotura de la fibra. La rotura de la fibra ocurre cuando se excede la resistencia a la tensión de la fibra. Las fibras son fáciles de manipular y dosificar, cuando se mezclan correctamente se distribuyen de forma homogénea y tienen buena adherencia, haciendo al hormigón más cohesivo. Esto hace que las fibras sean ideales para mejorar el rendimiento del hormigón y el mortero para muchas aplicaciones.

3.5.1 CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS

Europa

En Europa, las fibras para hormigón están bajo la norma EN 14889-1 y 2 definiciones, especificaciones y conformidad.

EN 14889-1 fibras metálicas dentro de uno de los siguientes grupos:

Grupo I	Alambre rolado en frío
Grupo II	Lámina de acero
Grupo III	Extracción por fundición
Grupo IV	Alambre cortado en frío
Grupo V	Molido por bloques

EN 14889-2 Fibras poliméricas se caracterizan por el fabricante según su forma física:

Clase Ia	Micro fibras < 0,3 mm de diámetro. Mono-filamento
Clase Ib	Micro fibras < 0,3 mm de diámetro. Fibriladas
Clase II	Macro fibras > 0,3 mm de diámetro

Américas

ASTM C1116/C1116M – 10a Especificación estándar para hormigón fibro-reforzado y proyectado. Esta especificación cubre todas las formas de hormigón reforzado con fibras mezcladas, entregadas, muestreadas y probadas en el punto de entrega.Esta especificación clasifica el hormigón fibro-reforzado u hormigón proyectado dentro de 3 categorías:

Tipo I	Hormigón u hormigón proyectado reforzado con fibras metálicas
Tipo II	Hormigón u hormigón proyectado reforzado con fibras de vidrio resistente al álcalis
Tipo III	Hormigón u hormigón proyectado reforzado con fibras sintéticas

ASTM A820/A820M Especificación estándar para fibras metálicas para hormigón fibro-reforzado cubre los requisitos mínimos para las fibras metálicas destinadas a usarse en hormigón fibro-reforzado.

Hay cinco tipos de fibras metálicas:

- Alambre rolado en frío
- Lámina de acero
- Extracción de fundición
- Fresado
- Alambre modificado rolado en frío

ASTM D7508/D7508M-20 Especificación estándar para filamentos cortados de poliolefina para uso en hormigón cubre los filamentos cortados de poliolefina (fibras) para uso en hormigón.

3.5.2 COMO ESPECIFICAR EL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRA

Existen diferentes fibras para diferentes hormigones en función del rendimiento requerido. Los dos tipos principales de fibras son las micro y macro fibras, definidas por su diámetro según las Normas Europeas. Las microfibras sintéticas se utilizan generalmente para reducir el descascaramiento a altas temperaturas y la reducción de fisuras. Las fibras macro sintéticas o de acero más gruesas se utilizan generalmente para aumentar el desempeño mecánico del hormigón endurecido. Sika es un proveedor de gama completa de fibras y otros tipos especiales y mezclas de fibras.



Macrofibras sintéticas
Las macrofibras sintéticas tienen un módulo de elasticidad más bajo que las de acero(5-15 GPa); no pueden soportar cargas extremadamente altas, pero funcionan de forma muy efectiva en las primeras fases del endurecimiento para prevenir y/o reducir el tamaño de las fisuras que se desarrollan en el hormigón. Son resistentes a la corrosión y confieren al hormigón una mayor ductilidad. Las fibras sintéticas tienen más fibras por kg para equilibrar el alto módulo de elasticidad de las fibras de acero.



Fibras de acero
Las fibras de acero se caracterizan por un alto módulo de elasticidad (200 GPa) y una alta resistencia a la tracción (2500 MPa). Evitan el deslizamiento del hormigón, pero no contrarrestan la retracción temprana. La corrosión no provoca el "spalling" del hormigón, solo un cambio de color en la superficie del hormigón. Las fibras de acero que sobresalen pueden representar un riesgo de lesiones o daños a las membranas impermeables.



Microfibras sintéticas
Las microfibras sintéticas tienen un módulo E incluso más bajo (3-5 GPa) que las macrofibras sintéticas.
Se utilizan principalmente para reducir la fisuración por retracción en edades tempranas y también para reducir el descascaramiento del hormigón a altas temperaturas debido a su bajo punto de fusión (160°C). De nuevo, estas microfibras sintéticas no son corrosivas.

Usos adecuados para los diferentes tipos de fibras

Estado del hormigón o mortero	Efecto /propiedad mejorada	Tipo de fibra recomendada
Fresco	Mejora homogeneidad	Microfibra polipropileno
Hasta 12 horas	Reducción fisuras a edad temprana	Microfibra polipropileno
1–2 días	Reducción de fisuras por retracción o temperatura	Micro y Macrofibra polipropileno
28 días endureciendo o más	Transmisión de tensiones externas	Macrofibra polipropileno y fibra de acero
	Reduce el "spalling" a altas temperaturas	Microfibra polipropileno

Fibras de acero



SikaFiber®
Novocon®

- Para hormigón proyectado, soleras y prefaricado.
- Reemplazo de acero de refuerzo estructural

Dosificación: 20 – 40 kg/m³

Macro Fibras



SikaFiber® Force
Fibermesh o Enduro

- Para hormigón proyectado, soleras y prefabricado.
- Reemplazo del acero de refuerzo

Dosificación: 3 – 8 kg/m³

Micro Fibras



SikaFiber® PPM
Sika® Fibermesh®

- Para reducción de “spalling“ a altas temperaturas.
- Retracción

Dosificación: 0,6 – 2 kg/m³

3.6 AGUA

La idoneidad del agua para la producción de hormigón depende de su origen.

3.6.1 AGUA EN RELACIÓN A LA NORMA EUROPEA

EN 1008 enumera las siguientes categorías:

- Agua potable
  Apta para hormigón. No necesita ser testeada.
- Agua recuperada de procesos en la industria del hormigón (p. ej., Agua de lavado)
  Generalmente adecuada para hormigón, pero se deben cumplir los requisitos normativos del Anexo A (p. ej., que se produzca peso adicional de sólidos en el hormigón cuando el agua recuperada de los procesos en la industria del hormigón sea inferior al 1% del peso total del contenido añadido en la mezcla).
- Agua subterránea
  Puede ser adecuada para hormigón, pero esto debe ser comprobado.
- Agua superficial natural y agua de proceso industrial
  Puede ser adecuada para hormigón, pero esto debe ser comprobado.
- Agua de mar o agua salubre
  Puede utilizarse para hormigón no reforzado, pero no es adecuada para hormigón armado o pretensado. Se debe observar el contenido máximo permitido de cloruro en el hormigón reforzado con acero o con piezas metálicas embebidas.
- Aguas residuales
  No aptas para hormigón.

El agua combinada corresponde a una mezcla entre el agua recuperada en procesos en la industria del hormigón y el agua proveniente de una fuente diferente. Los siguientes son los únicos requisitos que se aplican al agua de tipo combinada.

Ensayos preliminares (EN 1008, Tabla 1)
Primero, se debe analizar el agua por posibles restos de aceite y grasa, agentes espumantes (detergentes), sustancias en suspensión, olor (por ejemplo, que no posea olor a sulfuro de hidrógeno después de agregar ácido clorhídrico), contenido de ácido (pH ≥ 4) y sustancias químicas.
El agua que no cumpla con uno o más de los requisitos de la Tabla 1 solo puede usarse si cumple con las siguientes especificaciones químicas y su uso no tiene consecuencias negativas para el tiempo de fraguado y el desarrollo de la resistencia (ver EN 1008 para métodos de prueba).

3.6.2 AGUA SEGÚN LA NORMATIVA ASTM

ASTM C1602 *Especificación estándar para el agua de mezcla utilizada en la fabricación de hormigón de cemento hidráulico* cubre el agua de mezcla utilizada en la producción de hormigón.

Esta define las fuentes hídricas y proporciona requisitos y frecuencias de prueba para calificar fuentes hídricas individuales o combinadas. El agua de mezcla debe consistir en: una cierta cantidad de agua, hielo, agua agregada por el operador del camión, humedad libre en los áridos y agua introducida en forma de aditivos.

Se permite el uso de agua potable y no potable como agua de mezcla en el hormigón. Los requisitos de rendimiento del hormigón para agua de mezcla son: resistencia a la compresión y tiempo de fraguado.
La densidad del agua debe ser probada o controlada con un hidrómetro. Se otorgan límites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada para: cloruro, sulfato, álcalis y sólidos totales.



4 DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN

4.1 CÁLCULO DEL DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN

Cálculo de volumen del material
El propósito de calcular el volumen del material es permitir la agrupación por lotes y la mezcla del hormigón genérico, así como también la de un tipo de hormigón particular. El cálculo supone que las cantidades diseñadas de hormigón, agua, áridos, aditivos, más los vacíos después de la compactación, suman un volumen de 1 m³ de hormigón fresco.

Un diseño adecuado, junto con el cálculo de volumen del material, permiten el cumplimiento de todos los estándares relevantes, mejora la calidad del hormigón producido y proporciona soluciones más económicas.

El contenido de finos consiste en:
- El cemento y cualquier adición para hormigón
- La fracción granulométrica de 0 a 0,125 mm del árido

Los finos actúan como lubricante en el hormigón fresco para asegurar la trabajabilidad y retención de agua. Se reduce el riesgo de separación de la mezcla durante la instalación y se facilita la compactación.
Sin embargo, los contenidos de finos que son demasiado altos producen un hormigón pastoso y pegajoso. También puede haber una mayor tendencia
a la retracción y los deslizamientos (mayor volumen de agua). Las siguientes cantidades han demostrado ser las mejores:

Tabla 4.1.1: Recomendación Sika

	Árido redondo	Árido machacado
Para hormigón con un tamaño máximo de partícula de 32 mm	Contenido de finos entre 350 y 400 kg/m³	Contenido de finos entre 375 y 425 kg/m³
Para hormigón con un tamaño máximo de partícula de 16 mm	Contenido de finos entre 400 y 450 kg/m³	Contenido de finos entre 425 y 475 kg/m³

Generalmente se requiere mayor contenidos de finos para hormigones autocompactantes (HAC).

Por lo general, el cálculo comienza eligiendo un determinado contenido de cemento y una proporción a/c (o contenido de conglomerante y proporción a/c). Al hacerlo, se puede calcular el volumen en litros de grava y arena. Mediante la aplicación de una curva granulométrica de áridos combinada, este volumen se llena con arena y grava.

Tabla 4.1.2: Modelo de áridos combinados 0 – 32 mm:

Componente	Tamaño de partícula en mm	Contenido de la mezcla en % (peso)
Arena	0 – 4	48,0
Grava	4 – 8	12,0
Grava	8 – 16	20,0
Grava	16 – 32	20,0

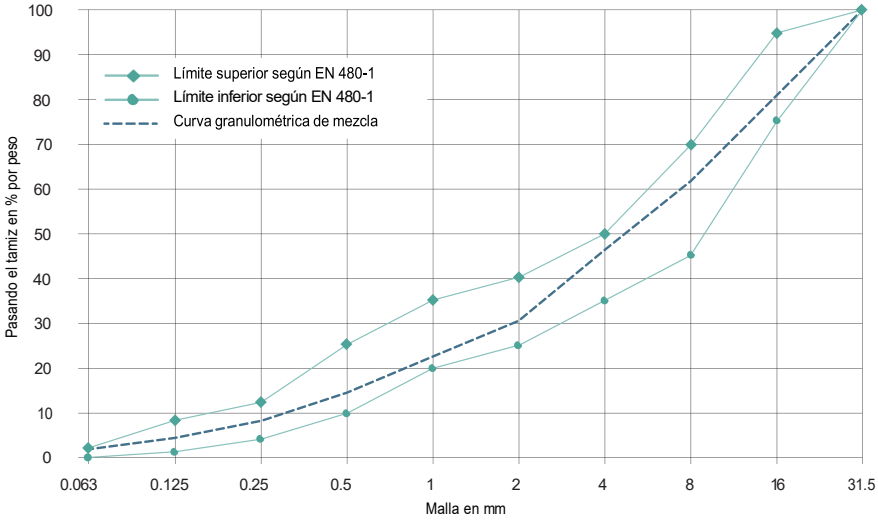


Fig. 4.1.1: Distribución de tamaño de partículas (rango de curva granulométrica según EN 480-1)

Si se lava la arena y la grava, se debe añadir relleno para mejorar la estabilidad y consistencia general de la mezcla de hormigón.

Existen varios métodos para diseñar mezclas de hormigón. Uno de los métodos más comunes y populares en diseño de mezclas de hormigón es el “Método de Volumen Absoluto”.

Diseño de mezcla de hormigón con método de volumen absoluto:

Tabla 4.1.3: Cálculo de volúmenes y masa para 1 m³ de hormigón

Materia prima utilizada para el hormigón diseñado	Dosificación [%]	kg por 1 m³ (según diseño de mezcla)		Especificaciones de densidad [kg/L]		Litros por 1 m³
Cemento Tipo: CEM I		kg	325	3,15 (comprobar localmente)	→	103
Humo de sílice adición (conglomerante adicional)	6	kg	19,5	2,2 (comprobar localmente)	→	9
Tipo de aditivo: Sika® ViscoCrete® (calculado sobre cemento + humo de sílice)	1,2	kg	4,13			(incl. en agua)
Aire esperado o planeado 1% ≙ 10 L en 1 m³		%	3,0	–	→	30
Agua de mezcla a/c = 0,48 (incluido el contenido de agua en áridos) $a/c_{eq.}$ = 0,45		kg	156	1,0	→	155
Volumen total en litros sin áridos						297 ↓
Áridos (en estado seco)		kg	1.863	2,65 (comprobar localmente)	←	703 (= Δ para 1.000 L)
Hormigón total		kg 2.362 (para 1 m³)		2.362 kg/m³ (espec. densidad del hormigón fresco)		1.000 L (= 1 m³)

→ = forma de cálculo

Observación: Si la cantidad total de aditivos excede los 3 L/m³ de hormigón, el volumen de agua de los aditivos debe incluirse en el cálculo de la proporción a/c.

Áridos y dosificación del agua

Los áridos utilizados en la producción de hormigón pueden tener diferentes efectos sobre la dosificación del agua, dependiendo de la naturaleza y la fuente del árido, así como también de las condiciones ambientales. La interacción de los áridos con la dosificación del agua da como resultado agua contenida por posible porosidad de los áridos, así como del agua adicional en la superficie de los áridos húmedos. Ambos efectos deben considerarse según el diseño de la mezcla.

La red capilar de los áridos conduce a efectos de absorción de agua. Si los poros están saturados de agua, esta agua no debería ser considerada en el cálculo de la relación a/c. Sin embargo, en el caso de áridos parcial o completamente secos, la porosidad del árido adsorbería inmediatamente parte de la dosificación del agua hasta su saturación, por lo que la mezcla se endurecería y, en consecuencia, el total de agua dosificada tendría que ser aumentada. Por otro lado, los áridos a menudo están húmedos y llevan agua adicional en su superficie, lo que contribuye a la dosificación total del agua, aumentando así la relación a/c.

Se pueden definir tres escenarios extremos con respecto al diseño de la mezcla en términos de áridos, tal y como se ilustra en la figura 4.1.2. El cálculo del diseño de la mezcla se basa en los datos SSD, por lo que se debe considerar y conocer la cantidad total de agua introducida por los áridos ya usados (la humedad superficial es variable), así como su absorción de agua.

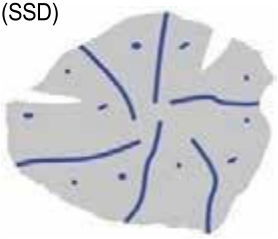
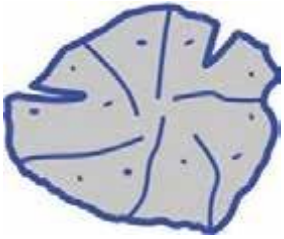
Secado al horno (OD)	Superficie seca saturada (SSD)	Superficie saturada
		
Sin agua	Absorción de agua	Absorción de agua y humedad superficial
Los áridos están completamente secos (superficie externa y poros capilares): ■ La consistencia del hormigón será más rígida que la diseñada ■ El hormigón requiere más agua, la cual será calculada a partir de la relación a/c, hasta que los poros estén saturados de agua	Los poros capilares están saturados de agua y la superficie exterior está seca: ■ La consistencia del hormigón será según su diseño ■ El hormigón requiere dosificación de agua calculada según la relación a/c	Los poros capilares están saturados de agua y la superficie exterior está húmeda: ■ La consistencia del hormigón será más fluida que la diseñada ■ El hormigón requiere menos dosificación de agua que la calculada a partir de la relación a/c, debido al agua adicional en la superficie del árido

Fig. 4.1.2: Estados de humedad de los áridos en el hormigón

4.2 CONCEPTO DEL DISEÑO DEL VOLUMEN DE LA PASTA

Esta sección "concepto del diseño del volumen de la pasta" está relacionada con los hallazgos de Abrams, en donde la resistencia a la compresión del hormigón, como propiedad central del material, depende principalmente de la relación a/c. Esto es válido para todos los tipos de hormigón con una relación a/c superior a 0,35, el cual es el caso de la mayoría de los hormigones. Este requisito es la base para las siguientes explicaciones y conclusiones del concepto de diseño del volumen de la pasta.



La pasta de mortero de cemento incluye todos los conglomerantes, aditivos en polvo y agua libre (no absorbida por los áridos). La lechada de mortero incluye además todas las partes finas de los áridos ≤ 0,125 mm.

Los requisitos para cada tipo de colocación de hormigón variarán según la porción de fracción fina del diseño de la mezcla de hormigón. Por otro lado, si bien los componentes más grandes cumplen su rol, estos poseen una importancia considerablemente menor en este contexto. Los áridos gruesos forman principalmente el andamio y actúan como material de relleno. A través de los innumerables diseños de mezclas de hormigón desarrollados por décadas, se pueden establecer rangos de contenido de finos y cantidades de mortero para diferentes tipos de colocación, los cuales también llevan a un resultado correcto con diferentes componentes de árido, o respectivamente, tienen en cuenta estas fluctuaciones.

Tabla 4.2.1: Pasta de mortero fina para distintos tipos de hormigón

Método de colocación	Contenido de finos	Lechada de mortero	Observaciones
Hormigón de grúa y cuba	–	250 a 280 L/m³	La lechada de mortero contiene: cemento, aditivos en polvo, finos de arena ≤ 0,125 mm + agua
Hormigón bombeado	> 375 kg/m³ con tamaño max. 32 mm	280 a 320 L/m³	
Hormigón auto-compactante (HAC)	> 500 kg/m³ con tamaño max. 16 mm	320 a 380 L/m³	

Para una cantidad definida de lechada de mortero, contenido de finos y de relación a/c, la cantidad de finos se puede establecer dependiendo de los requisitos de durabilidad.

- Exigencias físicas del hormigón (resistencia a la compresión, flexión, tracción, resistencia inicial)
- Exigencias de durabilidad (p. eje., impermeabilidad, resistencia a los sulfatos, AAR)
- Exigencias de proceso (estructura de finos, forma granular y reactividad)
- Disponibilidad local y regional (especialmente para arena y conglomerantes)
- Costes (de material y transporte)
- Distancias de transporte
- Sostenibilidad según tipo de material, proceso o transporte de componentes.

La cantidad adecuada de lechada de mortero

Considerando que la cantidad del cemento no juega un papel en el logro de la resistencia requerida (Abrams), entonces se debe establecer la cantidad necesaria o correcta de cemento a través de otros criterios:

- Resultado del procesamiento del hormigón previsto (contenido de finos y pasta de cemento)
- Resultado de las propiedades de durabilidad requeridas (resistencia a influencias externas)

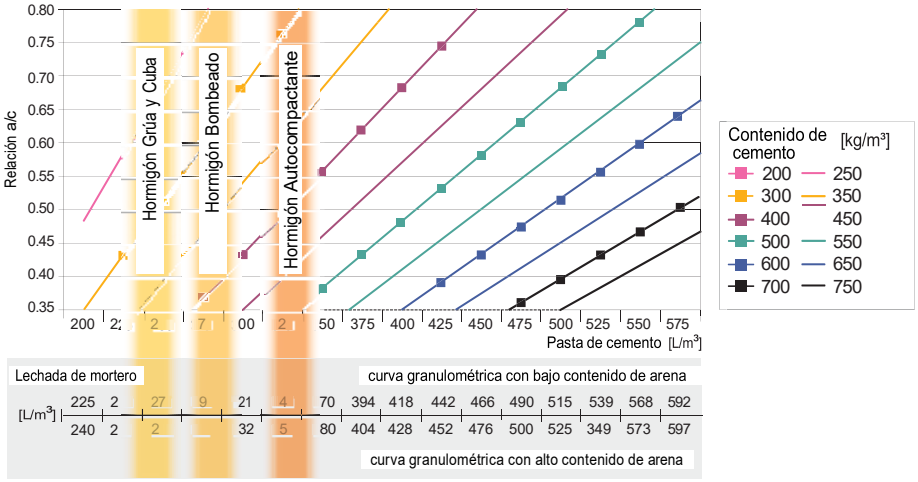


Fig. 4.2.1: Relación entre la resistencia a la compresión del hormigón de un cemento específico, expresada en relación a/c, y la cantidad de lechada de mortero (L/m³) para un contenido de cemento requerido (kg/m³)

En ambos casos es posible sustituir una cantidad determinada de cemento por materiales cementantes suplementarios y así influir en el balance de los materiales (coste/ tecnología del hormigón/ ecología) de forma positiva. La capacidad de bombeo, por ejemplo, se puede mejorar mediante el uso de un polvo de piedra caliza de buena calidad o cenizas. La alta presión o resistencia a la abrasión resulta de la adición de humo de sílice o del aumento de la resistencia a los sulfatos debido al uso de escoria granulada.

Dependiendo de las propiedades de un tipo de cemento específico, se puede representar como tal su relación entre la resistencia y la pasta mínima de fina de mortero requerido. Dependiendo del cemento local o del tipo de conglomerante, se debe definir la resistencia relacionada con la proporción a/c. En base a este hallazgo, la fig. 4.2.1 muestra el volumen requerido de lechada de mortero. La cantidad específica de finos debe ajustarse con la disponibilidad de aditivos, de arena local y aditivos en polvo.

La cantidad equilibrada de lechada de mortero
Para lograr buenas propiedades y trabajabilidad del hormigón, la lechada de mortero y, por sobre todo, la pasta de cemento, deben limitarse a una cantidad que permita que el material de construcción se instale correctamente y que cumpla con los requisitos. Se consiguen una serie de ventajas con las siguientes medidas:

- Tecnología del hormigón: menor volumen posible de productos de hidratación, lo que significa también una baja retracción y desarrollo de calor en todas las fases.
- Comercialmente: el uso focalizado y económico de hormigón y SCM reduce el coste del diseño general de la mezcla.
- Ecológicamente: a través de la sustitución del hormigón por SCM, el balance ecológico (ACV) resulta considerablemente más positivo



Fig. 4.2.2: Diseño de mezcla de ingredientes de hormigón: áridos gruesos, agua, cemento, superplastificante, arena (de izquierda a derecha)

5 ENSAYOS Y PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

5.1 RELACIÓN AGUA/ CEMENTO

La relación agua/cemento (a/c) es la proporción en peso de agua y cemento del hormigón fresco. Esta se calcula dividiendo el peso del agua libre total (a) por el peso del cemento añadido (c). El valor k es un concepto explicado en la EN 206 (ver Capítulo 11.1.5). Entonces, la ecuación para la proporción a/c es:

$$w/c = \frac{w_{eff}}{c} \text{ or } \frac{w_{eff}}{c_{eq}} = \frac{w_{eff}}{c + (K \times \text{adición de tipo II})} \qquad [5.1.1]$$

El volumen de agua efectivo de una mezcla weff se calcula a partir de la diferencia entre la cantidad de agua añadida w_O en el hormigón fresco y la cantidad de agua absorbida de los áridos (w_G, determinada según EN 1097-6) o la humedad respectiva de los áridos w_h.

$$w_{eff} = w_O - w_G + w_h \qquad [5.1.2]$$

El volumen de agua requerido está influenciado por los áridos utilizados, ya sea material redondo o machacado, junto con su composición.
La elección de la relación a/c está determinada principalmente por las influencias ambientales (clases de exposición) según EN 206.

Se utilizan dos métodos para evaluar el volumen de agua en un hormigón. El principio básico es evaporar el agua mediante secado al horno. La prueba se puede realizar con un quemador de gas o un microondas.



5.1.1 MÉTODO DE PRUEBA EN RECIPIENTE

El peso del recipiente para la prueba del volumen de agua debe ser medido en el primer paso (a). Debe ser colocada una masa de aprox. 10 kg (para precisión del ensayo) de hormigón (b) en el recipiente. Después de 20 minutos de calentar el recipiente, debe medirse el peso de este con el hormigón seco (c). La diferencia entre a + b, y c es el volumen de agua en el hormigón.

Para asegurarse de que el hormigón esté seco, péselo después de 20 minutos, séquelo nuevamente durante 5 minutos y vuelva a pesar. Si la diferencia es inferior a 5 g, el hormigón está seco.

Para la medición de la densidad del hormigón fresco, consulte el Capítulo 5.6.
Cálculo:

Contenido de agua:

$$w_0 = (m_0 - m_1) * \rho / m_0 \quad [kg/m^3] \qquad [5.1.3]$$

Relación a/c:

$$(w_0 - w_G) / c \qquad [5.1.4]$$

ρ densidad hormigón fresco [kg/m³]	m_0 muestra húmeda [kg]	w_G agua absorbida [kg/m³]
c contenido de cemento [kg/m³]	m_1 muestra seca [kg]	w_0 volumen de agua [kg/m³]

5.1.2 MÉTODO DE PRUEBA CON MICROONDAS

El método de prueba con microondas para medir el volumen de agua del hormigón fresco se basa en la normativa austriaca. El tamaño máximo del granulado para esta prueba es de 32 mm. El tiempo entre la mezcla y la prueba del hormigón no debe exceder los 90 minutos. Además, la prueba no debe utilizarse con hormigón reforzado con fibra de acero.

Para esta prueba se necesitan una cantidad aprox. de 2000 ± 100 g de hormigón fresco y se deben distribuir uniformemente en la placa de prueba. El peso (mf) del hormigón y la placa debe medirse con una escala de precisión Δ ± 1g. La figura 5.1.1 muestra el tiempo mínimo de secado en el horno según la potencia del microondas. Pasado ese tiempo, se medirá el peso de la placa con el hormigón seco y posteriormente se secará en el horno microondas durante otros dos minutos. El peso actual y el peso ya medido no excederán una diferencia de 5 g. De lo contrario, la muestra debe secarse nuevamente.

$$w_0 = \frac{m_f - m_{dry}}{m_f} * 100\% \qquad [5.1.5]$$

w_0 volumen de agua [%]
m_f peso de muestra del hormigón fresco con lámina de ensayo incluida
m_{dry} peso de muestra del hormigón seco con lámina de ensayo incluida

La densidad del agua se establece en p_{water} = 1.000 kg/m³

Basado en el cálculo de contenido de agua en %, la densidad del hormigón fresco el contenido de agua en kg/m3 puede ser calculada de acuerdo a la ecuación 5.1.6:

$$w_{(kg/m^3)} = w_0 * \rho / 100 \qquad [5.1.6]$$

$w_{(kg/m^3)}$ volumen de agua [kg/m³]
w_0 volumen de agua [%]
ρ densidad del hormigón fresco [kg/m³]]

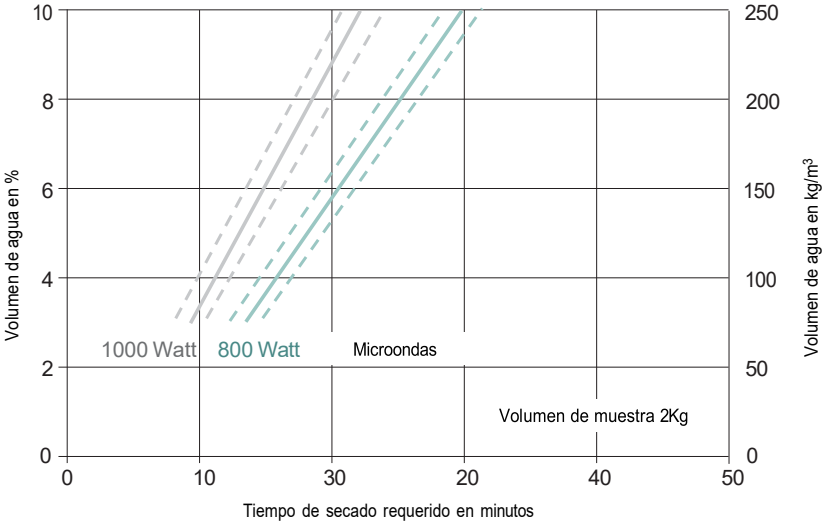


Fig. 5.1.1: Volumen del agua/ tiempo de secado

5.2 TRABAJABILIDAD Y CONSISTENCIA

La consistencia define el funcionamiento del hormigón fresco durante la mezcla, manipulación, entrega y colocación en la obra, así como también durante la compactación y el alisado superficial. La trabajabilidad es, por tanto, un parámetro relativo que se define según la consistencia.

Requisitos de trabajabilidad
- Rentable, vertido/colocación y acabado del hormigón fresco
- Máxima plasticidad ("fluidez"), con el uso de superplastificantes
- Buena cohesión
- Bajo riesgo de segregación, buen alisado de la superficie ("propiedades de acabado")
- Trabajabilidad extendida
- Proceso de fraguado y endurecimiento

 Retardo/hormigón para clima cálido
 Aceleración del fraguado y del endurecimiento/ acelerado hormigón para clima frío

Se puede medir la consistencia (o deformabilidad) del hormigón fresco. La norma EN 206 diferencia entre 4 y 6 clases de consistencia, dependiendo del método de ensayo. Además, define los hormigones frescos de rígidos a fluidos.
Las pruebas de consistencia se encuentran generalmente entre los parámetros de control del hormigón, los cuales se establecen en las pruebas preliminares para las aplicaciones involucradas.

Factores que influyen en la consistencia
- Composición y forma del árido
- Contenido y tipo de hormigón
- Volumen de agua
- Uso de aditivos
- Uso de aditivos para hormigón
- Condiciones de temperatura
- Periodo de mezcla e intensidad
- Tiempo de medición

Tiempo y ubicación de las pruebas
La consistencia del hormigón debe determinarse en el momento de la entrega, es decir, en el sitio antes de la colocación (control de asentamiento).
Si la consistencia se registra tanto después del proceso de mezclado (verificación de la consistencia de producción) como antes de la instalación en el sitio, es posible utilizar como factor una comparación directa del cambio de consistencia, respecto a la antigüedad del hormigón fresco.

Si el hormigón se entrega en un camión de hormigón premezclado, la consistencia se puede medir en una muestra aleatoria tomada después de que se hayan descargado aproximadamente 0,3 m³ de material.

"Trabajabilidad" corresponde al comportamiento del hormigón fresco durante la mezcla, manipulación, entrega y colocación en el sitio, y también durante la compactación y acabado en la superficie. Es una medida de la deformabilidad del hormigón fresco la cual, además, está definida por números medibles.
La norma EN 206 divide la consistencia en 4 a 6 clases según el método de prueba. Se pueden utilizar para especificar y probar una consistencia rígida a casi líquida. Probando la consistencia por
– Prueba de asentamiento (ver página 69)
– Grado de compactabilidad (ver página 70)
– Ensayo de asentamiento de hormigón (ver página 71)

Las pruebas de consistencia se utilizan para mantener un control regular del hormigón fresco. La frecuencia de la prueba debe basarse en la importancia de la estructura, además debe ser organizada de manera en que se pueda obtener una calidad determinada de hormigón de forma consistente.

El capítulo 11 de EN 206 proporciona información detallada sobre estos controles de conformidad

Tabla 5.2.1: Tolerancias para los valores de consistencia del objetivo según EN 206

Método de prueba	Grado de compactabilidad			Ensayo de asentamiento de hormigón (FTS)	Caída		
Rango de valor del objetivo	≥1,26	1,25 ... 1,11	≤1,10	All values	≤40 mm	50 ... 90 mm	≥100 mm
Tolerancia	±0,10	±0,08	±0,05	±30 mm	±10 mm	±20 mm	±30 mm

Prueba de consistencia mediante el ensayo de asentamiento con cono

Principio:
El hormigón fresco se coloca en una figura cónica ahuecada, en donde esta es compactada. Cuando la forma es elevada, el asentamiento otorga una medida de la consistencia del hormigón. El asentamiento es la diferencia en mm entre la altura del cono y la altura del hormigón fresco fuera del cono.

EN 12350-2
Todo el proceso, desde el inicio del vertido hasta el levantamiento de la figura, se debe realizar en 150 segundos. La prueba solo es válida si da un asentamiento residual en el que el hormigón permanece en gran parte intacto y simétrico después de la retirada del cono. Es decir, el hormigón permanece levantado y con forma cónica (o con un cuerpo parecido a un cono). Si el hormigón colapsa, se debe tomar otra muestra. Si las muestras colapsan en dos ensayos consecutivos, el hormigón no tiene la plasticidad y cohesión requeridas para la prueba de asentamiento.

Medición del asentamiento de cono

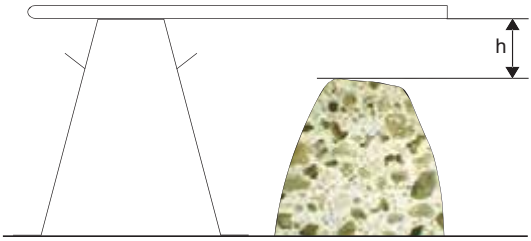


Fig. 5.2.1: Medición del asentamiento de cono

Formas de asentamiento

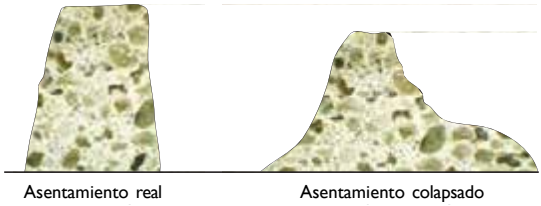


Fig. 5.2.2: Formas de asentamiento

Tipos de asentamiento: ver capítulo 11.1.3, clasificación por consistencia, página 251

Principio:
El hormigón fresco se coloca cuidadosamente en el recipiente de prueba, hecho de acero. Aquí es necesario evitar la compactación. Cuando el recipiente está lleno, el hormigón se alisa al ras hacia el borde, evitando vibraciones. A continuación, se compacta el hormigón, lo cual puede realizarse p. ej. con un vibrador de hormigón (con un diámetro máximo de botella de 50 mm). Después de la compactación, la distancia entre la superficie de hormigón y la parte superior del recipiente se mide en el centro de los 4 lados. Las principales medidas se utilizan para calcular el grado de compactabilidad.

EN 12350-4

Dimensiones del recipiente	Altura de la	200 - 200 mm	(±2 mm)
	Placa base	400 mm	(±2 mm)

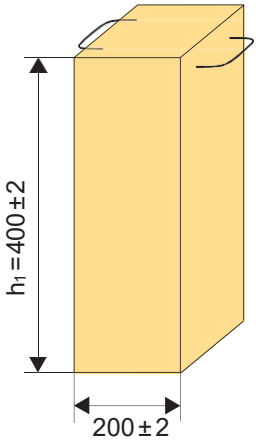


Fig. 5.2.3: Hormigón en recipiente antes de la compactación

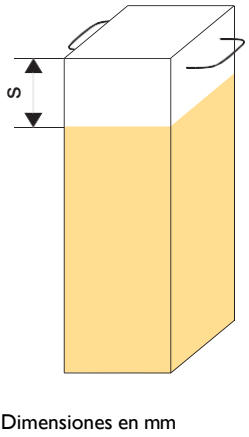


Fig. 5.2.4: Hormigón en recipiente después de la compactación

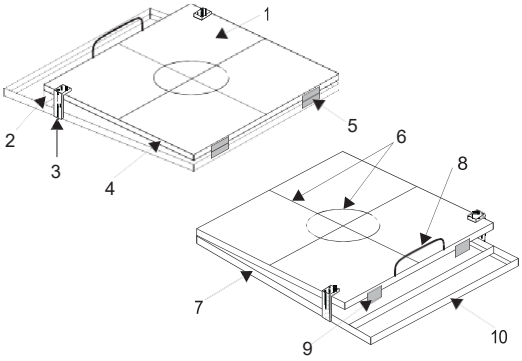
Grado de compactabilidad: $c = \frac{h_1}{h_1 - s}$ (adimensional) [5.2.1]

Tipos de grado de compactabilidad:
ver capítulo 11.1.3, clasificación por consistencia, página 251

Prueba de la consistencia mediante la prueba de la mesa de sacudidas

Principio:
Esta prueba determina la consistencia del hormigón fresco midiendo la “torta” de hormigón en una placa plana horizontal. El hormigón fresco se vierte primero en forma de cono (en 2 capas), se compacta y se alisa al ras con la parte superior de la forma. Luego, la forma se retira con cuidado verticalmente hacia arriba. Al final de cualquier colapso del hormigón, la placa se eleva manual o mecánicamente 15 veces hasta el tope superior y luego se deja caer hasta el tope inferior. La “torta” de hormigón se mide en paralelo a los bordes laterales, a través de la cruz central.

EN 12350-5



1 Plato metàlico
2 Altura de elevaciòn (limitado a 40 ± 1)
3 Tope superior
4 Superficie de impacto
5 Bisagras (exteriores)
6 Marcas
7 Marco
8 Haladera
9 Tope inferior
10 Reposapiés

Fig. 5.2.5: Mesa de sacudidas

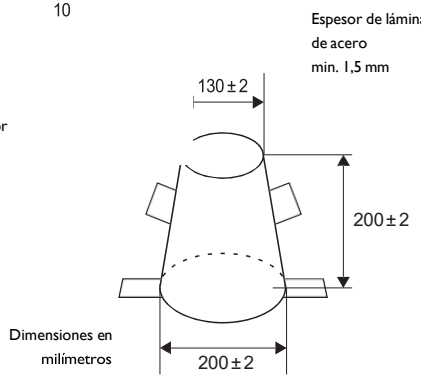


Fig. 5.2.6: Cono de asentamiento

Clases de diámetro de flujo:
ver Capítulo 11.1.3, Clasificación de consistencia, Página 251

Prueba de la consistencia mediante prueba de asentamiento y t_{500}

Principio:
Esta prueba determina la consistencia del hormigón fresco (HAC) midiendo la “torta” de hormigón en una placa plana horizontal. El hormigón fresco se vierte primero en forma de cono (cono similar al que se utiliza para las pruebas de asentamiento). Luego, la forma se retira con cuidado verticalmente hacia arriba. La “torta” de hormigón se mide por el diámetro más grande de la distribución de la “torta” y luego el diámetro de la distribución de la “torta” en ángulo recto con la primera medida. Si la diferencia entre ambas medidas es superior a 50 mm, se tomará otra muestra y se repetirá el procedimiento. En la placa está marcado un anillo con un diámetro de 500 mm desde el centro. El tiempo medido desde que se levanta el cono hasta el primer contacto del hormigón que fluye y ese anillo es el llamado tiempo t_{500}.

EN 12350-8

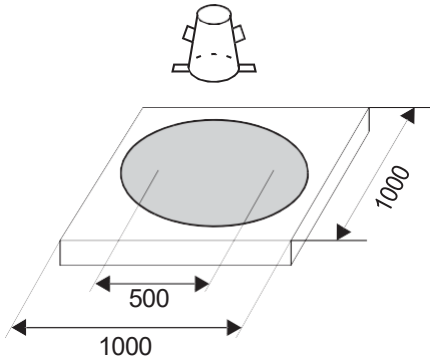


Fig. 5.2.7: Prueba de Flujo de asentamiento (dimensiones en mm)

Un método alternativo que se puede encontrar a veces es invertir el cono de asentamiento. Esto facilita el trabajo, ya que no es necesario sujetar el molde mientras se vierte.

Este método es adecuado tanto para uso en el sitio como en laboratorio.

Se pueden agregar más obstáculos colocando un anillo de acero (anillo en J) con acero dentado en el centro, para simular el comportamiento de flujo alrededor del refuerzo.

Ensayo de la consistencia. Método de la caja en L

Principio:
Este ensayo determina la consistencia del hormigón fresco autocompactante midiendo el flujo del hormigón en una caja en forma de L. El hormigón fresco se vierte primero en la caja. Después de levantar la barrera, el hormigón fluye hacia la caja. Se mide la altura en la sección vertical y la altura al final de la sección horizontal. La relación de estas alturas es una medida del comportamiento de paso o bloqueo del hormigón autocompactante.
Normalmente se utilizan dos variaciones de esta prueba: la prueba de dos barras y la prueba de tres barras. La prueba de tres barras simula un refuerzo de mayor densidad
.

EN 12350-10

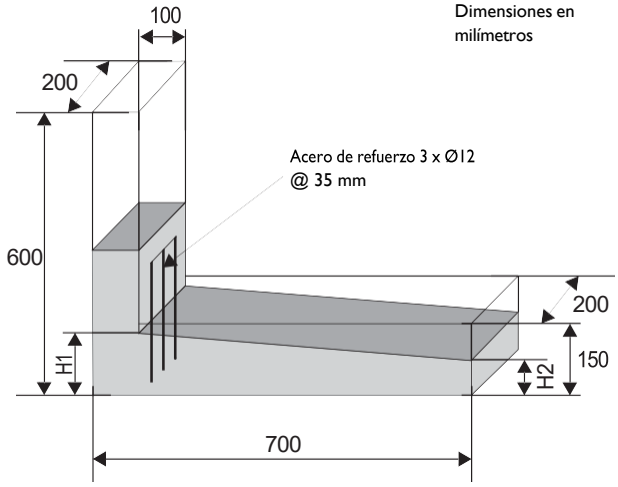


Fig. 5.2.8: Ensayo de la Caja en L

Ensayo de la consistencia. Ensayo del embudo en V

Principio:
Esta prueba determina la consistencia del hormigón autocompactante fresco midiendo el flujo de hormigón en un embudo en V. El hormigón fresco se vierte primero en el embudo en V. Después de abrir la barrera, el hormigón sale del embudo en V. El tiempo medido desde la apertura de la barrera hasta que el embudo en V está vacío se registra como tiempo del embudo en V. Esta prueba proporciona una indicación sobre la viscosidad y la capacidad de llenado del hormigón autocompactante.

EN 12350-9

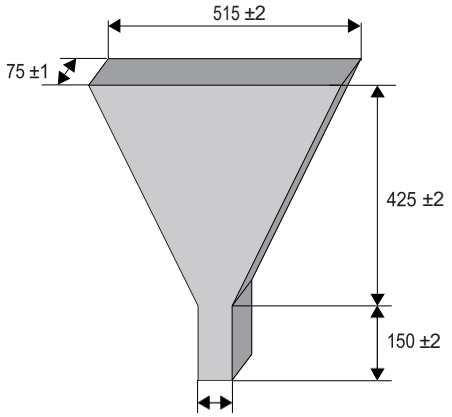


Fig. 5.2.9: Embudo en V

Ensayo de estabilidad mediante segregación por tamiz

Principio:
Esta prueba determina la resistencia del hormigón fresco autocompactante frente a la segregación. Se debe tomar una muestra de aproximadamente 10 litros y dejar reposar la muestra durante 15 minutos. Pasado ese tiempo de espera, se vierte el HAC (Hormigón autocompactante) desde una altura de unos 50 cm sobre el conjunto de tamices. Se deben verter aproximadamente 4,8 kg en el conjunto de tamices en una sola operación.

EN 12350-11

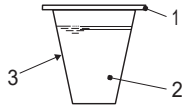


Fig. 5.2.10: Recipiente de la muestra y tapa

1 Tapa
2 Hormigón
3 Recipiente de muestra
4 Tamiz
5 Tamiz receptor
6 Balanza

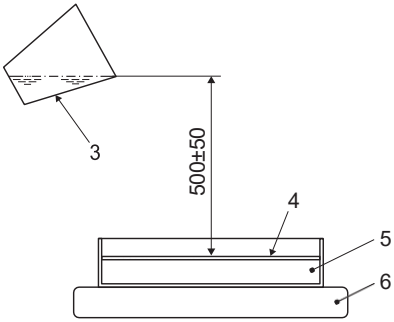


Fig. 5.2.11: Medición de la porción segregada

La porción segregada SR se calcula a partir de la siguiente ecuación y se informa al 1% más cercano.

$$SR = \frac{(m_{ps} - m_p) * 100}{m_c} \quad [5.2.2]$$

donde:
SR porción segregada [%]
m_{ps} masa del tamiz receptor más material pasante [g]
m_p masa del tamiz receptor [g]
m_c masa inicial del hormigón colocado en el tamiz [g]

5.3 HORMIGÓN PARA AMBIENTE CÁLIDO

La colocación del hormigón a altas temperaturas sólo es posible si se toman medidas de protección especiales. Estas medidas deben estar en vigor desde el inicio de la producción de hormigón hasta el final del curado. Depende de la temperatura exterior, la humedad del aire, las condiciones del viento, la temperatura del hormigón fresco, el desarrollo de calor, la disipación y las dimensiones del elemento. Por ejemplo, el hormigón debe protegerse para que no se seque durante el transporte.

El hormigón fresco no debe estar a más de +30 ° C durante la colocación y la instalación sin medidas de protección.

Posibles problemas
Con una temperatura ambiente superior a 25 ° C, el hormigón no retardado puede causar problemas.

- La hidratación es la reacción química del cemento y el agua. Comienza inmediatamente al contacto, continúa a través del endurecimiento hasta el fraguado (fraguado inicial) y finalmente hasta el endurecimiento de la pasta de cemento.
- Todas las reacciones químicas se aceleran a temperaturas elevadas.

Como resultado del endurecimiento temprano, la colocación del hormigón ya no es posible. Las contramedidas normales son el uso de superplastificantes retardantes o superplastificantes combinados con un retardante de fraguado.

Tiempos de retardo y tablas de dosificación
Propósito del retardo: Ampliar el tiempo de trabajo a una temperatura determinada.
Tiempo de trabajo: El tiempo después del mezclado durante el cual el hormigón puede ser vibrado correctamente. Retraso Libre: El fraguado inicial comenzará solo después de un tiempo específico.
Retardo meta: El fraguado inicial comienza en un momento específico.

¡La certeza proviene solo de pruebas preliminares específicas!

Tabla 5.3.1: Temperatura crítica para elementos estructurales

Elemento estructural y retraso	Temperatura crítica
Secciones transversales de hormigón voluminosas	Temperatura del hormigón fresco
Pequeñas secciones transversales de hormigón	Temperatura del aire en el punto de colocación.
La temperatura más alta (hormigón fresco o temperatura del aire) es la decisiva o crítica para secciones transversales de hormigón voluminosas con retraso prolongado y para secciones transversales de hormigón pequeñas con retraso corto.	

Tabla de dosificación para Hormigón con retardo libre
El retardo depende en gran medida en el tipo de cemento y el diseño de mezcla. Es altamente recomendado hacer pruebas antes de la aplicación.

Tabla 5.3.2: Dosificaciones de SikaTard® en % de peso del cemento (ejemplo)

Tiempo de retraso	Temperatura crítica					
[h]	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 dosificaciones se refieren al hormigón con 300 kg CEM I 42,5 N y una relación a / c = 0,50. La dosificación debe aumentarse en aproximadamente un 20% para el hormigón semiseco.
Las cifras de esta tabla son resultados de laboratorio y se refieren a un tipo de cemento específico y una formulación especial de retardante que puede no estar disponible en todas partes.
Siempre son necesarias pruebas de idoneidad preliminares
.

Factores que influyen
Varios factores afectan el retraso:

Influencia de la Temperatura
- Los aumentos de temperatura acortan y las reducciones de temperatura extienden el retraso.

Regla de oro
- Cada grado por debajo de 20°C prolonga el tiempo de retraso en aproximadamente 1 hora.
- Cada grado por encima de 20°C acorta el tiempo de retardo en 0,5 horas.

Por seguridad: ¡Haga pruebas antes!

Influencia de la relación a/c
Asumiendo un contenido de cemento de 300 kg/m³ y una dosificación de 1% de SikaTard®, la influencia de la relación a/c resulta en:
- Un incremento en la relación a/c de 0,01 causa un retraso adicional de cerca de medio hora

Combinación con Plastificantes / Superplastificantes
- Con un superplastificante sin retraso, SikaTard® extiende el retraso levemente.
- Con un superplastificante retardante, SikaTard® extiendo aún más (acumulativo) el
- retraso.
- Sika ViscoFlow® se puede utilizar como un aditivo de alto desempeño que mejora la trabajabilidad sin ningún retraso significativo del fraguado inicial del hormigón.

Siempre se deben realizar pruebas preliminares.

Influencia del cemento
El proceso de hidratación de diferentes cementos puede variar debido a las diferentes materias primas y finura de molienda. El efecto de retardo también es susceptible a estas variaciones, que pueden ser considerables a dosificaciones superiores al 0,8% de retardante.
La tendencia:
- Cementos Portland puros y finos: efecto de retardo reducido.
- Cementos más gruesos y algunos cementos mixtos: efecto de retraso ampliado

Por seguridad
- ¡Hacer pruebas antes!
- ¡Siempre realice una prueba preliminar en dosificaciones superiores al 0,8% del retardante!

Influencia del volumen de hormigón
Si se retrasa la colocación del hormigón, el volumen no influye en el efecto de retraso. Durante el fraguado inicial de un vertido adyacente (por ejemplo, retardo nocturno en una losa de cubierta), la "temperatura crítica" cambia en la zona de contacto con la siguiente sección retardada (aumenta), y esto hará que el efecto de retraso disminuya.

Características del Hormigón retardado

- Endurecimiento
- Si el endurecimiento comienza después de que se ha detenido el retraso, es más rápido que en el hormigón no retardado
- Retracción/creep (deformación)
- La retracción o fluencia final es menor que en el hormigón no retardado
- Retracción temprana
- Las fisuras por retracción resultantes de la retracción temprana pueden formarse debido a la deshidratación durante el período de retraso (evaporación de la superficie)
- ¡La protección contra la deshidratación es extremadamente importante para el hormigón retardado! ¡El curado correcto es fundamental!

Ejemplos de etapas de colocación del hormigón con retardo

1. Retraso Nocturno

- Losas de Cimentación.
- Cubiertas, vigas, etc.

Hacia el final de la colocación del hormigón del día normal, se colocan 3 franjas de aproximadamente 1,20 m de ancho con retraso creciente.

1ª franja: 1/3 de la dosificación principal.

2ª franja: 2/3 de la dosificación principal.

3ª franja: dosificación principal de la tabla o ensayos preliminares

Suspensión de los trabajos durante la noche.

Reanudación de las obras a la mañana siguiente:

La primera franja (adyacente a la tercera del día anterior) se retrasa a 1/3 de la dosificación principal.

2. Retardo con ajuste inicial simultáneo

Esto sucede con grandes tableros de puentes, losas de sótanos, etc. Los preparativos importantes son:

- Definir un programa de colocación del hormigón preciso con el ingeniero y el contratista.
- Sobre esa base, divida en secciones y elabore un cronograma.
- Destino: todas las secciones configuradas juntas.
- Cuando se determinan los tiempos, las dosificaciones para las secciones individuales se pueden especificar sobre la base de pruebas preliminares e información precisa de temperatura.

Ensayos preliminares

Los ensayos preliminares se refieren únicamente a la composición del hormigón especificada para la etapa retardada:

- Misma relación a / c y el mismo tipo de cemento con la misma dosificación.

Las limitaciones de vibración deben probarse en el sitio con varias muestras de hormigón por dosificación (en recipientes de 20 litros como mínimo), en condiciones de temperatura lo más similares posible a las condiciones durante la colocación.

Procedimiento:

- Determine la dosificación de retardante de la tabla.
- Llene al menos cinco recipientes con esa mezcla de hormigón.
- Vibrar el contenido del primer recipiente dos horas antes del ajuste inicial asumido.
- Después de cada hora adicional, vibre el siguiente recipiente (el contenido de cada recipiente solo se hace vibrar una vez).
- Cuando el contenido de un recipiente ya no puede vibrar, el hormigón ha comenzado a fraguar.
- Anote los tiempos obtenidos y compruebe si corresponden con las predicciones (en la tabla).
- Si las diferencias son demasiado grandes, repita las pruebas con una dosificación ajustada.

Medidas para hormigón retardado

El encofrado

El encofrado de madera utilizado por primera vez puede causar manchas antiestéticas, polvo en la superficie, etc., especialmente alrededor de los nudos, debido a los azúcares de la madera en la superficie.

El encofrado de madera, que es muy absorbente, no está lo suficientemente mojado y no se trata adecuadamente con un agente desencofrante, extrae demasiada agua de la superficie del hormigón.

El resultado son partículas sueltas o friables y polvo. Este daño es mayor en el hormigón retardado porque los efectos negativos continúan por más tiempo.

Encofrado de madera debidamente preparado y tratado correctamente con Sika®Separol® producirá superficies buenas y limpias también con hormigón retardado.

Compactación y curado

El hormigón retardado debe compactarse. La siguiente etapa (por ejemplo, a la mañana siguiente) se vibra junto con el "vertido antiguo". Las áreas retardadas se compactan y se terminan juntas. El curado es de enorme importancia, de modo que el hormigón retardado, compactado y ahora en reposo pierda la menor cantidad de humedad posible.

Los mejores métodos para superficies retardadas (soleras, etc.) son:

- Cubrir con láminas de plástico o mantas aislantes.

En zonas retardadas para volver a vibrar posteriormente:

- Recubrimiento completo con láminas de plástico o tela de yute húmeda. Proteger de corrientes de aire. El riego adicional de la superficie (es decir, la nebulización) puede provocar el lavado.

5.4 HORMIGÓN PARA AMBIENTE FRÍO

Aceleración de fraguado / hormigón frío

El hormigón debe protegerse de la lluvia y las heladas durante su manipulación.
La colocación del hormigón a temperaturas bajo cero solo está permitida si se toman medidas de protección especiales. Deben efectuarse desde el inicio de la producción de hormigón hasta el final del curado. Dependen de la temperatura exterior, la humedad del aire, las condiciones del viento, la temperatura del hormigón fresco, el desarrollo y la disipación del calor y las dimensiones del vertido del hormigón. El hormigón fresco no debe estar más frío de +5 ° C durante la colocación y la instalación sin medidas de protección adicionales. El agua de mezcla y los áridos deben precalentarse si es necesario.

Reto

Las bajas temperaturas retrasan el fraguado del cemento. A temperaturas inferiores a -10°C, los procesos químicos del cemento se detienen (pero continúan después del calentamiento). Surgen situaciones peligrosas si el hormigón se hiela durante el fraguado, es decir, sin tener una cierta resistencia mínima. Se produce un debilitamiento estructural, con la correspondiente pérdida de resistencia y calidad. La resistencia mínima a la que el hormigón puede sobrevivir a un proceso de congelación sin sufrir daños es la denominada resistencia a la congelación de> 5 N/mm² (recomendación Sika> 10 N/mm²). El objetivo principal debe ser alcanzar esta tensión de resistencia a la congelación lo más rápido posible.

La Temperatura T_{mix} de hormigón fresco puede ser calculada por la siguiente ecuación:

$$T_{mix} = \frac{c * c_c * T_c + a * c_a * T_a + w * c_w * T_w + w_a * c_w * T_a}{c * c_c + a * c_a + (w + w_a) * c_w} \ [°C] \qquad [5.4.1]$$

c contenido de cemento [kg/m³]
a áridos [kg/m³]
w agua [kg/m³]
w_a agua en áridos como humedad superficial y central [kg/m³]
T_c temperatura cemento [°C]
T_a temperatura áridos [°C]
T_w temperatura agua [°C]

c_c capacidad calorífica específica del cemento 0,72 bis 0,92 kJ/(kg·K)
c_a capacidad calorífica específica de los áridos
Cuarzo 0,80 kJ/(kg·K)
Caliza 0,85 bis 0,92 kJ/(kg·K)
Granito 0,75 bis 0,85 kJ/(kg·K)
Basalto 0,71 bis 1,05 kJ/(kg·K)
c_w capacidad calórica específica del agua 4,19 kJ/(kg·K)

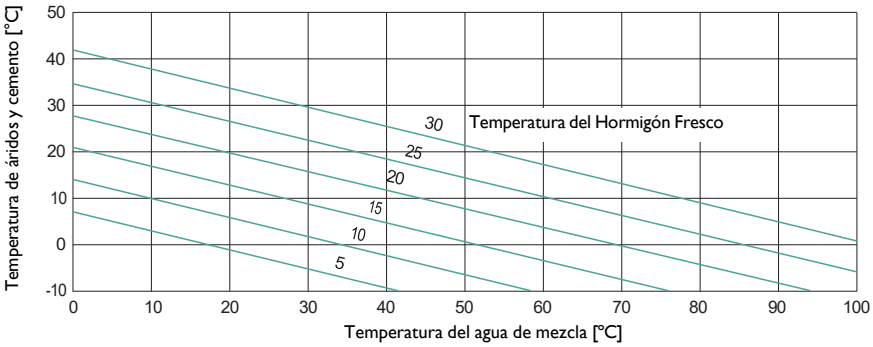


Fig. 5.4.1: Temperatura del hormigón fresco

Medidas

1. Temperatura Mínima

Según EN 206, la temperatura del hormigón fresco en el momento de la entrega no debe ser inferior a +5°C. (Para elementos de estructurales ligeros y temperaturas ambiente de -3°C o menos, una temperatura del hormigón fresco de +10°C, que debe mantenerse durante 3 días!). Estas temperaturas mínimas son importantes para que se produzca el fraguado. El hormigón debe protegerse de la pérdida de calor durante la manipulación y después de la colocación.

2. Reducción de la relación a/c

El contenido de agua más bajo posible conduce a un rápido aumento de la resistencia inicial. Además, también hay menos humedad disponible que podría congelarse. Los superplastificantes permiten una relación a/c baja mientras conservan una buena trabajabilidad.

3. Endurecimiento acelerado

El uso de SikaRapid® proporciona la máxima aceleración del endurecimiento cuando existen altos requisitos de resistencia inicial.

Tabla 5.4.1: Tiempo para alcanzar 10 N/mm² a 0°C en días (ejemplo)

	Tiempo en días	
Hormigón	Mezcla Control [d]	Con 1% SikaRapid® [d]
CEM I 300 kg/m³ a/c = 0,40	4 d	1 d
CEM I 300 kg/m³ a/c = 0,50	8 d	2 d

4. Uso de Cemento CEM I 52.5

Se sabe que los cementos de grado superior, más finamente molidos, producen un aumento más rápido de la resistencia inicial. Los superplastificantes garantizan la mejor trabajabilidad con una baja relación a/c.

Medidas de protección en obra

1. No colocar hormigón contra o sobre hormigón congelado existente.
2. La temperatura de la armadura de acero debe ser superior a 0°C.
3. Funda el hormigón rápidamente y protéjalo inmediatamente de la pérdida de calor y la evaporación (¡tan importante como en verano!). Para ello, lo mejor son las mantas de aislamiento térmico.
4. Para las losas: Caliente el encofrado desde abajo si es necesario.
5. Compruebe regularmente las temperaturas del aire/ambiente y del hormigón, así como la evolución de la resistencia (por ejemplo, con un martillo de rebote).
6. Prolongar los tiempos de desencofrado y vibración.

Ejemplo

Temperatura ambiente de -5 °C y temperatura de hormigón fresco de 11°C.

Elemento estructural	Disminución de la temperatura del hormigón hasta +5°C en	
Cubierta de hormigón d = 12 cm sobre encofrado de madera	~ 4 horas sin mantas aislantes	~ 16 hours con mantas aislantes

Conclusión:

Todas las partes deben planificar y organizar las medidas de invierno en una fase temprana.

5.5 CONTENIDO DE AIRE DEL HORMIGÓN FRESCO

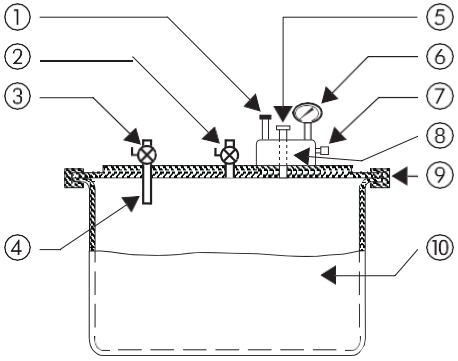
Determinación del Contenido de Aire

Existen dos métodos de prueba que utilizan equipos que funcionan según el mismo principio (Ley de Boyle-Mariotte): son el método de la columna de agua y el método de igualación de la presión. A continuación, se describe el método de igualación de presión, ya que es el más utilizado.

Principio:
Un volumen conocido de aire a una presión conocida se iguala con el volumen desconocido de aire de la muestra de hormigón en una cámara hermética. La graduación de la escala del manómetro para la presión resultante se calibra con el porcentaje de contenido de aire en la muestra de hormigón.

EN 12350-7

1 Bomba
2 Válvula A
3 Válvula B
4 Tubos de expansión para comprobaciones durante la calibración
5 Válvula principal de aire
6 Manómetro
7 Válvula de salida de aire
8 Cámara de aire
9 Junta de la abrazadera
10 Recipiente



Los recipientes de prueba de vacíos de aire para el hormigón estándar suelen tener una capacidad de 8 litros. La acción puede llevarse a cabo con un vibrador de póquer o de mesa. Si se utilizan vibradores de póquer, hay que asegurarse de que el aire atrapado no sea expulsado por una vibración excesiva.

Ninguno de los dos métodos es adecuado para el hormigón producido con áridos ligeros, escorias de alto horno refrigeradas por aire o áridos muy porosos.

5.6 DENSIDAD DEL HORMIGÓN FRESCO

Determinación de la densidad del hormigón fresco

Principio:
El hormigón fresco se compacta en un recipiente sellado y estanco y se pesa.

EN 12350-6
Las dimensiones mínimas del recipiente deben ser al menos cuatro veces el tamaño máximo nominal del árido grueso del hormigón, pero no debe ser inferior a 150 mm. La capacidad del recipiente debe ser de al menos 5 litros. El borde superior y la base deben ser paralelos.

(Los recipientes de prueba de vacíos de aire con una capacidad de 8 litros también han demostrado ser muy adecuados).

El hormigón se compacta mecánicamente con un vibrador de póker o de mesa o manualmente con una varilla o un pisón.

$$\rho = \frac{m_t - m_{Pot}}{v_{Pot}} * 1.000 \quad [kg/m^3] \quad [5.6.1]$$

donde:
ρ densidad [kg/m³]
m_t peso total [kg]
m_{Pot} peso recipiente de prueba de vacío de aire [kg]
v_{Pot} volumen de aire vacío recipiente de prueba [L]

5.7 TEMPERATURA DEL HORMIGÓN FRESCO

La temperatura del hormigón fresco no debe ser demasiado baja, para que el hormigón adquiera una resistencia suficiente con la suficiente rapidez y no sufra daños por las heladas a una edad temprana.



- La temperatura del hormigón fresco no debe descender por debajo de +5 °C durante la
- colocación y el montaje.
- El hormigón recién colocado debe protegerse de las heladas. La resistencia a la congelación se alcanza con una resistencia a la compresión de aproximadamente 10 N/mm² (recomendación de Sika).
- Por otro lado, las temperaturas demasiado elevadas del hormigón pueden provocar (causar) problemas de colocación y la disminución de ciertas propiedades del hormigón endurecido. Para evitarlo, la temperatura del hormigón fresco no debe superar los 30 °C durante la colocación y el montaje.

Precauciones a bajas temperaturas

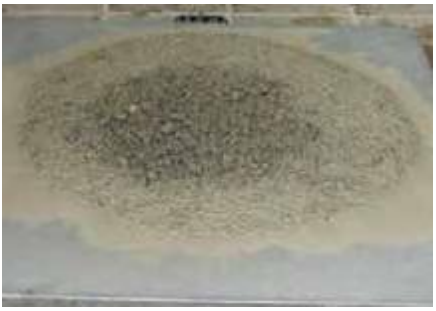
→ véase el hormigón en condiciones de temperatura ambiente frío, véase el capítulo 5.4

Precauciones a altas temperaturas

→ véase el hormigón para clima cálido en condiciones de temperatura ambiente cálido, véase el capítulo 5.3

5.8 COHESIÓN Y SANGRADO

La homogeneidad y la cohesión interna del hormigón son los factores determinantes para un hormigón fácil de manejar y duradero. Si la cohesión interna es mala y/o la homogeneidad es insuficiente, pueden producirse segregación, sangrados y alteraciones de la estructura, dañando la estructura del hormigón.



COHESIÓN

¿Cómo mejorar la cohesión/ homogeneidad?

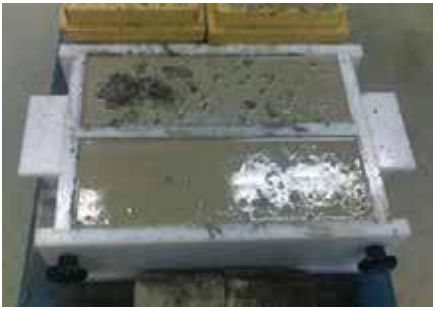
- Comprobar el diseño de la mezcla en cuanto al contenido de pasta de cemento y de finos
  - Adaptar la curva granulométrica de los áridos
  - Aumentar los finos (polvo + arena fina)
- Buscar relaciones a/c bajas con consistencia blanda/ fluida simultáneamente
  → Tecnología Sika® ViscoCrete®
- Utilizar un aditivo modificador de la viscosidad/retención de agua (VMA)
  → Sika® Stabilizer Pump / Sika® Stabilizer VMA
- Utilizar un inclusor de aire → SikaControl® AER

La insuficiente cohesión interna y/o la homogeneidad conducen a

- Separación del hormigón.
- Segregación del hormigón.
- Pueden producirse alteraciones en la estructura y dañar la estructura del hormigón.
- Se dificulta la colocación del hormigón.

SANGRADO

El sangrado es la fuga de agua en la superficie causada por la separación del hormigón. Suele producirse como consecuencia de la falta de finos en los áridos y en mezclas con bajo contenido de cemento o de agua.



Causas del sangrado

- Falta de finos en los áridos.
- Mezclas con bajo contenido de cemento.
- Mezclas con alto contenido de agua.
- Mezclas con bajo contenido en finos.
- Variaciones en la dosificación de las materias primas debido a una incorrecta dosificación.
- Sobredosificación de superplastificante.

Consecuencias

- Superficie de hormigón irregular, polvorienta y porosa.
- Resistencia inadecuada a las acciones ambientales y al desgaste mecánico de la superficie del hormigón.
- Eflorescencia en la superficie del hormigón.

Posibilidad de reducir el sangrado

- Optimizar la curva granulométrica.
- Reducir el contenido de agua.
- Utilizar un aditivo modificador de la viscosidad (VMA).
- Aumentar el contenido de conglomerante.

6 APLICACIÓN DE HORMIGÓN

6.1 HORMIGÓN CON GRÚA Y CUBA

El hormigón con grúa y cuba consiste en un hormigón premezclado listo para usar en obra, el cual se transporta a la zona de construcción a través de cubas especiales y grúas transportadoras. El hormigón se vierte en el encofrado a través de una abertura en el fondo de la cuba. Este método de aplicación es ampliamente utilizado y no requiere un tipo particular de mezcla de hormigón. De hecho, casi todos los tipos de hormigón pueden ser aplicados con este método siempre y cuando estos posean una consistencia mínima.



La versatilidad de este método de aplicación y el hecho de que no se requiera un particular diseño de mezcla de hormigón son las principales ventajas. Por un lado, como resultado, las aplicaciones de hormigón con grúa y cuba son muy económicas. Por otro lado, estas permiten una fácil aplicación de hormigón, ya que tan pronto esté instalada la grúa en la zona de construcción, el contratista puede aplicar cualquier tipo de hormigón con la cuba.

Esto significa que se puede instalar casi cualquier tipo de hormigón, como por ejemplo
- Hormigón de escasa fluidez a hormigón autocompactante.
- Hormigón desde baja hasta alta resistencia.
- Cualquier tipo de hormigón, dependiendo de los tipos de exposición y de los requisitos de durabilidad

Además, este método de colocación de hormigón no influye en las propiedades del hormigón fresco y endurecido, como en los vacíos de aire o en la resistencia final.

El método de aplicación del hormigón mediante grúa y cuba tiene limitaciones respecto a la cantidad de hormigón que se puede aplicar durante un determinado período de tiempo. Si es necesario instalar grandes cantidades de hormigón, este método es desfavorable.

Debido a que casi todos los tipos de hormigón, como hormigón fresco, se pueden colocar con grúa y cuba, existen una gran variedad de aditivos para hormigón Sika que se pueden implementar.

Durante la colocación del hormigón por cubas deben evitarse las caídas de este desde grandes alturas, especialmente en el caso de hormigón visto, hormigón altamente fluido y hormigón autocompactante. El vertido desde grandes alturas pueden resultar en la segregación del hormigón fresco, el cual debe mitigarse con la instalación de mangueras.



6.2 HORMIGÓN BOMBEABLE

El hormigón bombeado es un método muy eficaz para transportar rápidamente grandes cantidades de hormigón. Este método requiere principalmente de un diseño de mezcla adecuado para que el hormigón pueda bombearse sin segregación ni obstrucción de las tuberías.

El hormigón bombeable ofrece la ventaja de altas tasas de instalación de hormigón y una gran flexibilidad en la obra.



Composición

■ Árido
– Max. diámetro de partícula <1/3 del diámetro de la tubería
– La lechada de mortero en la mezcla bombeada debe poseer una buena cohesión para evitar la segregación del hormigón durante el proceso de bombeo

Tabla 6.2.1: Valores estándar para el contenido de finos (contenido de material <0,125 mm) según SN EN 206

Max. tamaño árido	8 mm	16 mm	32 mm
Contenido de finos	450 kg/m³	400 kg/m³	350 kg/m³

Tabla 6.2.2: Recomendación de Sika para el contenido de finos

Max. tamaño del árido	Árido redondeado	Árido de machaqueo
8 mm	500 kg/m³	525 kg/m³
16 mm	425 kg/m³	450 kg/m³
32 mm	375 kg/m³	400 kg/m³

Curva granulométrica: el hormigón bombeado debe estar compuesto, si es posible, por diferentes fracciones individuales de arena y gravas. Es importante contar con una constante curva granulométrica del tamaño de las partículas.
El contenido de 4 a 8 mm. debe mantenerse bajo, pero no debe haber una gradación discontinua.

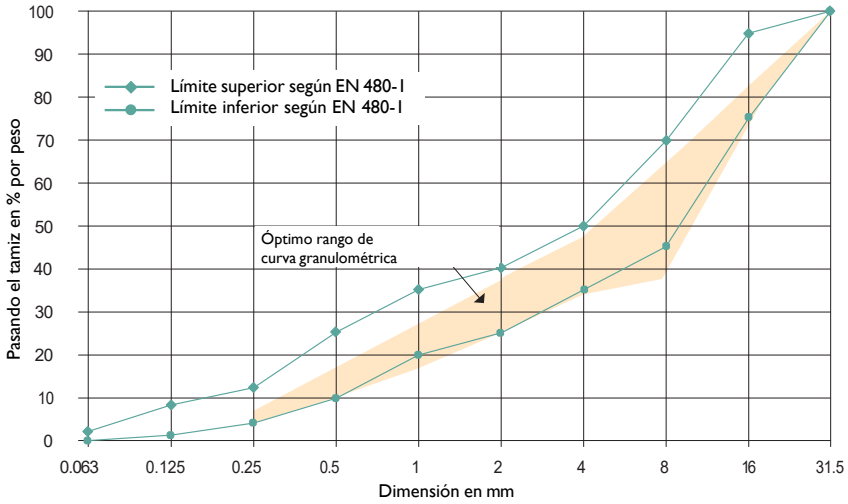


Fig. 6.2.1: Rango óptimo de curva granulométrica para hormigón bombeado

■ Hormigón

Tabla 6.2.3: Recomendaciones Sika respecto al contenido de cemento

Max. tamaño árido	Árido redondeado	Árido de machaqueo
8 mm	380 kg/m³	420 kg/m³
16 mm	330 kg/m³	360 kg/m³
32 mm	300 kg/m³	330 kg/m³

■ Relación agua/cemento (proporción a/c)

Si el contenido de agua es demasiado alto, se produce segregación y derramamiento durante el bombeo, lo cual puede provocar bloqueos. El contenido de agua siempre debe reducirse utilizando superplastificantes.

Funcionabilidad

El hormigón fresco debe tener una consistencia alta con una buena cohesión. Idealmente, la consistencia del hormigón bombeable debería estar determinada por el grado de compactabilidad o por el ensayo de diámetro.

■ Consistencia del hormigón fresco

Método de prueba	Tipo de consistencia	Medición
Grado de compactabilidad	C2 – C3	1,04 – 1,25
Fluidez - diámetro	F3 – F4	42 – 55 cm

Agentes de bombeo

Áridos desfavorables, materias primas variables, largas distancias de bombeo o altos volúmenes requieren la utilización de un agente de bombeo. Esto reduce la fricción y la resistencia en la tubería. También reduce el desgaste de la bomba y las tuberías, además de aumentar la producción en volumen.

■ Bomba estacionaria de hormigón

– Diámetro de 80 a 200 mm (comúnmente se utiliza un diámetro de 100 y 125 mm).
– Cuanto menor es el diámetro, más complejo es el bombeo (superficie/ sección transversal).
– Los acoplamientos deben encajar bien para evitar la pérdida de presión y adhesión.
– Los primeros metros deben ser lo más horizontales posible y sin pliegues.
– Se deben proteger las tuberías del fuerte sol en verano.

■ Lubricantes de tubería

La mezcla de lubricante tiene como función recubrir las paredes internas de la tubería con una capa fina. De esta forma, se logra un fácil bombeo desde el comienzo.

– Mezcla convencional: Mortero 0-4 mm, contenido de cemento como el siguiente hormigón de calidad o ligeramente superior.
– La cantidad depende del diámetro y la longitud de la línea.
– Mezcla producida con SikaPump® Start-1

■ Efecto del aire contenido en el hormigón

El hormigón con resistencia a heladas y ciclo hielo/deshielo puede ser bombeado con contenidos de aire menor a 5% ya que con un mayor contenido de aire se puede generar una mayor resiliencia.

Productos Sika

Nombre del producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Reducción de agua, mayor resistencia e impermeabilidad con consistencia garantizada (trabajabilidad), y mejor capacidad de bombeo
Sika ViscoFlow®	Aditivo potenciador de la trabajabilidad	Mayor tiempo de trabajabilidad, reducción de agua
SikaFume®	Humo de sílice	Alta resistencia, mayor impermeabilidad, mejor capacidad de bombeo
Sika® Stabilizer Pump	Agente de bombeo	Apoya el bombeo con áridos desfavorables y protege el equipo del desgaste excesivo
Sika® Stabilizer VMA	Agente modificador de la viscosidad	Mantiene la cohesión interna. Apoya el bombeo con áridos difíciles y protege el equipo del desgaste excesivo
SikaPump® Start-1	Agente lubricante	Producción de mezcla de lubricantes para lubricar las paredes de las tuberías. Facilita enormemente el bombeo de mezclas cementosas



6.3 HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE (HAC)

El hormigón autocompactante (HAC) es un hormigón innovador que no necesita vibración para su colocación y compactación. Es capaz de fluir por su propio peso, llenando completamente el encofrado y logrando una compactación total, incluso en presencia de armaduras altamente densas. El hormigón endurecido es denso, homogéneo y tiene las mismas propiedades de ingeniería y durabilidad que el tradicional hormigón vibrado.



El hormigón autocompactante (HAC) tiene un contenido de finos más alto que el hormigón convencional debido a su mayor cantidad de cemento y una curva granulométrica combinada diferente. Estos ajustes, combinados con superplastificantes especialmente adaptados, producen una fluidez única y una compactabilidad inherente.
El hormigón autocompactante abre nuevas posibilidades más allá de las aplicaciones de hormigones convencionales:

- Se utiliza con un estrecho armado metálico
- Para formas geométricas complejas
- Para componentes esbeltos
- Generalmente donde la compactación del hormigón es difícil
- Para especificaciones que requieran una estructura de hormigón homogénea
- Para fases de instalación rápidas
- Para reducir el ruido (eliminar o reducir la vibración)
- Para reducir daños a la salud ("síndrome de la uña blanca")

■ Árido

Se prefieren las partículas pequeñas, de máximo 12 a 20 mm, pero en principio todos los áridos son posibles.

Ejemplo de clasificación de áridos			
Fracción de tamaño de partícula	HAC 0/8 mm	HAC 0/16 mm	HAC 0/32 mm
0/4 mm	60%	53%	45%
4/8 mm	40%	15%	15%
8/16 mm	–	32%	15%
16/32 mm	–	–	25%

Contenido de finos ≤ 0,125 mm (cemento, aditivos y finos)	
SCC 0/4 mm	≥ 650 kg/m³
SCC 0/8 mm	≥ 550 kg/m³
SCC 0/16 mm	≥ 500 kg/m³
SCC 0/32 mm	≥ 475 kg/m³



■ Contenido de cemento

En función del contenido de finos, se pueden determinar los siguientes contenidos de cemento, dependiendo de la calidad del hormigón requerido y el diámetro máximo de árido utilizado.

Hormigón y aditivos (total)	
HAC 0/4 mm	550 – 600 kg/m³
HAC 0/8 mm	450 – 500 kg/m³
HAC 0/16 mm	400 – 450 kg/m³
HAC 0/32 mm	375 – 425 kg/m³

■ Contenido del agua

El contenido de agua en HAC depende de los requisitos de calidad del hormigón. Este se puede definir de la siguiente manera:

Hormigón y aditivos (total)	
≥ 200 L/m³	Baja calidad de hormigón
180 to 200 L/m³	Calidad de hormigón estándar
≤ 180 L/m³	Alta calidad de hormigón

■ Aditivos para hormigón

Para asegurar las propiedades del hormigón autocompactante en estado fresco es imprescindible la aplicación de un potente superplastificante a base de éteres de policarboxilato (PCE), como el que ofrece la tecnología Sika® ViscoCrete®. De esta forma, el contenido de agua se puede mantener bajo y se puede ajustar tanto la homogeneidad como la viscosidad.

■ Superficie del encofrado

El encofrado para HAC debe estar limpio y firme. Las presiones del encofrado pueden ser superiores a las del hormigón vibrado convencional. La presión del encofrado depende de la viscosidad del hormigón, la velocidad de colocación y del punto de llenado. Se debe utilizar todo el potencial de presión hidrostática del hormigón para el diseño general del encofrado.

■ Método de colocación

El hormigón autocompactante se aplica de la misma forma que el hormigón convencional. El HAC no debe descargarse libremente desde una gran altura. El flujo óptimo y la apariencia de la superficie se obtienen mediante la instalación con rellenado de cavidades desde abajo o mediante tubos tremie, los cuales llegan por debajo de la superficie de hormigón.

Productos Sika

Nombre del producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete®	Superplastificante	Mayor resistencia e impermeabilidad. Alta reducción de agua. Mejora las propiedades autocompactantes.
Sika ViscoFlow®	Aditivo potenciador de la trabajabilidad	Mayor tiempo de trabajabilidad, reducción de agua.
SikaFume®	Humo de sílice	Alta resistencia, mayor impermeabilidad. Apoya la estabilidad del aire retenido.
Sika® Stabilizer Pump	Agente de bombeo	Apoya el bombeo con áridos desfavorables y protege al equipo del desgaste excesivo
Sika® Stabilizer VMA	Aditivo modificador de la viscosidad (VMA)	Potencia la cohesión. Sustituto de finos.





6.4 HORMIGÓN PARA ÁREAS DE TRÁFICO RODADO

El hormigón para áreas de tráfico rodado tiene muchas utilidades y, a menudo, se utiliza como una alternativa al asfalto debido a su durabilidad y otras ventajas.



Los usos del hormigón para zonas de tráfico:
- Construcción de carreteras convencionales
- Glorietas de hormigón
- Pistas/calles de aterrizaje
- Zonas de estacionamiento

Si se utiliza el hormigón con estos fines, la capa de hormigón actúa como soporte de carga y como capa de rodadura. Para cumplir con los requisitos de lo recientemente mencionado, el hormigón debe tener las siguientes propiedades:
- Resistencia a la flexión alta
- Resistencia al hielo/deshielo, según el clima y la exposición esperada
- Buena resistencia al deslizamiento
- Baja abrasión

La composición es un factor vital para lograr los requisitos deseados. Los criterios de selección de los distintos componentes son los siguientes:
- Áridos
  - Uso de mezcla de finos reducidos.
  - Uso equilibrado de la curva granulométrica de tamaño de partículas.
  - El árido de machaqueo o parcialmente machacado aumenta la resistencia al deslizamiento y la resistencia a la flexión.

- Hormigón
  - Dosificación de 300 – 350 kg/m³, normalmente cemento Portland

- Aditivos
  - Micro sílice para áreas con mucho impacto o para aumentar la durabilidad a nivel general.
  - Mayor resistencia al deslizamiento al esparcir carburo de silicio o gravilla en la superficie.

El hormigón para tráfico rodado es un hormigón especial, por lo que los siguientes puntos requieren particular atención:

- A menudo se instala en grandes áreas con tren pavimentador.
- La consistencia debe ser adecuada al tipo de maquinaria.
- Mejorar la resistencia al deslizamiento/derrape con ranuras cortadas o con un acabado con cepillo.
- El curado completo es esencial.

Para asegurar la resistencia al derrape y la rugosidad necesaria, es adecuado un sistema enfocado en la aplicación de un retardante superficial para hormigón/ agente de curado. En el caso de la construcción de carreteras, esto generalmente se realiza mediante un remolque especial y el posterior cepillado de la superficie en un momento específico luego de la instalación del hormigón.

Productos Sika

Nombre del Producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Reducción de agua, mejor resistencia a la compresión y flexión, mejor consistencia.
SikaFume®	Micro sílice	Alta resistencia, mayor impermeabilidad.
SikaControl® AER	Inclusor de aire	Incorporación de aire para aumentar la resistencia al hielo/deshielo.
SikaRapid®	Acelerante de endurecimiento	Control del proceso de endurecimiento del hormigón.
SikaTard®	Retardante de fraguado	Control del proceso de fraguado.
Sika® Antisol®	Agente de curado	Protección contra el secado prematuro.





6.5 HORMIGÓN EN MASA



El hormigón en masa corresponde a estructuras con altos espesores (> 80 cm). Estas estructuras tienen un gran tamaño, lo que generalmente significa que deben instalarse grandes volúmenes de hormigón en poco tiempo. Esto requiere una planificación muy apropiada y procesos eficientes.

El hormigón en masa es usado para:
- Cimentaciones para grandes cargas
- Cimentaciones para el control de flotabilidad
- Muros macizos (por ejemplo, para protección contra radiaciones)

Estas estructuras masivas crean los siguientes problemas principales:
- Altas diferencias de temperatura entre las capas de hormigón internas y externas durante el fraguado y el endurecimiento.
- Las temperaturas máximas del hormigón se vuelven muy elevadas.
- Como resultado del curado de afuera hacia adentro, ocurren grandes diferencias respecto a la humedad y, por lo tanto, se fuerza la retracción.
- Consolidación secundaria (asentamiento) del hormigón, lo que provoca la fisuración sobre las capas superiores de refuerzo y también el asentamiento debajo de las barras de refuerzo.

Riesgos:
Todos estos problemas pueden provocar fisuras y defectos de la matriz del hormigón: Las llamadas "fisuras en la superficie" pueden ocurrir si la diferencia de temperatura externa/interna es superior a 15°C o si las capas externas se contraen debido a su secado. Estas fisuras generalmente tienen solo unos centímetros de profundidad y posteriormente pueden cerrarse.

Medidas a tomar:
- Usar bajo contenido de cemento y bajo calor de hidratación.
- Usar un tamaño de árido máximo lo más grande posible (por ejemplo, 0-50 mm en lugar de 0-32 mm).
- Si es necesario, enfríe los áridos para obtener una temperatura inicial más baja del hormigón fresco.
- Aplique el hormigón en capas (espesor de capa <80 cm).
- Retrase la aplicación de las capas inferiores para asegurarse de que se pueda volver a compactar toda la sección después de colocar la capa superior.
- Utilice curado con métodos de aislamiento térmico.
- Asegure el correcto diseño y distribución de juntas y secciones de colocación del hormigón. De esta forma, se facilitará la disipación del calor y la adaptación a las fluctuaciones de temperatura.

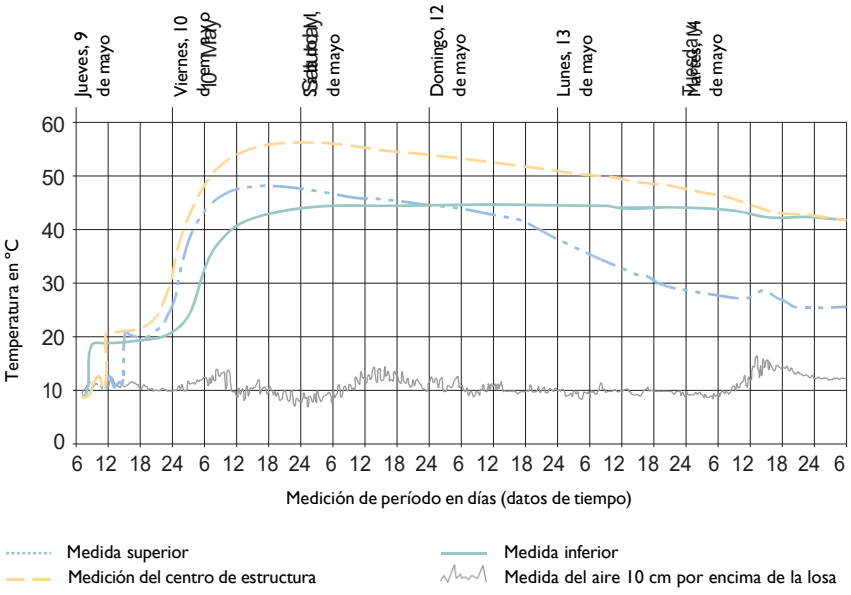


Fig. 6.5.1: Medida del calor de hidratación en una losa de tierra de 160 cm de espesor colocada en tres niveles

Productos Sika

Nombre del producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Reducción sustancial de agua, trabajabilidad y bombeabilidad aseguradas
SikaTard®	Retardante de fraguado	Control del proceso de fraguado
Sika® Antisol®	Agente de curado	Protección contra el secado prematuro

6.6 HORMIGÓN PARA SOLERAS INDUSTRIALES

El hormigón monolítico se utiliza para la construcción de soleras industriales resistentes a fisuras. Estos pavimentos de hormigón se caracterizan por su alta calidad, durabilidad y economía.



Composición
Dependiendo de los requerimientos particulares, debe adaptarse la mezcla de hormigón (hormigón resistente a la abrasión, hormigón resistente a las heladas, etc.).

Colocación
Se realiza a través de colocación estándar y compactación con vibradores de inmersión. Alise la superficie con cercha vibradora. Una vez que comienza el proceso de endurecimiento, la superficie es terminada con fratasadoras/ pulidoras/ niveladoras de pavimento.

Curado
El curado debe comenzar lo antes posible y debe mantenerse durante un período de tiempo suficiente, rociando Sika® Antisol (¡Atención! ¡tener en cuenta su compatibilidad con recubrimiento posterior!) o cubriendo con membranas.

Notas
- Verificar el potencial del uso de fibras para el diseño de hormigón monolítico para soleras.
- Para mejorar la superficie terminada, recomendamos el uso de Sikafloor® Top Dry Shakes, el cual se esparce sobre la superficie durante la operación de acabado.
- Es de gran importancia una selección de superplastificantes adecuados. El tiempo de trabajabilidad y el fraguado del hormigón deben coincidir con los requisitos del lugar de construcción debido a la programación del acabado con fratasadoras/ pulidoras/ niveladoras de pavimento. Realice pruebas con anticipación, especialmente con superplastificantes que ofrecen una vida útil prolongada.

Recomendaciones Sika:

Áridos
- Áridos de machaqueo o canto rodado son adecuados, pero son preferibles los áridos redondos.
- Tamaño máximo del granulado 16 mm para hormigón bombeado.
- La fracción de 4 a 8 mm debe mantenerse baja.
- La cantidad de fracción de arena (0 a 4 mm) debe ser superior al 40%.

Hormigón y finos
- Contenido mínimo de cemento según EN 206; aprox. 330 a 360 kg/m³.
- Se recomienda cemento tipo CEM I o CEM II.
- Cantidad mínima de finos entre 425 y 450 kg/m³.

Agua
- La relación entre el agua y el hormigón debe ser inferior a 0,55.
- En invierno, utilice agua caliente en la mezcla (máx. 50°C).
- Sin adición extra de agua en la zona de trabajo.

Aditivos
- Se debe seleccionar un superplastificante basado en PCE adecuado, el cual debe estar en estrecha colaboración con el proveedor del aditivo.

Productos Sika

Nombre del producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Mayor resistencia e impermeabilidad. Buena trabajabilidad. Gran valoración ecológica.
SikaRapid®	Acelerante de endurecimiento	Control del proceso de endurecimiento/ fraguado en bajas temperaturas.
Sikafloor® Top Dry Shakes	Tipos minerales, sintéticos y metálicos	Abrasión mejorada. Opción de coloración.
Sikafloor® ProSeal	Curado y sellado de endurecimiento superficial	Reducción de la pérdida de agua. Apoya el endurecimiento y el curado, sella la superficie.
Sika® Stabilizer Pump	Agente de bombeo	Apoya el bombeo con áridos desfavorables y protege al equipo del desgaste excesivo
SikaFiber®	Micro/ macro fibras	Mejora la reducción de la retracción
Sika® Antisol®	Agente de curado	Se reduce la pérdida de agua

6.7 HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO (RCC)



El hormigón compactado con rodillo (RCC) es compuesto por los mismos elementos del hormigón convencional (cemento, aditivos, arena, grava, agua y aditivos) pero se transporta, coloca y compacta con maquinaria para el movimiento de tierras. El hormigón compactado con rodillo se utiliza para la construcción de presas, grandes superficies (áreas de estacionamiento) y estabilización de carreteras. sin embargo, se utiliza principalmente para la construcción de presas.

Tecnología

Una de las principales características del RCC es su apariencia semiseca, que puede describirse como una consistencia de "hormigón sin asentamiento", lo cual se debe al bajo contenido de cemento y agua de este tipo de hormigón. Las mezclas de RCC para represas con menor contenido de cemento tienen entre 60 y 100 kg/m³ de material cementoso, mientras que los RCC con alto contenido de material cementoso pueden tener hasta 220 kg/m³. Con respecto a los áridos, las mezclas de RCC pueden tener, por un lado, diámetros máximos de áridos de hasta 120 mm. Por otro lado, este tipo especial de hormigón tiene un contenido de finos superior al 10% del peso seco de los áridos.

Resistencia y densidad

En la mayoría de los casos, el hormigón compactado con rodillo no desarrolla una mayor resistencia a la compresión con una relación a/c reducida. El factor determinante para el desarrollo de la resistencia es la compactabilidad del material, ya que debe compactarse con maquinaria pesada en un proceso de vibro compactación. Como consecuencia, se logra un contenido de humedad óptimo que permite alcanzar una mayor densidad y con esto, una mayor resistencia.

Diseño de mezcla RCC

Al diseñar el hormigón compactado con rodillo no es de gran interés su resistencia a la compresión: es su resistencia al corte o la tracción directa lo que controla el diseño. En términos generales, el enfoque del diseño de la mezcla es el siguiente:

- Aproximación a curvas granulométricas específicas, minimizando la cantidad requerida de material cementoso.
- Determinación del contenido de humedad óptimo mediante pruebas de densidad máxima.
- Garantizar el contenido de volumen mínimo de pasta.

Unión de las diferentes capas

El hormigón compactado con rodillo se coloca en capas (generalmente de 15 a 45 cm) y se compacta con vibro compactadores (de 4 a 8 pasadas), lo que genera consideraciones especiales con respecto a la adherencia suficiente entre estas capas. Hay dos métodos ejecutados:

Método de unión en caliente – la capa siguiente se coloca y compacta antes de que la capa anterior haya alcanzado su punto de fraguado. Con este método, el punto de fraguado del hormigón debe ser evaluado en pruebas. Este es el método más económico y rápido que permite altas tasas de colocación.

Método de unión en frío – utilizado cuando las circunstancias de la construcción no permiten el método recientemente mencionado. La superficie del hormigón debe tratarse previamente para aumentar la adherencia. Posteriormente, se instala un mortero de unión o una capa de hormigón de alta fluidez. De esta manera, se puede colocar la siguiente capa de RCC.

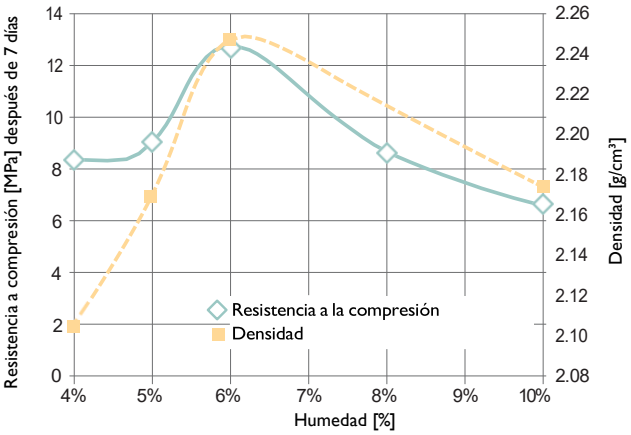
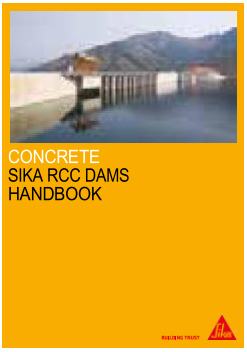


Fig. 6.7.1: Resultados de laboratorio (presa Stancy)

Productos Sika

Nombre del producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Mejor compactabilidad y durabilidad, trabajabilidad garantizada a lo largo del tiempo
SikaControl® AER	Inclusor de aire	Resistencia asegurada a las heladas y a ciclos hielo/deshielo



Consulte el 'Manual de presas Sika RCC' para obtener información detallada.

6.8 HORMIGÓN DE ENCOFRADO DESLIZANTE



Con la tecnología de encofrado deslizante, el encofrado se mueve continuamente en sincronía con el proceso de colocado en una operación de 24 horas. La colocación del encofrado, incluyendo la plataforma de trabajo y el andamio colgante montado en el interior o en ambos lados, se fija a las barras de elevación en el centro del muro. El gato elevador hidráulico accionado por aceite hidráulico eleva el encofrado de 15 a 30 cm por hora, dependiendo de la temperatura.

Las varillas de elevación se encuentran en manguitos de tubo en la parte superior y se apoyan en el hormigón que ya se ha endurecido. Las varillas y los manguitos también se elevan de forma continua. Estos trabajos se llevan a cabo casi en su totalidad por contratistas especializados.

El encofrado por deslizamiento es rápido y eficaz. El método es especialmente adecuado para estructuras simples, planos de terreno consistente y altas como:

- Almacenes de gran altura, silos
- Estructuras de torres y chimeneas.
- Estructuras de chimenea

Dado que la altura del encofrado suele ser de sólo 1,20 m y la producción horaria es de 15 a 30 cm, el hormigón que se encuentra debajo tiene de 4 a 8 horas y debe ser lo suficientemente rígido para soportar su propio peso (resistencia temprana). Sin embargo, no debe haber fraguado lo suficiente para que una parte se adhiera al encofrado ascendente ("desprendimiento"). El principal requisito para el encofrado deslizante sin problemas es colocar el hormigón en todas las zonas al mismo nivel y al mismo tiempo y el fraguado simultáneo de estas capas.
Por lo tanto, la temperatura tiene una gran influencia, junto con el requisito de la relación óptima de agua/cemento.

Tenga en cuenta, en particular, que un espesor de pared inferior a 15 cm puede suponer un problema (desplome anclaje de varillas de gato, etc.). Las superficies recién golpeadas deben protegerse en la medida de lo posible del viento, la luz solar, etc.

Recomendaciones Sika

■ Áridos
– 0 – 32 mm o 0 – 16 mm caso mayor refuerzo.
– Aunque el hormigón de encofrado deslizante es principalmente un hormigón manipulado con grúa, el contenido de finos debe ser como el del hormigón bombeado.

■ Cemento
– Mínimo 300 kg/m³.
– CEM I 42.5 para mayor refuerzo y grandes dimensiones, CEM I 52.5 para dimensiones más pequeñas (torres, chimeneas).

■ Trabajabilidad
La mejor trabajabilidad se ha probado en un hormigón con características plástica, medido en la mesa de sacudidas con una expansión de 35-45 cm y un bajo contenido de agua.

Productos Sika

Nombre de producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Mayor resistencia e Impermeabilidad. Considerable reducción de agua. Buen desarrollo resistencia inicial.
SikaFume®	Humo de sílice	Alta resistencia, mayor impermeabilidad. Incremento de finos.
Sika® Stabilizer VMA	Agente modificador de viscosidad	Mayor cohesión. Sustitución finos.
SikaControl® AER	Inclusor de aire	Incorporación de aire ocluido. Producción de hormigón resistente a las heladas y a ciclos hielo/deshielo.
SikaRapid®	Acelerante	Control de los procesos de endurecimiento/ fraguado del hormigón encofrado deslizante.
SikaTard®	Retardante	Control de los procesos de fraguado del hormigón encofrado deslizante.
Sika® Separol®	Agente desencofrante	Contribuir a la uniformidad visual y a la durabilidad de las superficies hormigón.

6.9 HORMIGÓN PROYECTADO

El hormigón proyectado es un material de construcción que resulta de la combinación de materiales (hormigón, aditivos) y un método de aplicación específico (proyección). La mezcla base, ya sea seca o húmeda, se entrega a una boquilla donde se pulveriza con aire comprimido al sustrato. Durante el proceso de pulverización, se consigue la mezcla húmeda final, se puede añadir un acelerador y el hormigón pulverizado es, finalmente, compactado



El hormigón proyectado tiene una amplia gama de aplicaciones debido a su alta flexibilidad, buena economía y buenas propiedades físicas. Sin embargo, el método de hormigón proyectado requiere un alto grado de mecanización y aplicadores bien formados. No obstante, la ventaja sobre los métodos de colocación del hormigón convencionales es extraordinaria: la aplicación del hormigón sin ningún encofrado e incluso por encima de la cabeza.

El hormigón proyectado se utiliza principalmente en las siguientes aplicaciones:

Usos
- Estabilización de excavaciones túneles y minería.
- Estabilización de zanjas y taludes.
- Recubrimientos de alto desempeño.
- Obras de reparación y reacondicionamiento.

Requisitos para Hormigón Proyectado
- Trabajabilidad adecuada (tiempo abierto).
- Buena bombeabilidad.
- Bajo rebote y formación de polvo.
- Buena adherencia al soporte.
- Rápido fraguado y generación resistencia inicial.
- Alta durabilidad.

La mayor parte del hormigón proyectado se aplica en la construcción subterránea. En particular, el desarrollo de la resistencia temprana juega un papel central. El hormigón proyectado debe aplicarse rápidamente en capas de altos espesores, incluso por encima de la cabeza. De acuerdo con el uso previsto, la resistencia del hormigón proyectado recién aplicado se divide en tres clases: J1, J2 y J3 (EN 14487).

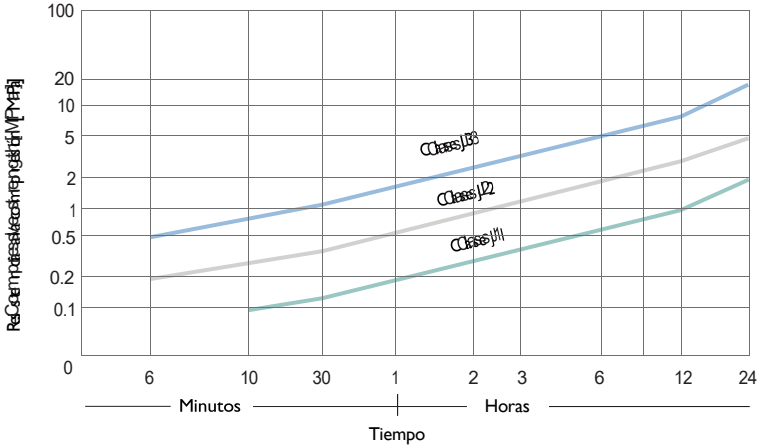


Fig. 6.9.1: Hormigón Proyectado clases de resistencias tempranas según EN 14487-1

Clase J1 el hormigón proyectado es apropiado para su aplicación en capas finas sobre un soporte seco. No cabe esperar requisitos estructurales en este tipo de hormigón proyectado durante las primeras horas después de la aplicación. Normalmente, el hormigón proyectado J1 se utiliza en la estabilización de taludes y zanjas.

Clase J2 el hormigón proyectado se utiliza en aplicaciones en las que hay que conseguir capas de mayor espesor en poco tiempo. Este tipo de hormigón proyectado puede aplicarse por encima de la cabeza y es adecuado incluso en circunstancias difíciles, por ejemplo, la estabilización inmediata de una excavación.

Clase J3 el hormigón proyectado se utiliza en caso de roca muy frágil o de afluencia de agua. Debido a su rápido fraguado, se produce más polvo y rebote durante la aplicación y, por tanto, el hormigón proyectado de clase J3 sólo se utiliza en casos especiales.

Proceso de proyección en vía húmeda

Existen dos procesos diferentes de proyección en vía húmeda, a saber, el de flujo diluido y el de flujo denso. En el proceso de flujo denso, el hormigón base se bombea en una corriente densa a la boquilla con una bomba de hormigón. En la boquilla, la mezcla de base bombeada se dispersa mediante aire comprimido, por lo que se convierte en un chorro fino.

El aditivo acelerante, que se añade al aire comprimido justo antes de la boquilla, se mezcla de forma homogénea con la mezcla base al mismo tiempo. La misma mezcla base puede ser suministrada a través de una máquina de rotor mediante el transporte de flujo diluido. El material se transporta neumáticamente por aire comprimido, como se hace en la proyección en seco de hormigón proyectado (gunitado). El aditivo acelerante se añade en la boquilla con aire comprimido adicional.

Suponiendo que se especifiquen los mismos requisitos para el hormigón proyectado aplicado, ambos procesos - aplicación densa y de flujo diluido - requieren la misma mezcla base en términos de granulometría, relación a/c, aditivos y contenido de cemento. Para reducir el rebote, el tamaño del árido suele limitarse a 8 mm. Sin embargo, el contenido de finos en el flujo diluido húmedo debe ser algo menor para evitar la obstrucción por los finos depositados en las mangueras.

Ejemplo del diseño de mezcla para 1 m3 de hormigón proyectado en vía húmeda
Hormigón Proyectado Húmedo 0-8 mm, Hormigón Proyectado clase C 30/37, CEM I 42.5

Componentes	Contenido	Volumen
Cemento	400 kg/m³	127 L
Áridos: 60% Arena 0 – 4 mm (seco)	1.031 kg/m³	385 L
Áridos: 40% Grava 4 – 8 mm (seco)	687 kg/m³	256 L
Relación agua -cemento (a/c = 0,48) (incluye el agua que contienen los áridos)	192 kg/m³	192 L
Vacíos de aire (4,0%) 1% ≙ 10 L en 1 m³		40 L
Hormigón proyectado		1.000 L
Masa Húmeda por m³	2.310 kg	

Aditivos

Reductor de agua:	Sika® ViscoCrete® SC, dosf. 1,0%
Acelerante sin álcalis:	Sigunit® AFL, dosf. 5 – 9%

1 m³ de hormigón proyectado vía húmeda aplicado da como resultado 0,90 - 0,94 m³ de material sólido en el soporte.

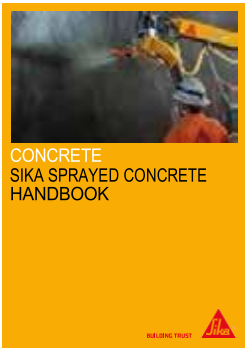
Sika® ViscoCrete® SC – superplastificante para hormigón proyectado
Los superplastificantes para hormigón proyectado se diferencian de los plastificantes/superplastificantes tradicionales.

Están sujetos a los siguientes requisitos adicionales:
- Buena capacidad de bombeo con baja relación a/c.
- Tiempo de trabajabilidad extendido/ sostenimiento del asentamiento.
- Compatibilidad con el acelerante seleccionado para favorecer el desarrollo de la resistencia.

Sika® Sigunit® – acelerante de hormigón proyectado
Sika® Sigunit® provoca un rápido fraguado del hormigón proyectado y acelera el desarrollo de la resistencia en las primeras horas.
Sika® Sigunit® AFL acelerante sin álcalis
Sika® Sigunit® L acelerante alcalino

SikaFume® – humo de sílice
El SiO_2 del humo de sílice reacciona con el hidróxido de calcio para formar silicato de calcio adicional. Esto hace que la matriz de cemento sea más densa, más dura y más resistente. Los requisitos actuales de hoy en día para el hormigón proyectado, como la estanqueidad y la resistencia a los sulfatos, no se cumplen fácilmente sin la adición de humo de sílice

SikaTard® – aditivo retardante de fraguado
SikaTard® regula la hidratación del hormigón proyectado. Esto permite una extensión casi arbitraria de la trabajabilidad del hormigón proyectado, de modo que el hormigón proyectado recién mezclado puede trabajarse sin dificultad durante períodos de tiempo definidos por el usuario, desde unas pocas horas hasta 72 horas.



Consulte el "Manual de hormigón proyectado de Sika" para obtener información detallada.

6.10 HORMIGÓN PREFABRICADO PESADO

El hormigón prefabricado se utiliza para construir estructuras que se entregan tras su endurecimiento.
El hormigón utilizado para la producción de estructuras prefabricadas requiere un proceso de producción, y un buen diseño de la mezcla de hormigón con una optimización continua es esencial.



Los siguientes pasos de producción están relacionados con diferentes retos técnicos dentro de la producción de prefabricados y el montaje final de los elementos acabados:

- Construcción y preparación de la armadura.
- Preparación del encofrado sellado y aplicación correcta del desencofrante al encofrado.
- Producción de hormigón - diseño de mezcla rentable que cumpla con las normas y cumpla con los requisitos técnicos.
- Transporte e instalación del hormigón fresco - vida de asentamiento suficiente y alta fluidez para una instalación rápida.
- Acabado de la superficie del hormigón - no hay retraso en la producción y se mejora las características del acabado.
- Curado del hormigón - aplicación del agente de curado lo antes posible y reducción del calor/ curado al vapor del hormigón.
- Desencofrado - desarrollo rápido de la resistencia temprana para ciclos cortos de encofrado.
- Reparación de defectos y daños en la superficie - aplicación rápida y sencilla de un mortero o sistema de reparación adecuado.
- Aplicación de la protección del hormigón - utilización de la impregnación que ofrece los previstos fines de protección.
- Transporte del elemento de hormigón prefabricado a la obra.
- Reparación de daños ocurridos durante el transporte - aplicación rápida y fácil de mortero o sistema de reparación adecuado.
- Ejecución de los elementos y sellado de las juntas - sellado altamente duradero de las juntas según requisitos técnicos.
- Rejuntado final de huecos y pegado/ anclaje de piezas construidas.

■ Preparación del diseño de la mezcla de hormigón
Al preparar el diseño, los requisitos de hormigón deben definirse de acuerdo con el elementos específicos, su uso previsto y condiciones de exposición. Normalmente se deben definir los siguientes parámetros:
- Requisitos de resistencia y requisitos de durabilidad
- Requisitos estéticos
- Tamaño máximo del árido
- Método de colocación y velocidad de colocación
- Consistencia del hormigón
- Condiciones generales del lugar (temperatura, etc.)
- Manipulación del hormigón y su colocación
- Definición de requisitos de prueba
- Consideración de los parámetros específicos del elemento de hormigón
- Definición del curado
- Diseño y especificación de mezcla

■ Proceso de curado y endurecimiento del hormigón
Dado que el prefabricado generalmente implica una producción continua, se requieren intervalos cortos en todas las fases de producción. Por lo tanto, el curado es especialmente importante debido a sus limitaciones de tiempo. El tiempo es el principal motivo por el que se suele utilizar el curado por calor o por vapor, ambas medidas de gran consumo energético. A pesar del tiempo, la producción eficiente y respetuosa con el medio ambiente es cada vez más importante. El desarrollo de un diseño de la mezcla de hormigón, que incluye una innovadora tecnología de superplastificantes y una potente tecnología de aceleración, conduce a un proceso de producción general optimizado en el que el consumo de energía para el curado por calor o vapor puede reducirse o incluso eliminarse.
- Incluir el curado en el diseño del hormigón
- Utilizar el curado por vapor si es necesario
- Evitar la vibración (después del acabado)
- Utilizar un agente de curado
- Cubrir con láminas o mantas antiheladas
- Mantenga la humedad o rocíe si es necesario
- Mantener el tiempo de curado correspondiente a la temperatura

Encontrará información detallada sobre el curado en el capítulo 10.3 (véase la página 238).

■ Mejora del endurecimiento del hormigón en la producción de dovelas para túneles

Dovelas para túneles combina el reto de la realización de una alta resistencia temprana especificada y el cumplimiento de los más altos requisitos en cuanto a durabilidad. El desarrollo de la resistencia suele asegurarse mediante el uso de calor o vapor, lo que puede ser contradictorio con la durabilidad si la temperatura del núcleo del hormigón es demasiado alta. El rendimiento del hormigón en cuanto a resistencia temprana y durabilidad puede mejorarse con la tecnología SikaRapid®.

Ejemplos de ciclos de calentamiento con y sin aplicación de SikaRapid® y la temperatura del hormigón resultante con la correspondiente resistencia temprana se pueden ver en los gráficos abajo. Con la aplicación de SikaRapid® se optimizó el proceso de endurecimiento del hormigón, con el resultado de que se pudieron eliminar aproximadamente 150 minutos de calentamiento. Al mismo tiempo, se alcanzaron los requisitos de resistencia inicial y final. Además, se mejoró la durabilidad de las dovelas del túnel, ya que la temperatura máxima del hormigón se limitó a menos de 60°C.

Tabla 6.10.1: Para el proceso general de producción de prefabricados pesados y el montaje de elementos prefabricados de hormigón, Sika ofrece las siguientes tecnologías:

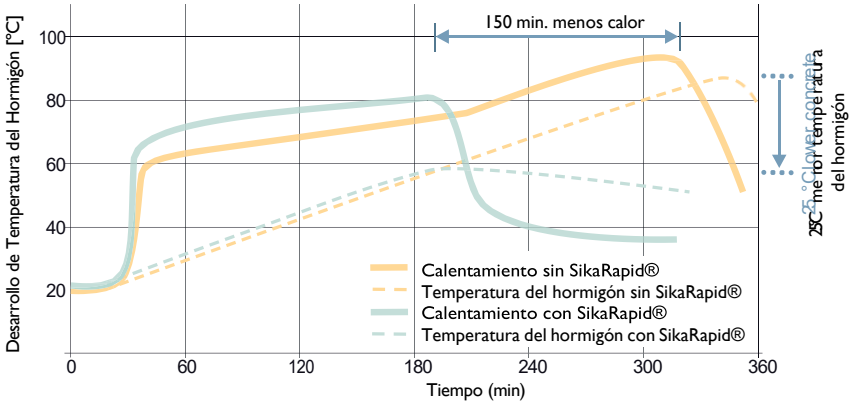


Fig. 6.10.1: Desarrollo del calentamiento y desarrollo de la temperatura del hormigón

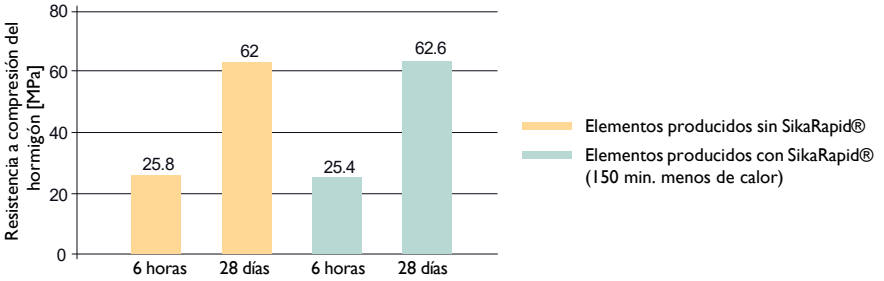


Fig. 6.10.2: Comparación de la resistencia a la compresión

Producción de hormigón	Aspecto superficial	Reparación y protección	Sellado y anclajes
Sikament®	Sika® Separol®	Sika® Antisol®	Sikaflex®
Sika® ViscoCrete®	SikaControl® PerFin	Sikagard®	Sikadur®
SikaRapid®	SikaColor®	Sika MonoTop®	Sika AnchorFix®
Sika® Stabilizer VMA	Sika® Rugasol®	SikaGrout®	
SikaControl® AER		Sikafloor®	
SikaFiber®		Sika® Ferrogard®	
SikaFume®			

Productos Sika

Producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® Sikament®	Superplastificante	Alta reducción de agua, mejor trabajabilidad/ propiedades autocompactantes, aumento de resistencia y durabilidad
SikaRapid®	Acelerante	Control del fraguado y endurecimiento del hormigón
Sika® Stabilizer VMA	Agente modificador de la viscosidad	Aditivo modificador de la viscosidad para mejorar la estabilidad y la resistencia a la segregación
SikaControl® AER	Inclusor de aire	Para la producción de hormigón resistente heladas y ciclo hielo/ deshielo
SikaControl® PerFin	Mejorador de Superficie	Superficies de hormigón acabadas mejoradas por reduccion de poros y hoyos
SikaFiber®	Micro fibras	Reducción de fisuras en edades tempranas, aumento de la resistencia al fuego
	Macro fibras	Aumento de la resistencia al impacto durante la manipulación y el transporte, posible sustitución del refuerzo de acero en determinadas condiciones
SikaFume®	Humo sílice	Apoya la estabilidad del aire atrapado, aumenta la resistencia y la durabilidad
SikaColor®	Pigmentos de color	Para colorear hormigón
Sika® Separol®	Agente desencofrante	Para superficies de hormigón de alta calidad y protección contra el moho
Sika® Antisol®	Agente curador	Protección para el secado prematura
Sika® Rugasol®	Retardante de superficie	Retardante de superficie

6.11 DOVELAS DE HORMIGÓN PARA TÚNEL

Los métodos modernos de excavación de túneles en rocas débiles exigen dovelas de hormigón que soporten inmediatamente la carga como revestimiento a la sección del túnel completamente excavado. Las unidades de hormigón prefabricadas denominadas dovelas para túneles (Tübbing) cumplen esta función.



Producción

Debido a su gran número y peso (hasta varias toneladas cada una), las dovelas del túnel se fabrican casi siempre cerca de la boca del túnel en instalaciones de prefabricación especialmente instaladas.

Tienen que cumplir especificaciones de gran precisión. El encofrado de acero, que es el que se utiliza para la construcción de túneles, se fabrica casi siempre cerca de la boca del túnel. Tienen que cumplir especificaciones de gran precisión. El encofrado de acero pesado es lo normal. Dado que el desencofrado tiene lugar tras sólo 5 ó 6 horas y el hormigón debe tener una resistencia a la compresión de más de 15 N/mm², es esencial acelerar el desarrollo de la resistencia.

Para ello existen varios métodos. En el proceso de autoclave (reflujo de calor), el hormigón se calienta a 28 - 30 °C durante la mezcla (con agua caliente o vapor), se coloca en el encofrado y se termina. A continuación, se calienta durante unas 5 horas en una autoclave a 50 - 60 °C para obtener la resistencia necesaria para el desencofrado.

Composición

- Áridos
  Comúnmente utilizado: 0 – 32 mm
- Cemento
  Contenido de cemento 320 a 360 kg/m³
  CEM I 42.5 o 52.5

Colocación

La mezcla de hormigón fresco tiende a endurecerse rápidamente debido a la alta temperatura, lo que dificulta la correcta compactación y el acabado de la superficie.
Debido al rápido procesamiento industrializado, se puede utilizar una consistencia plástica de hormigón fresco. La resistencia inicial deseada sólo puede obtenerse con una relación a/c baja, por lo que siempre debe ser < 0,48.

Requerimientos especiales

Las dovelas recién desmoldadas deben ser curados cubriendo o rociando con un agente de curado como Sika®Antisol®. Sin embargo, para obtener una combinación de máxima durabilidad en condiciones de suelo variables y un curado óptimo, las superficies de las dovelas se tratan más a menudo con un Sikagard® inmediatamente después del desencofrado. Con esta protección adicional contra el ataque químico, se consiguen superficies de hormigón extremadamente duraderas.

Productos Sika

Producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete®	Superplastificante	Alta reducción de agua, mejora de la trabajabilidad, aumento de la resistencia y la durabilidad.
SikaRapid®	Acelerante	Control del fraguado y endurecimiento del hormigón.
SikaControl® AER	Inclusor de aire	Incorporacion de aire, la producción en frios y hormigón resistente a heladas y ciclos de hielo/deshielo.
SikaFiber®	Micro fibras	Reducción de las fisuras edad temprana, aumento de la resistencia al fuego.
SikaFume®	Humo sílice	Incremento de la resistencia e impermeabilidad, mejora de la resistencia a los sulfatos.
Sika® Separol®	Agente desencofrante	Para superficies de hormigón de alta calidad y protección contra el moho.





6.12 HORMIGÓN SEMISECO

El hormigón semiseco se utiliza para la fabricación de productos prefabricados de hormigón que tienen en común que se producen económicamente en grandes cantidades a pesar de su gran variedad de formas, texturas y colores.

- Adoquines de hormigón
- Bloques de construcción
- Bordillos
- Losas de hormigón
- Elementos de jardinería y paisajismo
- Tuberías y cajas
- Tejas
- Placas alveolares
- Traviesas de ferrocarril con desmoldeo instantáneo



La mayor cantidad de hormigón semiseco se utiliza para la fabricación de adoquines.

General

El proceso altamente automatizado necesita unas características especiales del hormigón:

- Aspecto granular tras la mezcla para garantizar un llenado rápido y uniforme del molde.
- Se puede desmoldar al instante tras la compactación.
- Precisión dimensional (mantenimiento de la forma) a pesar de que el cemento esté totalmente sin hidratar (resistencia en verde).

Una máquina de compactación pesada que opera principalmente en el sistema de vibroprensa (vibración más presión) es necesaria para fabricar productos de hormigón en una gran variedad de formas y tamaños. Las ventajas de este proceso son:

- Sólo un molde por forma de producto (baja inversión de capital).
- Gran flexibilidad de producción gracias al rápido cambio del encofrado para un nuevo tipo de producto.
- Producción rápida, eficiente e industrializada con un alto rendimiento.

Introducción a la tecnología

El diseño de la mezcla de hormigón semiseco sigue las mismas reglas que el hormigón vibrado convencional. Sin embargo, hay que tener en cuenta algunas condiciones especiales:

- Curva de distribución granulométrica fina (granulometría máxima de 8 mm con áridos redondeados, 11 mm con áridos triturados de machaqueo) con alta demanda de agua.
- Bajo contenido de agua total debido a la baja relación a/c (0,34 a 0,40).
- Contenido relativamente bajo de conglomerante (cemento de alta resistencia en la mezcla frontal y una utilización cada vez mayor de materiales cementantes suplementarios como sustitutos del cemento, por ejemplo, cenizas volantes o piedra caliza en polvo en la mezcla base).
- Alto contenido de poros de compactación debido a la difícil compactación.
- Susceptibilidad al secado temprano y a la pérdida de agua debido a la gran superficie no protegida.

La resistencia se desarrolla según las leyes generales de la tecnología del hormigón y al final es similar a los hormigones de alta resistencia.

Compactación

La compactabilidad del hormigón semiseco utilizado representa el factor más importante para la calidad del producto, incluyendo el mantenimiento de la forma, la resistencia, las decoloraciones y la durabilidad. Por lo general, aumenta con:

- Aumento de la energía de compactación (duración, frecuencia, etc.)
- Aumento del contenido de agua
- Mayor contenido de ligante
- Adición de aditivos (ayudas a la compactación)

La compactación puede expresarse mejor utilizando el contenido de poros de compactación, porque así se elimina la influencia de la densidad específica del árido. Una mezcla de base bien compactada debería tener ≤ 5 Vol.% de poros de compactación (típico ≤ 8,5 Vol.-%), mientras que una mezcla de cara vista de alta calidad puede tener ≤ 8 Vol.% de poros de compactación (típico ≤ 12 Vol.-%). Estos poros deben ser considerados en el cálculo del diseño de la mezcla. Las densidades frescas relacionadas necesitan ser controladas durante la producción. Los aditivos como las series C y HC de SikaPaver® permiten una compactación más rápida e intensiva. Esto ofrece la posibilidad de ahorrar tiempo de compactación o producir una calidad de hormigón mayor y más homogénea.

Contenido de agua

El contenido de agua de la mezcla de hormigón es decisivo para una buena compactación. Junto con el cemento forma la pasta de cemento, que puede considerarse como "lubricante". Una mayor cantidad facilita el movimiento de los áridos durante la compactación, lo que conduce a una mejor compactación. Sin embargo, un exceso de lubricante afectará negativamente al llenado del molde y a la resistencia temprana. Si la relación a/c es superior a 0,40, se producirán poros capilares adicionales, lo que provocará una pérdida de resistencia final y una menor resistencia a hielo/deshielo.



Llenado de moldes

Una distribución uniforme del hormigón es necesaria en toda la placa de producción para garantizar una baja variación de los pesos individuales de los adoquines y para una calidad constante. Los auxiliares especiales de llenado y compactación de SikaPaver® pueden ayudar a mejorar el comportamiento de llenado del molde con un hormigón granular semiseco.

Resistencia temprana

Los productos de hormigón recién formados tienen una llamada resistencia temprana que se deriva de las leyes de la mecánica del suelo (cohesión aparente). Es la razón por la que los hormigones semisecos pueden desmoldarse inmediatamente después de la compactación manteniendo su forma. En los adoquines estándar con áridos redondos, esta resistencia en verde (a la compresión) se sitúa en el rango de aproximadamente 0,1 - 1,0 MPa.

Se pueden conseguir efectos positivos con una compactación más intensa (menos poros) y el uso de áridos machacado. Con un contenido de poros constante, una pasta de cemento más líquida y un contenido de pasta demasiado alto tendrán un efecto negativo. Sin embargo, con una energía de compactación constante 6 l/m³ más de agua (≈ a/c +0,02) dará lugar normalmente a un 1,5 Vol.-% menos de poros de compactación y con ello mantener la resistencia temprana.

Resistencia

Los adoquines de hormigón semiseco se almacenan tras su producción durante unas 24 horas en bastidores en una cámara de curado. Un clima típico de 35 °C/85% h.r. se alcanza también sin calefacción adicional si la cámara está aislada y protegida contra las corrientes de aire. Después de salir de la cámara de curado, tienen que soportar la tensión de las unidades de paletización, que se considera suficiente si la resistencia a la compresión supera los 10 MPa.

La resistencia a la compresión y la resistencia a la rotura por tracción aumentan en general en relación con la densidad del hormigón (contenido de poros). En condiciones de compactación constantes (tiempo de vibración y presión de compactación), las relaciones a/c más elevadas conducen a una mejor compactación y, por tanto, a una mayor resistencia. Sin embargo, si se supera el contenido óptimo de agua, la resistencia disminuye a pesar del aumento de la densidad en fresco. Esto ocurre debido a los vacíos capilares que reducen la resistencia y que se forman como resultado del exceso de agua (a/c > 0,40) y anulan el efecto positivo del aumento de la densidad. Cuanto más se utilicen los sustitutos del cemento con un contenido constante de ligante y agua, más pronto producirá este efecto.

Como regla general, las mejores resistencias se consiguen si la relación a/c objetivo para la mezcla base es de 0,38 (variación típica de a/c ± 0,02 debido a la variación de la humedad de los áridos), lo que asegura una buena hidratación del cemento sin poros capilares mientras que paralelamente se alcanza una buena compactación. Sin embargo, es muy importante encontrar y mantener el mejor contenido de agua para las materias primas reales y el diseño de la mezcla que se utiliza.

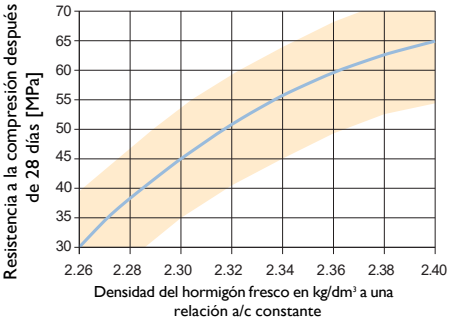


Fig. 6.12.1: Influencia de la densidad resistencia a la compresión

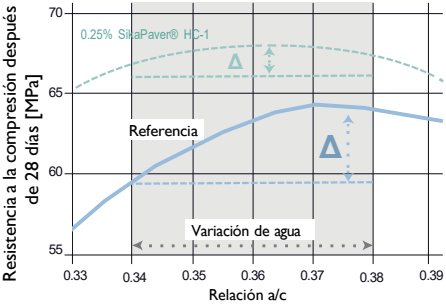


Fig. 6.12.2: Influencia relación a/c resistencia compresión

Con las opciones de compactación SikaPaver® (series C y HC, dosifiación típica 0,3 M.-%), las densidades de la mezcla se incrementan en condiciones de compactación inalteradas, lo que conduce a mayores resistencias. Aún más importante es el rango minimizado de variaciones de resistencia a pesar de las inevitables fluctuaciones en los materiales base, por ejemplo, en el contenido de agua. Las mezclas de hormigón resultantes son más robustas, lo que permite un proceso de optimización y menos productos de segundo grado.

Eflorescencias y otras decoloraciones

El problema de la eflorescencia se conoce comúnmente como depósitos blancos de "sal" que estropean el aspecto de los adoquines de hormigón de color oscuro en particular. Los peores casos se dan cuando la eflorescencia varía en intensidad. Este suele ser el caso del tipo más común. La eflorescencia secundaria, que se crea en los huecos entre las capas individuales de las unidades paletizadas durante el almacenamiento exterior en pilas. Pero también las eflorescencias primarias que empañan el color brillante deseado ya durante el almacenamiento en la cámara climática pueden dar lugar a reclamaciones de los clientes.



La eflorescencia en general se desarrolla en la superficie del hormigón acuerdo tres condiciones:

- Hidróxido de calcio libre $Ca(OH)^2$ (que está suficientemente disponible para todos los tipos de cemento, también mezclas).
- Vacíos capilares llenos de agua (hasta la superficie del hormigón).
- Baja tasa de evaporación debido al clima (especial en otoño-invierno, cuando es más fresco) y a la falta de ventilación (almacenamiento hermético).

El hidróxido de calcio es transportado a la superficie del hormigón debido al gradiente de concentración de iones de calcio en la humedad. La reacción del hidróxido de calcio con el dióxido de carbono (CO^2) del aire forma el carbonato cálcico blanco (piedra caliza). El agua es el principal transportador. Cuanto mayor sea la absorción de agua del hormigón (contenido de poros), mayor será el tiempo de secado de los adoquines y, por tanto, más fuerte será la eflorescencia resultante.

No existe una forma rentable de evitarlo absolutamente. Sin embargo, las siguientes precauciones pueden tomarse para reducir las eflorescencias a un grado mínimo:

- Estructura de hormigón densa (compactación, conglomerante y contenido de agua).
- Aplicación de aditivos hidrofóbicos (reductor de eflorescencias repelente al agua) tanto en el hormigón de la cara y el de la base.
- Baja tasa de evaporación durante el almacenamiento (sin corrientes de aire).
- Circulación de aire sin restricciones (dióxido de carbono) durante el endurecimiento inicial.
- Asegurar un alto grado de hidratación a los productos que salen de la cámara climática.
- Proteger el acopio de la lluvia y la condensación mientras se mantiene la circulación de aire para garantizar secado rápido en caso de penetración de agua, con una estructura de techo básica.



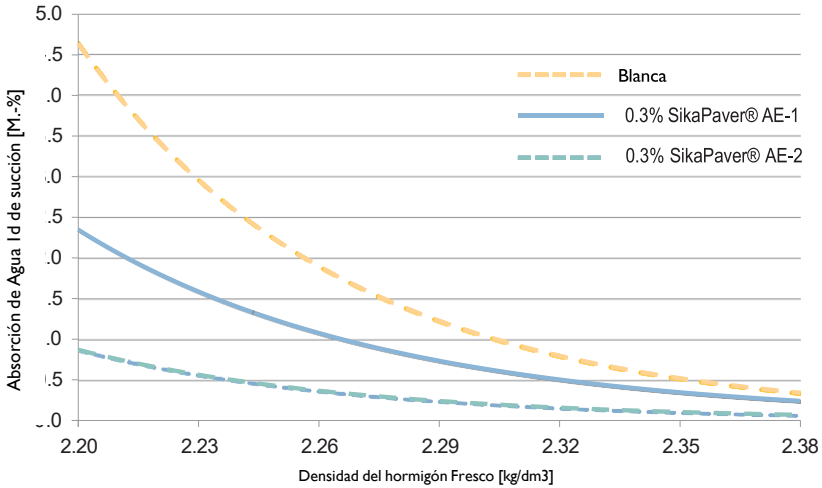


Fig. 6.12.3: Influencia SikaPaver® AE Tipos de absorción de agua en relación con la densidad del hormigón

Resistencia al hielo/deshielo

La resistencia del hormigón semiseco a los ciclos repetidos de hielo/deshielo en contacto con de sales de deshielo se ensaya según la norma europea EN 1338 con el método de ensayo de losas. Sin embargo, muchos productores, especialmente los que tienen como objetivo productos de alta calidad, utilizan el método de ensayo CDF, que suele dar lugar a una mayor descamación (pérdida de material en la superficie del adoquín).

En general, un hormigón semiseco de alta calidad con áridos resistentes a las heladas tiene suficiente resistencia al hielo/deshielo debido a la baja relación a/c en combinación con un bajo contenido de poros y un alto grado de hidratación del cemento al salir de la cámara de curado. Debido a los numerosos factores que influyen, como la relación a/c (idealmente entre 0,36 y 0,40), el contenido de poros de la compactación, el tipo/duración del curado, los áridos y el cemento, deben realizarse pruebas de idoneidad con el diseño individual del hormigón basado en el material.



Tabla 6.12.1: SikaPaver® productos

	SikaPaver® C-1	SikaPaver® HC-1	SikaPaver® AE-1	SikaPaver® AE-2
Rápido llenado de moldes	•	••	•	•
Plasticidad / Densidad	••	•••	••	•
Alisar lados con pasta de cemento		•••	••	•
Antiadherente		•	••	••
Resistencia temprana (24 horas)	•	••	•	•
Control resistencia (28 días)	••	•••	••	•
Intensidad del color			•••	••
Reducción eflorescencia y Absorción de agua			••	•••
Efecto repelente al agua				•••
	C = Compactación	HC = Alta Compactación	AE = Anti Eflorescencia	

• impacto moderado •• alto impacto ••• muy alto impacto

Productos Sika

Producto	Tipo de Producto	Producto usado
SikaPaver® C-1	Ayuda compactación productos de hormigón semiseco	Producción de productos estándar con mayor capacidad de compactación
SikaPaver® HC-1	Compactación de alto rendimiento ayuda para productos semisecos con formación lisa.	Producción rentable de productos de hormigón semiseco de alta calidad con lados lisos
SikaPaver® AE-1	Reductores de eflorescencias y ayuda a la compactación para obtener colores brillantes	Producción de productos de color con mayor resistencia y durabilidad
SikaPaver® AE-2	Reductor eflorescencias con efecto hidrófugo	Fabricación de productos de alta calidad con una resistencia duradera contra las eflorescencias y la formación de musgo

6.13 IMPRESIÓN DE HORMIGÓN 3D



Soluciones de materiales para impresión de hormigón 3D
En los últimos años se discutió mucho la fabricación aditiva en la industria de construcción. La posibilidad de automatizar los procedimientos de construcción y la falta de personal bien capacitado son factores que conducen a una mayor importancia de esta discusión. Además, la fabricación de aditivos conduce a nuevas posibilidades de diseño y construcción de edificios.

La impresión 3D de materiales cementosos ha llegado a la industria de la construcción y hay varias empresas en el mercado que ofrecen sistemas para la impresión de hormigón 3D, principalmente con brazos robóticos o con tipos de pórtico de impresoras. Ambos tipos de impresoras de hormigón 3D trabajan con la extrusión de material premezclado y colocan el material en capas.



Los requisitos del material impreso dependen de una serie de factores, por ejemplo:
- Geometría del elemento impreso
- Velocidad de impresión requerida
- Altura de impresión
- Proceso de mezcla por lotes o continuo
- Desarrollo de resistencias
- Resistencia final
- Requisitos de durabilidad
- Condiciones ambientales durante la impresión
- Condiciones de curado

Superficie y apariencia
Una de las ventajas de la impresión 3D es la libertad en el diseño. Los arquitectos disponen de nuevas posibilidades de geometrías y superficies en el diseño con un método económico. Los hormigones arquitectónicos, como el hormigón visto o el hormigón coloreado tienen altos requisitos para la superficie. Con la impresión 3D se pueden generar nuevas formas, texturas y colores de superficies de una manera rápida, fácil y económica. Estas nuevas oportunidades de diseño conducen a altos requisitos de precisión, repetibilidad y consistencia del material impreso.

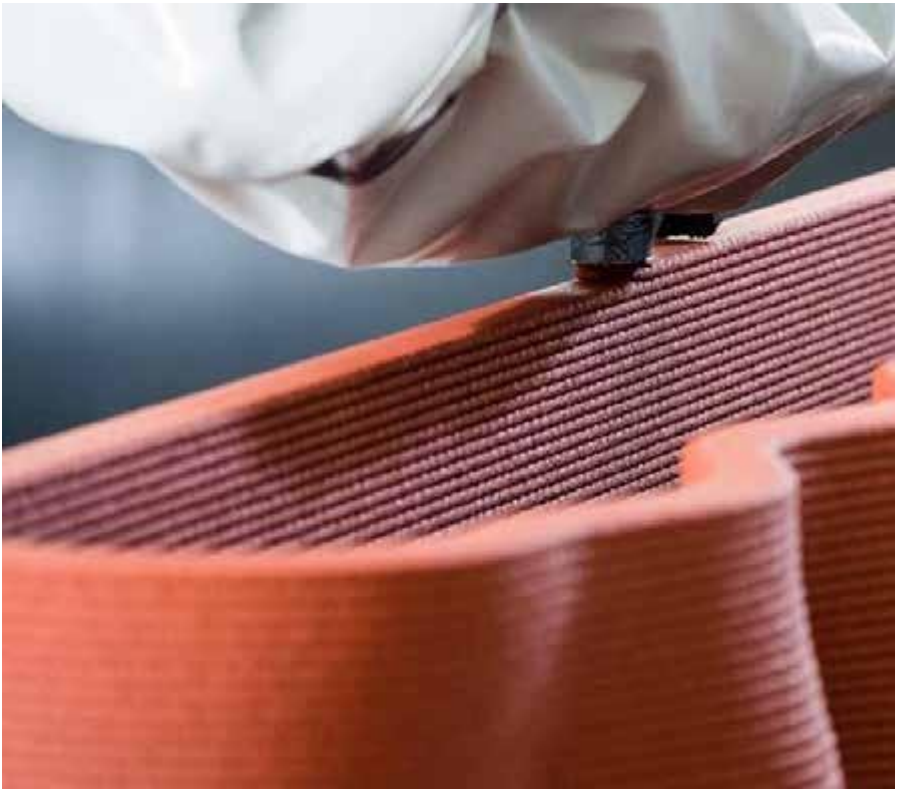
Con la experiencia adquirida en los últimos años con la impresión 3D de materiales cementosos y otros, Sika ahora es capaz de desarrollar productos que cumplen con estos

requisitos y conducen a impresiones 3D excepcionales en cuanto a precisión y apariencia de la superficie.

Material e impresora

El resultado de una impresión cementosa 3D depende no sólo de la precisión del sistema de impresión, que es un factor de éxito importante, como también del material que tiene que ajustarse a la impresora y a la aplicación. Por ejemplo, los requisitos de material son diferentes para un elemento impreso en el interior en condiciones climáticas constantes que para un elemento impreso en el exterior. También es necesario definir el sistema de impresión antes de elegir el material adecuado para la impresión. Por ejemplo, una impresora que utiliza un mezclador por lotes tiene requisitos diferentes sobre el material que un proceso de mezcla continua rápida con un gran rendimiento de material.

Mientras se imprime el material, es importante garantizar una buena unión entre las capas para que la estructura sea un material homogéneo. Dependiendo de la geometría del elemento impreso, el tiempo de fraguado puede ser diferente. Un fraguado demasiado lento del material puede resultar en un proceso de impresión muy lento, ya que con el aumento de las capas la presión en las capas inferiores también aumenta.



Sika ha desarrollado una solución propia muy flexible para satisfacer las necesidades del cliente. El enfoque de esta solución multicomponente es la impresión de prefabricados con alta velocidad de impresión y alta precisión.





Soluciones

Sika ha desarrollado un sistema multicomponente para la impresión de hormigón 3D que incluye suministro de materiales, tecnología de mezcla, cabezal de impresión, sistema de pórtico y software de control. Además, Sika desarrolla materiales mono componente para clientes que ya utilizan un sistema de impresión 3D. Esto necesita una estrecha colaboración entre el cliente y Sika para suministrar el material adecuado para la solución de impresión. Con este enfoque sistémico se puede desarrollar un material que conduce a impresiones con la más alta calidad posible.



Productos Sika

Nombre Producto	Tipo	Utilización
Sikacrete®	Microhormigón mono componente listo para utilización	Para la mayoría de los tipos de impresoras de hormigón 3D
SikaGrout®	Grout fluido de retracción compensada	Relleno de huecos y objetos engarzados
Sika® Antisol®	Agente de curado	Proteger el objeto del secado prematuro
Sika® Color	Pigmentos para hormigón (líquidos o en polvo)	Hormigón de colores uniformes e intensos
Sika MonoTop®	Morteros de nivelación	Para un acabado superficial liso
Sikagard®	Impregnaciones hidrofóbicas y recubrimientos protectores	Cambiar el aspecto estético o ampliar la durabilidad
Sika CarboDur® SikaWrap®	Tejidos de Polímero Reforzado con Fibra (FRP) y placas de Polímero Reforzado con Fibra de Carbono (CFRP)	Sistemas de montaje en superficie para el refuerzo estructural de sustratos de hormigón
SikaDur®	Adhesivos epoxi	Junta rígida y unión rígida entre objetos
Sikaflex®	Selladores de juntas elásticos	Construcción estanca, parada de fuego y para acomodar movimiento entre superficies
Sika® ViscoCrete®	Superplastificante para hormigón	Aditivo líquido reductor de agua de alto rango
Sika® Viscocrete®, SikaRapid®, SikaControl®	Superplastificantes, acelerantes y controladores de retracción	Aditivos líquidos para mezclas de hormigón 3D

7 PROPIEDADES Y ENSAYOS DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

7.1 REQUISITOS PARA PROBETAS Y MOLDES

EN 12390-1

Terminología para esta Norma:

- Dimensión nominal:
  La dimensión común de la probeta.
- Dimensión especificada:
  El tamaño de la probeta en mm se selecciona de la gama permitida de dimensiones nominales en la norma y se utiliza como base para el análisis.





Dimensiones nominales permitidas disponibles para su uso (en mm)							
Cubos [1]	Borde	100		150	200	250	300
Cilindros [2]	Diámetro	100	113 [3]	150	200	250	300
Prismas [1] [4]	Borde de la cara	100		150	200	250	300

[1] Las dimensiones especificadas no deben diferir de las dimensiones.

[2] Las dimensiones especificadas deben estar dentro del 10% de la dimensión nominal.

[3] Esto resulta un área de transferencia de carga de 10.000 mm².

[4] La longitud de los prismas debe ser ≥ 3,5 d.

Tolerancias permitidas para probetas

Tolerancias permitidas	Cubos	Cilindros	Prismas
Tamaño especificado	± 0,5%	± 0,5%	± 0,5%
Tamaño especificado entre el área superior y el área inferior (base)	± 1,0%		± 1,0%
Uniformidad de las áreas de transferencia de carga	± 0,0006 d in mm	± 0,0005 d in mm	
Perpendicularidad de los lados en relación con el área base	± 0,5 mm	± 0,5 mm	± 0,5 mm
Altura		± 5%	
Rectitud admisible para la línea de revolución del cilindro utilizados para los ensayos de tracción a compresión diametral		± 0,2 mm	
Rectitud del área de soporte, para ensayos de flexión			± 0,2 mm
Rectitud del área de transferencia de carga, para ensayo de compresión diametral			± 0,2 mm

Moldes

Los moldes deben ser impermeables y no absorbentes. Las juntas pueden sellarse con material adecuado.

Moldes calibrados

Estos deben estar hechos de acero o hierro fundido como material de referencia. Si otros materiales son utilizados, debe probarse su comparabilidad a largo plazo con moldes de acero o hierro fundido.

Las tolerancias dimensionales permitidas para moldes calibrados son más estrictas que las definidas anteriormente para moldes estándar.

Elaboración y curado de probetas *

* Nota: Se recomienda que este estándar también se aplique a todas las pruebas comparativas de hormigón que no sean sólo las pruebas de resistencia.

EN 12390-2

Notas sobre la elaboración de probetas

- Marco de colocación
  Verter el hormigón en los moldes puede ser más fácil con un marco de extensión, pero su uso es opcional.
- Compactación
  Vibrador de inmersión con una frecuencia mínima de 120 Hz (7.200 oscilaciones por . minuto). Diámetro ≤ ¼ de la dimensión más pequeña de la probeta.
  o
  Mesa vibratoria con frecuencia mínima de 40 Hz (2.400 oscilaciones por minuto).
  o
  Pisón circular de acero x 16 mm, longitud aprox. 600 mm, con esquinas redondeadas.
  o
  Varilla compactadora de acero, cuadrada o circular, aprox. 25 x 25 mm, longitud de aprox. 380 mm.
- Desencofrante
  Para prevenir que el hormigón se pegue al molde.

Notas sobre el vertido
Las probetas deben ser vertidas y compactadas en al menos 2 capas, pero las capas no deben exceder 100 mm de espesor.

Notas sobre la compactación
Al compactar por vibración, se logra una compactación completa si no hay más burbujas de aire grandes que aparecen en la superficie y la misma tiene un aspecto brillante y bastante liso. Evite vibraciones excesivas (liberación de vacíos de aire).
Compactación manual con varilla o apisonador: el número de golpes por capa depende de la consistencia, pero son por lo menos 25 golpes por capa.

Identificación de probetas
El etiquetado claro y duradero de las muestras desmoldadas es importante, particularmente si las probetas serán almacenadas durante algún tiempo.

Almacenamiento de probetas
especímenesLas muestras deben permanecer en el molde a una temperatura de 20 (± 2) ºC, o a 25 (± 5) ºC en países con un clima cálido, durante al menos 16 horas, pero no más de 3 días. Deben estar protegidos de los golpes físicos y climáticos y del secado.
Después de desencofradas, las probetas deben ser acondicionados hasta que el ensayo comience a una temperatura de 20 (± 2) oC, ya sea en agua o en una cámara a una humedad relativa del aire ≥ 95%. (En caso de controversia, el almacenamiento en agua es el método de referencia).

Especificaciones para la máquina de prueba

EN 12390-4

Esta norma consiste principalmente en datos mecánicos: placas de presión/ medida de esfuerzo/ regulación de esfuerzo/ transmisión de esfuerzo.
Para obtener información detallada, consulte la norma.

Principio
La probeta de ensayo se coloca entre una placa de presión móvil superior (esférica) y una placa de presión inferior y se aplica una resistencia de compresión axial hasta que se produce la rotura.

Notas importantes
Las probetas de ensayo deben estar correctamente alineadas en relación con el plano de tensión. Por lo tanto, la placa de presión inferior debe estar equipada con ranuras de centrado, por ejemplo.
La máquina de ensayo de compresión debe calibrarse después del montaje inicial (o después del desmontaje y reensamblaje), como parte de la supervisión del equipo de prueba (bajo el sistema de control de calidad) o al menos una vez al año. También puede ser necesario después de la sustitución de un parte de la máquina que afecta a las características de prueba.

Fabricación y curado de probetas de hormigón en obra

ASTM C31

Esta práctica abarca los procedimientos para la fabricación y el curado de probetas cilíndricas o prismas a partir de muestras representativas de hormigón fresco para un proyecto de construcción. El hormigón utilizado para fabricar las probetas se muestreará después de que se hayan realizado todos los ajustes in situ en las proporciones de la mezcla, incluida la adición de agua y aditivos.
Esta práctica no es satisfactoria para la fabricación de probetas de hormigón que no tiene asentamiento mensurable o que requieren otros tamaños o formas de probetas.
Los moldes para la fundición de probetas de ensayo de hormigón se ajustarán a los requisitos de la norma específica ASTM C470.

Reportar la siguiente información:
- Número de identificación.
- Ubicación del hormigón representado por las muestras.
- Fecha, hora y identificación de la persona que hizo las probetas.
- Asentamiento, contenido de aire, temperatura del hormigón, resultados de cualquier otra prueba en el hormigón fresco y cualquier deviación de los métodos de prueba referenciados.
- Método de curado. Para el método de curado normal, informar el método de curado inicial con las temperaturas máximas y mínimas y el método de curado final. Para un curado en campo, informar la ubicación donde se almacenan las probetas, las formas de protección, temperaturas y humedad ambiente y tiempo hasta el desencofrado.

72 DENSIDAD

Densidad del hormigón



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

Muestras de prueba
Se requieren muestras de prueba con un volumen mínimo de 1 litro. Si el tamaño máximo nominal de la partícula de árido es superior a 25 mm, el volumen mínimo de la muestra debe ser superior a 50 D3, donde D es el tamaño máximo de árido.
(Ejemplo: el tamaño máximo de partícula de 32 mm requiere un volumen mínimo de 1,64 litros.)

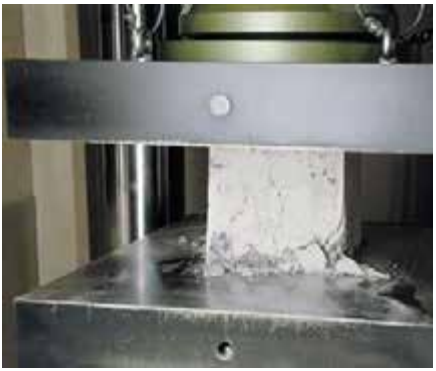
Determinación de la masa
La norma referencia tres condiciones bajo las cuales la masa de la muestra puede ser determinada:
- Como muestra entregada
- Muestra saturada en agua
- Muestra seca (para masa constante)

Determinación del volumen
La norma indica tres métodos para determinar el volumen de la muestra:
- Por desplazamiento de agua (método de referencia)
- Mediante el cálculo de las masas medidas reales
- Por cálculo de masas especificadas comprobadas (para cubos)

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

Método de prueba, por ejemplo EN 12390-7 ASTM C157

7.3 RESISTENCIA A COMPRESIÓN



Clases de resistencia a compresión según EN 206

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

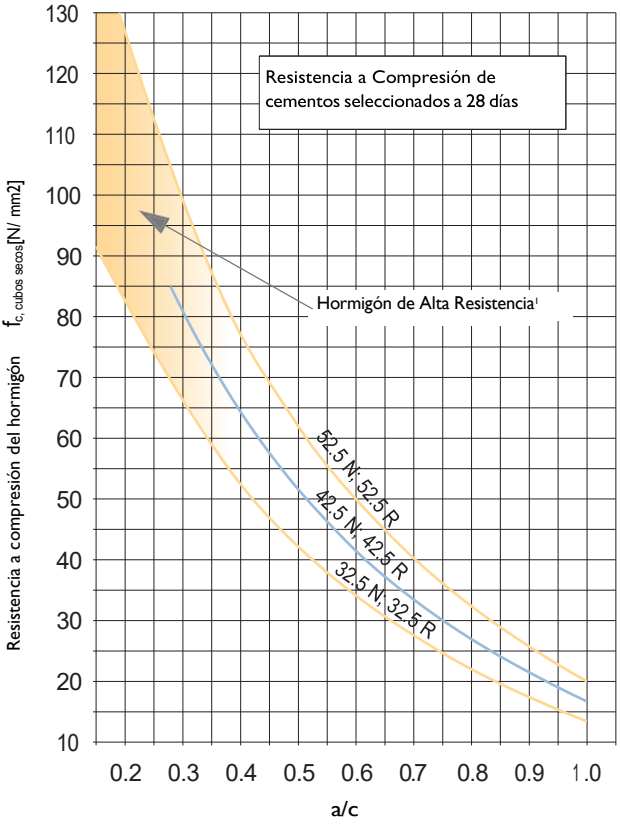
Los principales factores que influyen en la resistencia a compresión son el tipo de cemento, la relación a/c y el grado de hidratación, que se ve afectado principalmente por el tiempo y el método de curado.

Por lo tanto, la resistencia del hormigón resulta de la resistencia del cemento hidratado, la resistencia del árido, el vínculo entre los dos componentes y el curado. Los valores de guía para el desarrollo de la resistencia a la compresión se indican en la siguiente tabla.

Tabla 7.3.1: Desarrollo de resistencia del hormigón (valores de guía[1])

Clase de resistencia del cemento	Temperatura de curado continua	3 días [%]	7 días [%]	28 días [%]	90 días [%]	180 días [%]
32.5 N	+ 20 °C + 5 °C	30 ... 40 15 ... 30	50 ... 65 40 ... 60	100 90 ... 105	100 ... 125	115 ... 130
32.5 R; 42.5 N	+ 20 °C + 5 °C	50 ... 60 20 ... 35	65 ... 80 40 ... 60	100 75 ... 90	105 ... 115	110 ... 120
42.5 R; 52.5 N	+ 20 °C + 5 °C	70 ... 80 20 ... 35	80 ... 90 35 ... 50	100 60 ... 75	100 ... 105	105 ... 110
52.5 R	+ 20 °C + 5 °C	80 ... 90 15 ... 25	90 ... 95 25 ... 45	100 45 ... 60	100 ... 103	103 ... 105

[1] La resistencia a la compresión de 28 días a un almacenamiento continuo a 20 °C corresponde al 100%..



¹ En hormigón de alta resistencia la influencia de la resistencia a la compresión estándar del cemento se vuelve menos importante.

Notas sobre el diagrama:

$f_{c,\ cubos\ secos}$: – Resistencia media a la compresión de hormigón de 28 días de probetas cúbicas de 150 mm.
– Almacenamiento según DIN 1048; 7 días en el agua, 21 días en el aire.

Fig. 7.3.1: Correlación entre la resistencia a la compresión de hormigón, la resistencia estándar del cemento y la relación a/c (según el Manual del Cemento 2000, p.274)

Alta resistencia temprana

Alta resistencia temprana es la resistencia a la compresión necesaria después de un tiempo definido. El tiempo es definido por la aplicación. En general eso es dentro de las primeras 24 horas después de la producción.

Parámetros que influyen en hormigón de alta resistencia temprana

Tabla 7.3.2: El desarrollo de la resistencia depende de los siguientes parámetros:

Parámetro	Factor de influencia
Tipo de cemento	+++
Contenido de cemento	++
Adiciones (SF/ Escoria/ FA)	+/-
Contenido de agua	+
Plastificante/ Superplastificante	+/-
Acelerante	+++
Temperatura (ambiente, hormigón, sustrato)	+++
Curado	+/-
Áridos	+

Resistencia final

Por definición un hormigón alcanza su resistencia final después de 28 días a pesar de que la resistencia a la compresión puede aumentar con el tiempo (ver Tabla 7.3.1: *Desarrollo de la resistencia del hormigón*).

Parámetros que influyen en la resistencia a la compresión final

Tabla 7.3.3: El desarrollo de la resistencia depende de los siguientes parámetros:

Parámetro	Factor de Influencia
Relación a/c	+++
Tipo de cemento	++
Adiciones (SF/Escoria/FA)	++
Áridos	+

La relación a/c es el factor decisivo para influir en el desarrollo de las resistencias, resistencia final e impermeabilidad/durabilidad de un hormigón.

Resistencia a Compresión de las Probetas

EN 12390-3 / ASTM C39

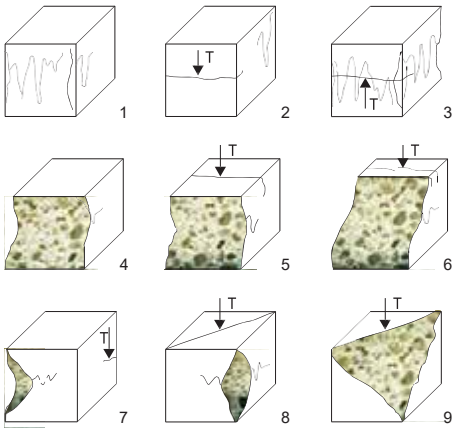
Equipo de prueba: Máquina de ensayo de compresión según EN 12390-4.

Requisitos de las probetas
Las probetas deben ser cubos, cilindros o prismas. Deben cumplir con los requisitos dimensionales en la EN 12390-1. Si se superan las tolerancias, las muestras deberán separarse, adaptarse o examinarse de conformidad con el anexo B (normativo). En el Anexo B se detalla cómo determinar las dimensiones geométricas.
Uno de los métodos descritos en el anexo A (normativo) se utiliza para la adaptación (corte, adelgazamiento o aplicación de un material de relleno).
Las muestras de cubos deben probarse perpendicularmente a la dirección de vertido (cuando se hicieron los cubos).
Al final de la prueba, se debe evaluar el tipo de rotura. Si es inusual, debe registrarse con el número de tipo.

Fig. 7.3.2: Patrones de rotura estándar (ilustraciones del estándar)



Fig. 7.3.3: Patrones de rotura inusuales en cubos (ilustraciones del estándar)



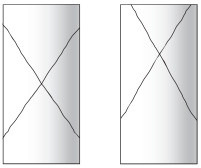
Esquema de los patrones típicos de fractura según ASTM C39

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas, tales como cilindros moldeados y muestras obtenidas por perforación. Se limita a hormigón que tiene una densidad superior a 800 kg/m3 [50 lb/ft3].

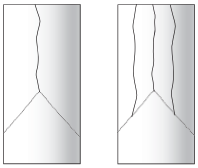
Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial a compresión a probetas o núcleos perforados, a una velocidad que está dentro de un rango prescrito hasta que se produce un fallo. La resistencia a la compresión de la muestra se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por el área transversal de la muestra.

Los moldes y la muestra deben estar de acuerdo con ASTM C470 y ASTM C31.

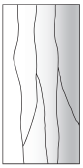
La carga de compresión debe aplicarse hasta que el indicador de carga muestre que la carga se está decreciendo constantemente y la muestra presenta un patrón de fractura bien definido (Fig. 7.3.4).



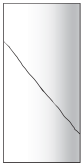
Tipo 1
Conos razonablemente bien formados en ambos extremos, menos de 1" (25 mm) de fisuración a través de las tapas



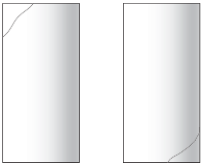
Tipo 2
Cono bien formado en un extremo, fisuras verticales que corren a través de las tapas, sin cono bien definido en el otro extremo



Tipo 3
Fisuración vertical columnar a través de ambos extremos, no hay conos bien formados



Tipo 4
Fractura digital sin fisuración a través de las extremidades; golpear con martillo para diferenciar de Tipo 1



Tipo 5
Fracturas laterales en la parte superior o inferior (ocurren comúnmente con tapas irregulares)



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el extremo del cilindro está apuntado

Fig. 7.3.4: Patrones de fractura según ASTM C39

Para hormigón aislante ligero se aplica ASTM C495.

ASTM C805 Método de prueba para hormigón endurecido con martillo de rebote (esclerómetro)

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia del hormigón endurecido utilizando un martillo de acero accionado por un resorte (esclerómetro).
Es aplicable para evaluar la uniformidad in situ del hormigón, delinear las regiones en una estructura de hormigón de calidad más baja o deteriorado, y estimar la resistencia in situ.
Las relaciones entre el número de rebote y la resistencia del hormigón proporcionadas por los fabricantes de instrumentos se utilizarán únicamente para proporcionar indicaciones de resistencia relativa al hormigón en diferentes lugares de una estructura. Para utilizar este método de ensayo para estimar la resistencia, es necesario establecer una relación entre la resistencia y el número de rebote para una mezcla de hormigón dada y un aparato dado. Establecer la relación mediante la correlación de números de rebote medidos en la estructura con las resistencias de las muestras extraídas (mediante perforación) de las ubicaciones correspondientes. Se tomarán al menos dos núcleos extraídos de al menos seis ubicaciones con diferentes números de rebote.
Seleccione las ubicaciones de prueba para obtener una amplia gama de números de rebote en la estructura. Tener en cuenta la condición de humedad y muestras de prueba de acuerdo con el método de prueba C42/C42M.

Para una mezcla de hormigón determinada, el número de rebote se ve afectado por factores como el contenido de humedad de la superficie de ensayo, el método utilizado para obtener la superficie de ensayo (tipo de material de forma o tipo de acabado), la distancia vertical desde la parte inferior de una colocación de hormigón y la profundidad de la carbonatación. Estos factores deben tenerse en cuenta al interpretar los números de rebote.

Diferentes martillos del mismo diseño nominal pueden dar números de rebote diferentes de 1 a 3 unidades. Por lo tanto, las pruebas deben hacerse con el mismo martillo con el fin de comparar los resultados. Si se va a utilizar más de un martillo, realice pruebas en una gama de superficies de hormigón típicas para determinar la magnitud de las diferencias que cabe esperar.
Este método de ensayo no es adecuado como base para la aceptación o el rechazo del hormigón.

EN 12504-2 Ensayo de Hormigón en Estructuras – Parte 2: Ensayos no destructivos – Determinación del número de rebote

Metodología similar a la ASTM C805

7.4 RESISTENCIA A FLEXIÓN

El hormigón se utiliza básicamente bajo tensión de compresión mientras las tensiones de tracción son absorbidas por las barras de refuerzo.
El hormigón en sí tiene cierta resistencia a la tracción y la flexión, que depende en gran medida de la mezcla. El factor crítico es el vínculo entre el cemento hidratado y los áridos. El hormigón tiene una resistencia a la flexión de aproximadamente 2 N/mm² a 7 N/mm².



Influencias en la resistencia a flexión

Aumenta la resistencia a flexión
- A medida que aumenta la Resistencia a compresión del cemento (CEM 32.5; CEM 42.5; CEM 52.5)
- A medida que la relación a/c baja
- Mediante el uso de áridos angulares y machacados
- Mediante el uso de la tecnología Sika de humos de sílice

Aplicaciones típicas
- Hormigón reforzado con fibras
- Hormigón para pistas de aterrizaje y carreteras
- Hormigón para panel estructural





Métodos de ensayo, por ejemplo, EN 12390-5 ASTM C78

EN 12390-5 o ASTM C78 Utilizando viga simple con carga en tres puntos

Principio

Se ejerce un momento de flexión en las probetas prismáticas por transmisión de carga a través de rodillos superiores e inferiores.

- Dimensiones de los prismas:
  Ancho = altura = d
  Longitud ≥ 3,5 d

Se utilizan dos métodos de prueba:

- Aplicación de carga en 2 puntos
  Transferencia de carga a través de 2 rodillos a una distancia d (cada uno 1/2 d desde el centro del prisma). El método de referencia es la aplicación de carga de 2 puntos.
- Aplicación de carga a 1 punto (central)
  Transferencia de carga a través de 1 rodillo, en el centro del prisma.

En ambos métodos, los rodillos inferiores están a una distancia de 3 d (cada uno 1½ d del centro del prisma).

Demostrado que la transferencia de carga a 1 punto resulta aproximadamente un 13 % más que la transferencia de carga a 2 puntos.

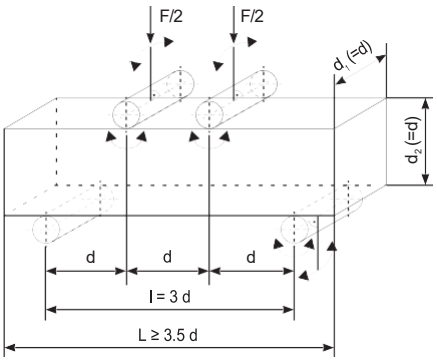


Fig. 7.4.1: Transferencia de carga a dos puntos

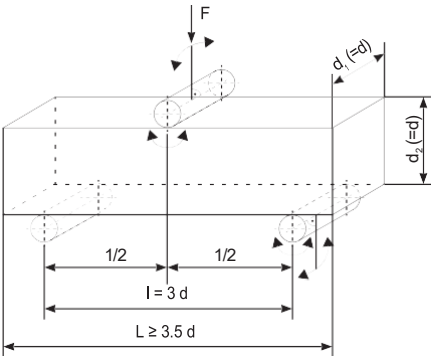


Fig. 7.4.2: Transferencia de carga central

7.5 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Ensayo de tracción por compresión diametral



Principio
Una probeta de ensayo cilíndrica se somete a una tensión de compresión aplicada a lo largo de su eje longitudinal. La tensión de tracción resultante hace que la muestra de prueba se rompa bajo tensión de tracción.

Muestras de prueba
Cilindros según EN 12390-1, pero una relación diámetro-longitud de 1 es permisible.
Si las pruebas se llevan a cabo en muestras de cubo o prisma, se pueden utilizar separadores de acero convexos para la aplicación de carga (en lugar de placas planas convencionales).
El espécimen roto debe ser examinado y la apariencia de hormigón y el tipo de rotura se registran si son inusuales.





Métodos de ensayo, por ejemplo, EN 12390-6 ASTM C496

76 MÓDULO DE YOUNG (MÓDULO E)



El módulo de elasticidad de Young (Módulo E-Modulus) describe el desempeño del hormigón endurecido con respecto a su resistencia a la deformación elástica. El Módulo E E-Modulus describe la relación entre una tensión de influencia y la deformación elástica correspondiente (relación tensión-deformación). Se puede distinguir entre el módulo de elasticidad estático y el módulo dinámico.
O modulo estático caracteriza la resistencia a la deformación del hormigón contra un esfuerzo en constante incremento o esfuerzo constante. El módulo dinámico es adecuado para la investigación de la madurez del hormigón, por ejemplo, proceso de endurecimiento o para la medición de posibles deterioros por las influencias de la intemperie (muestras de laboratorio o de prueba de campo).

Módulo estático de elasticidad según DIN 1048-5

De acuerdo con DIN 1048-5 el módulo de elasticidad estático se evalúa entre un límite de tensión inferior de $\sigma_u \approx 0{,}5$ N/mm² y un límite de tensión superior de $\sigma_o \approx 1/3\ ß_D$, después de dos ciclos de carga y alivio de carga. Con un tercer ciclo de carga, el Módulo E estático se evalúa de la siguiente manera:

$$E_b = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\varepsilon_o - \varepsilon_u} \quad [N/mm^2]$$

σ_u = límite de tensión inferior en la tercera carga ($\sigma_u \approx 0{,}5$ N/mm²)
σ_o = límite de tensión superior en la tercera carga
β_D = Resistencia a compresión esperada
(resistencia a compresión evaluada promedio de 3 muestras)
ε_u = tensión en el esfuerzo correspondiente σ_u
ε_o = tensión en el esfuerzo correspondiente σ_o

Módulo de elasticidad dinámico

El Módulo E dinámico se puede derivar midiendo un tiempo de propagación ultrasónica con el siguiente enfoque:

$$E_{dyn} = C * \rho * c^2$$

C = constante sin dimensiones
c = velocidad de propagación dentro del material
ρ = densidad del hormigón

Módulo de elasticidad estático según ASTM C469 - 02

El método descrito para la evaluación del módulo de elasticidad estático ofrece una relación tensión-deformación unitario y una relación de tensión lateral a longitudinal para hormigón endurecido dentro del rango de tensión de trabajo habitual (0 a 40% de la resistencia final del hormigón).
Antes de la medición, la muestra debe cargarse dos veces. A continuación, se debe registrar la carga aplicada y la tensión longitudinal cuando:

- La tensión longitudinal es de 50 millonésimos, y
- La carga aplicada es igual a 40% de la carga final.

El Módulo E se calcula por:

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0{,}000050}$$

E = módulo de elasticidad [psi]
S_2 = tensión correspondiente al 40% de la carga final
S_1 = tensión correspondiente a una deformación ε_1 de 50 millonésimas [psi]
ε_2 = Deformación longitudinal correspondiente a la tensión S_2

Módulo de elasticidad dinámico según ASTM C215 - 08

El método de ensayo proporciona datos para detectar cambios significativos en el módulo de elasticidad dinámico midiendo las frecuencias transversales fundamentales, longitudinales y resonantes torsionales de muestras de hormigón.
Las frecuencias de resonancia fundamentales se determinan mediante dos procedimientos alternativos:

- El método de resonancia forzada – una muestra soportada es forzada a vibrar por una unidad de conducción electromecánica y su respuesta es monitoreada por una unidad de captación sobre la muestra,
- El método de resonancia de impacto – una muestra soportada es golpeada con un pequeño impacto y la respuesta se mide por un acelerómetro en la muestra.

7.7 RETRACCIÓN

La retracción se refiere a la disminución o reducción en el volumen del hormigón. El nivel de deformación por retracción y la secuencia en el tiempo están influenciados principalmente por el inicio del secado, las condiciones ambientales y la composición del hormigón.



La secuencia de tiempo se desglosa de la siguiente manera:

- La retracción química del hormigón fresco se debe únicamente a la diferencia de volumen entre la reacción de productos de cemento hidratado y el cemento no hidratado. La retracción afecta solo a la matriz de cemento, no al árido.
- La retracción plástica del hormigón fresco se produce en la etapa inicial de fraguado y endurecimiento. El agua desaparece del hormigón después del fraguado inicial por evaporación, lo que reduce el volumen y provoca la retracción del hormigón en todas las direcciones. La deformación suele detenerse cuando el hormigón alcanza una resistencia a la compresión de 1 N / mm².
- Retracción por secado - Retracción causada por el lento secado del hormigón endurecido, es decir, cuanto más rápido disminuye la cantidad de agua en la estructura, más se contrae el hormigón.

Factores en el grado de retracción:

- Planificación y especificación detallada de juntas de construcción y etapas de colocación del hormigón.
- Diseño de mezcla óptimo.
- Mínimo contenido posible de agua total - uso de Sika®ViscoCrete®/ SikaPlast®/ Sikament®.
- Aditivo reductor de la retracción SikaControl® SRA - reducción de la retracción después del inicio de la hidratación.
- Prevención de la pérdida de agua humedeciendo previamente el encofrado y el sustrato.
- Curado completo: cubriendo con láminas de plástico o mantas aislantes, cubiertas de retención de agua (arpillera, geotextil) o rociando con un agente de curado líquido Sika® Antisol®.
- Refuerzo.

Métodos de prueba Ej. ASTM C157 SIA 262/1

Fase I	Fase II	Fase III
Retracción química	Retracción plástica	Retracción por secado
Re compactación	Prevención de perdida de agua	Reducción de curado/ encogimiento
aprox. 4 – 6 horas	aprox. 1 N/mm^2	

Tabla 7.7.1: Tipo de retracción durante la hidratación del hormigón

ASTM C157 Método de prueba estándar para el cambio de longitud de mortero de cemento hidráulico y hormigón endurecido

La medición del cambio de longitud permite evaluar el potencial de expansión o contracción volumétrica del mortero u hormigón debido a varias causas distintas de la tensión aplicada o el cambio de temperatura. Este método de prueba es particularmente útil para la evaluación comparativa de este potencial en diferentes mezclas de hormigón o mortero de cemento hidráulico. Este método de prueba proporciona información útil para fines experimentales o para productos que requieren pruebas en condiciones de mezclado, colocación, manipulación o curado no estándar, como alta trabajabilidad del producto o diferentes tiempos de desmoldeo.
Si se requieren condiciones de mezcla, curado, muestreo y almacenamiento distintas de las especificadas en este método de prueba, se deben informar, pero no deben considerarse como condiciones estándar de este método de prueba. Las condiciones no estándar y los motivos de la desviación de las condiciones estándar deben ser notificados de forma clara y precisa con valores de comparación.

SIA 262/1 Construcción de hormigón - requisitos adicionales

Este método de prueba proporciona un medio para evaluar el cambio de longitud a lo largo del tiempo causado por el proceso de secado de una muestra de hormigón. El tamaño del prisma es 120 × 120 × 360 mm. Para realizar una prueba, deben medirse al menos dos prismas. Después de 24 h (± 1 h) de producción de hormigón, se debe medir la longitud de cada dimensión de la muestra de hormigón y se utiliza como valor de referencia. Se deben tomar más mediciones después de 3, 7, 14, 28, 91, 182 y 364 días después de la producción del hormigón. El resultado se expresará en % de retracción.

7.8 ESTANQUEIDAD

La estanqueidad define la resistencia de la estructura de hormigón frente a la penetración del agua. La estanqueidad del hormigón está determinada por la impermeabilidad (red capilar) del cemento hidratado.



Definición de Estanqueidad

- Máx. profundidad de penetración (EN 12390-8) debe ser acordada por las partes involucradas (recomendación Sika <30 mm)
- Requerimiento: hormigón de buena calidad y solución adecuada para el diseño de juntas.

En Estados Unidos no existe una norma ASTM para la estanqueidad, sin embargo, se utilizan los siguientes métodos:

– CRD-C 48-92 Método de prueba estándar para la permeabilidad al agua del hormigón.
– ASTM C 1585 Método de prueba estándar para medir la tasa de absorción de agua de hormigones de cemento hidráulico.

.

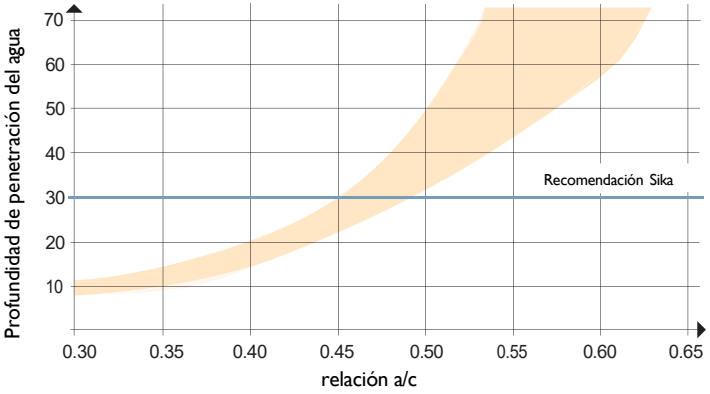


Fig. 7.8.1: Profundidad de Penetración de Agua según la norma EN 12390-8

Definición de impermeabilidad al agua

■ Conductividad del agua q_w < volumen de agua evaporable q_d

→ Cuanto mayor sea el espesor de la pared d, mejor será la estanqueidad

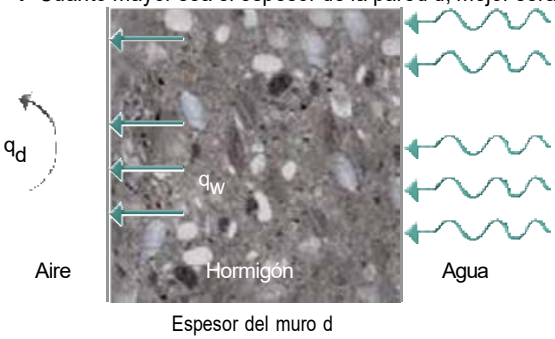


Fig. 7.8.2: Principio de la conductividad del agua

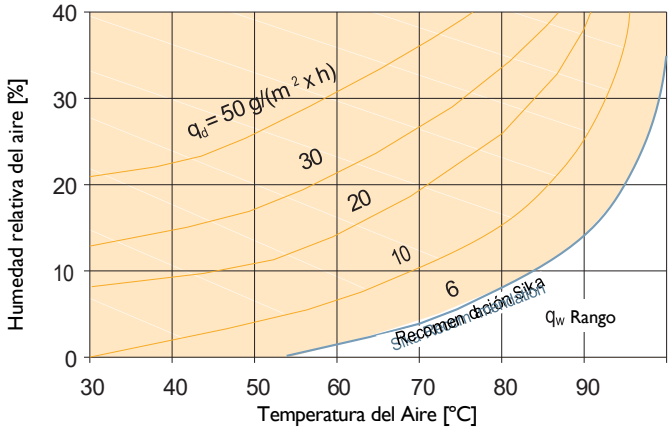


Fig. 7.8.3: Conductividad del Agua según la norma SIA 262/1 Anexo A

■ Rango recomendado para estructuras estancas: $q_w \leq 6$ g/(m² ×h)

■ Carga
Saturación variable debido al contacto continuo con el agua

■ Ensayo
Medida de la conductividad del agua q_w

Alta Relación a/c 0,60
Gran porosidad debido a la ausencia de arena fina y finos

Baja relación a/c < 0,40
Matriz de cemento muy densa

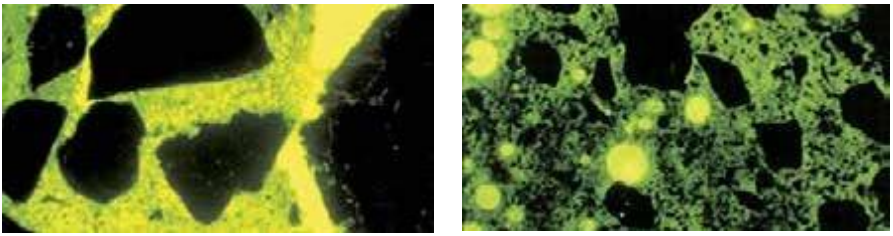


Fig. 7.8.4: Porosidad del hormigón en diferentes relaciones a/c

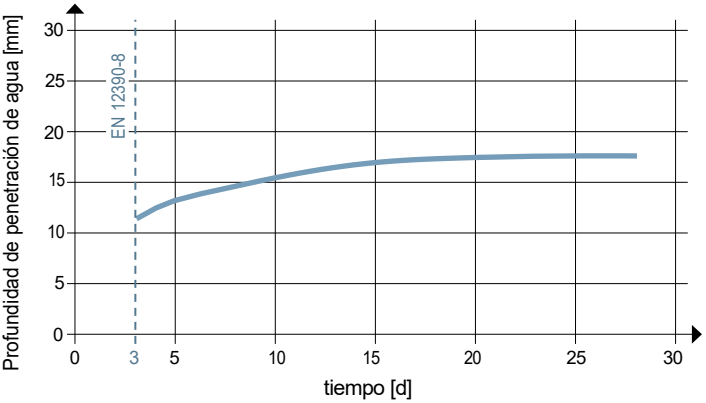


Fig. 7.8.5: Profundidad de penetración del agua a una presión de 5 bar durante el tiempo (diseño de mezcla especial para hormigón impermeable)

La hidratación adecuada es de primordial importancia para el hormigón impermeable. Por tanto, el correcto curado del hormigón es fundamental.

Métodos de prueba, Ej. EN 12390-8 ASTM C1012 CRD-C 48-92

EN 12390-8: Profundidad de penetración del agua a presión

Principio
Se aplica agua a presión sobre la superficie del hormigón endurecido, al final del período de prueba se parte el espécimen de muestra y se mide la profundidad máxima de penetración del agua.

Muestras de prueba
Las muestras de prueba son cubos, cilindros o prismas con un diámetro mínimo de 150 mm. El área de prueba del espécimen es un círculo con un diámetro de 75 mm (la presión del agua se puede aplicar desde arriba o desde abajo).

Condiciones durante la prueba
- La presión del agua no debe aplicarse sobre una superficie pulida / acabada del espécimen (preferiblemente tomar un área lateral cerrada para la prueba). El informe debe especificar la dirección de la presión del agua en relación con la dirección del vaciado cuando se hicieron las muestras (en ángulo recto o en paralelo).
- La superficie de hormigón expuesta a la presión del agua debe rasparse con un cepillo de alambre (preferiblemente inmediatamente después de golpear el espécimen).
- Las muestras deben tener al menos 28 días en el momento de la prueba.

Prueba
Durante 72 horas, se debe aplicar una presión de agua constante de 500 (± 50) kPa (5 bar). Las muestras deben inspeccionarse periódicamente para detectar áreas húmedas y pérdidas de agua medibles. Después de la prueba, las muestras deben retirarse inmediatamente y dividirse en la dirección de la presión. Al momento de la división, el área expuesta a la presión del agua debe estar debajo. Si las caras divididas están ligeramente secas, la ruta direccional de penetración del agua debe marcarse en la muestra.

La penetración máxima debajo del área de prueba debe medirse y expresarse con una precisión cercana a 1 mm.

ASTM C1585: Método de prueba estándar para medir la tasa de absorción de agua por hormigones de cemento hidráulico

Este método de prueba se utiliza para determinar la tasa de absorción de agua por el hormigón de cemento hidráulico, midiendo el aumento en la masa de una muestra resultante de la absorción de agua en función del tiempo cuando solo una superficie del espécimen está expuesta al agua. La superficie expuesta del espécimen se sumerge en agua y el agua ingresa a través del hormigón insaturado, dominada por succión capilar durante el contacto inicial con el agua.

79 RESISTENCIA A LAS HELADAS Y AL HIELO/ DESHIELO



Esfuerzos por helada
En general, se pueden esperar daños a las estructuras de hormigón debido a las heladas cuando han sido penetradas por la humedad y están expuestas a ciclos frecuentes de hielo/ deshielo en esa condición. El daño al hormigón se produce por el hielo/deshielo cíclico del agua que ha sido absorbida por succión capilar. El fallo se transmite debido al aumento de volumen de agua [hielo] en las capas exteriores de hormigón.

Elementos necesarios para una alta resistencia en condiciones heladas
- Áridos resistentes a heladas.
- Estructura de hormigón impermeable y / o.
- Hormigón enriquecido con microporos (≤ 300 µm).
- Curado minucioso y cuidadoso.
- Grado de hidratación del hormigón lo más alto posible (es decir, no es una buena idea colocar el hormigón inmediatamente antes de los períodos de heladas).

Resistencia al Hielo/Deshielo
Dado el uso extensivo de sales fundentes (generalmente cloruro de sodio NaCl, destinado a reducir el punto de congelación del agua en las carreteras y evitar la formación de hielo, etc.), la superficie del hormigón se enfría abruptamente debido a la extracción de calor del hormigón. Estas interacciones entre las capas congeladas y no congeladas provocan fallos estructurales del hormigón.

Condiciones para la Resistencia al Hielo/Deshielo
- Áridos resistentes a heladas.
- Hormigón de estructura densa enriquecida con microporos.
- Curado minucioso y cuidadoso.
- Evitar muchos depósitos de finos de mortero en la superficie.
- Realizar el vertido de hormigón el mayor tiempo posible antes de la primera etapa de hielo/ deshielo para que el hormigón pueda secarse.

Métodos de prueba. Ej. Pre Standard CEN/TS 12390-9 ASTM C666

EN 12390-9 (2006: Pre-estándar) Ensayos de hormigón endurecido. Resistencia al hielo/ deshielo

La norma describe cómo probar la resistencia a las heladas del hormigón con agua y la resistencia al hielo/deshielo con una solución de NaCl ("agua salada"). Se mide la cantidad de hormigón que se ha separado de la superficie después de un número definido y una frecuencia de ciclos de hielo/ deshielo.

Principio
Las muestras se enfrían repetidamente a temperaturas parcialmente inferiores a -20° C y se recalientan a +20° C o más (en agua o una solución de sal común). La cantidad resultante de separación de material indica la resistencia actual a las heladas y al hielo/deshielo del hormigón.

Tres métodos son descritos:
- Método de prueba de losa
- Método de prueba del cubo
- Método de prueba CD/CDF
- El método de prueba de referencia es el de losa.

Términos del pre-estándar
- Resistencia a la helada:
  Resistencia a ciclos repetidos de hielo/deshielo en contacto con agua.
- Resistencia al Hielo/Deshielo:
  Resistencia a ciclos repetidos de hielo/deshielo en contacto con sales fundentes.
- Escamas:
  Pérdida de material en la superficie del hormigón debido a la acción de los ciclos de hielo/ deshielo.
- Fallos en la estructura interna:
- Fisuras dentro del hormigón que no son visibles en la superficie pero que producen un cambio en las características del hormigón, por ejemplo, una reducción del módulo de elasticidad dinámico.

7.10 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

Las superficies de hormigón están expuestas a esfuerzos de rodadura (ruedas/ tráfico), esfuerzo de abrasión (patines/ neumáticos) y/ o estrés de impacto (materiales a granel/ líquidos). La matriz de cemento, los áridos y su mezcla están igualmente sometidos a esfuerzos. Por lo tanto, este ataque es principalmente mecánico.



Condiciones para una mejor resistencia a la abrasión
La resistencia a la abrasión del cemento hidratado es menor que la de los áridos, particularmente con una matriz de cemento porosa (alto contenido de agua). Sin embargo, a medida que disminuye la relación a/c, la porosidad del cemento hidratado también disminuye y la mezcla con el árido mejora.

- Ideal: relación a/c igual o inferior a 0,45
- Mejor densidad de la matriz de cemento hidratado, la mezcla del árido y el cemento hidratado (SikaFume®)
- Selección de una buena curva de dosificación, utilizando tamaños especiales si es necesario, curado completo
- Para aumentar aún más la resistencia a la abrasión, también pueden usarse áridos especiales

Si el espesor de la capa supera los 50 mm, normalmente se debe incorporar una malla ligera de refuerzo (mín. 100 × 100 × 4 × 4 mm).

Acabado y Adhesión al sustrato
- Antes de la instalación, se aplica una "capa adhesiva" sobre el sustrato ligeramente húmedo (¡prehumedecido!)

Curado
El curado debe comenzar lo antes posible y debe mantenerse durante un período de tiempo suficiente, rociando Sika® Antisol® (¡Cuidado! ¡Tenga en cuenta cualquier recubrimiento posterior!) O cubriendo con láminas.

Métodos de prueba. Ej. ASTM C779 ASTM C418 ASTM C944 DIN 52108

ASTM C779 Método de prueba estándar para la resistencia a la abrasión de superficies de hormigón horizontales

Los tres métodos de prueba descritos en esta norma proporcionan condiciones de abrasión simuladas, que pueden usarse para evaluar los efectos sobre la resistencia a la abrasión del hormigón, materiales de hormigón y procedimientos de curado o acabado. También se pueden utilizar para la aceptación de calidad de productos y superficies expuestas al desgaste. No pretenden proporcionar una medida cuantitativa de la duración de la vida útil. El equipo utilizado por cada uno de estos procedimientos es portátil y, por lo tanto, adecuado para pruebas de laboratorio o de campo.

Los procedimientos difieren en el tipo y grado de fuerza abrasiva que imparten, y están destinados a ser utilizados para determinar variaciones en las propiedades superficiales del hormigón afectadas por las proporciones de la mezcla, el acabado y el tratamiento de la superficie. No pretenden proporcionar una medida cuantitativa de la vida útil que se puede esperar de una superficie específica.

DIN 52108 Ensayo de materiales inorgánicos no metálicos - Ensayo de desgaste con la esfera abrasiva según Böhme - Método de esfera abrasiva

Este método de prueba proporciona condiciones de abrasión simuladas utilizando una esfera abrasiva. Los cubos o placas se ensayan en condiciones normales de acuerdo con el procedimiento descrito en DIN 52108. El resultado es una pérdida de espesor o una pérdida de volumen de la muestra.

7.11 RESISTENCIA QUÍMICA

El hormigón puede ser atacado por contaminantes en el agua, el suelo o gases (por ejemplo, el aire). La situación de riesgo también ocurre durante el servicio (es decir, en tanques, soleras industriales, instalaciones de tratamiento de aguas residuales, etc.).



- El agua superficial y subterránea, los contaminantes dañinos del suelo, los contaminantes del aire, las sustancias vegetales y animales pueden atacar químicamente el hormigón.
- Los ataques químicos se pueden dividir en dos tipos:
  - Ataque disolvente: provocado por la acción de agua blanda, ácidos, sales, bases, aceites y grasas, etc.
  - Ataque de hinchazón/ ampollas: causado principalmente por la acción de sulfatos solubles en agua (ampollas porde sulfatos)

Medidas de corrección

- Matriz de hormigón lo más densa posible,
  Por ejemplo, baja porosidad → Aplicación de la tecnología de humo de sílice de Sika
  → SikaFume®
- Baja relación a/c baja ≤ 0,45
  → Sika® ViscoCrete®/ SikaPlast®/ Sikament®
- Aumentar el recubrimiento de hormigón en mínimo de 10 mm

El hormigón resistencia adecuada solo contra ácidos muy débiles. Los ácidos de resistencia media degradan el hormigón. Por lo tanto, siempre se debe especificar una protección adicional del hormigón con un revestimiento para ataques ácidos de moderados a muy agresivos.

Métodos de Prueba
No existe un estándar que cubra todo tipo de ataque químico.
EN 13529 AASHTO T 259 ASTM C1202





7.12 RESISTENCIA AL SULFATO

El agua que contiene sulfato a veces se encuentra en el suelo o disuelta en agua subterránea y puede atacar el hormigón endurecido.



Proceso
El agua que contiene sulfato reacciona con los hidratos de aluminato tricálcico (AFm) en el cemento. Como resultado, se genera una forma etringita (también taumasita bajo ciertas condiciones), lo que conduce a aumentos de volumen y a una alta presión interna en la estructura de hormigón y, por lo tanto, se produce fisuración y ampollas.

Medidas de Corrección
- Estructura de hormigón lo más impermeable posible
  Por ejemplo, baja porosidad → Aplicación de la tecnología de humo de Silice de Sika → SikaFume®
- Baja relación a/c baja ≤ 0,45
  → Sika® ViscoCrete®/ SikaPlast®/ Sikament®
- Utilice cemento con un contenido bajo de aluminato tricálcico (C_3A)
- Curado adaptado a la estructura

Nota: El detalle de los requisitos específicos para cada proyecto es esencial.
Para analizar los valores límite para la clasificación de exposición al ataque químico del suelo natural y las aguas subterráneas (consulte la página 244).

Métodos de Prueba
ASTM C1012 SIA 262/1

ASTM C1012 Método de prueba estándar para el cambio de longitud de morteros de cemento hidráulico expuestos a una solución de sulfato

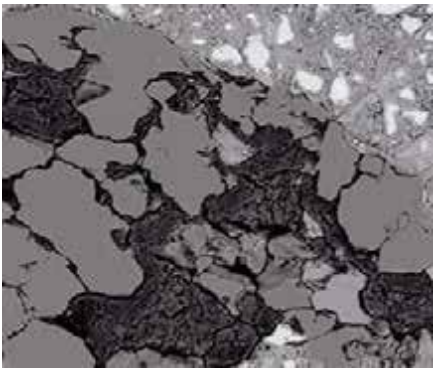
Este método de prueba proporciona un medio para evaluar la resistencia a los sulfatos de los morteros fabricados con cemento Portland, mezclas de cemento Portland con puzolanas o escorias y cementos hidráulicos mezclados.
La solución estándar de exposición utilizada en este método de prueba, a menos que se indique lo contrario, contiene 352 moles de Na^2SO4 por m^3 (50 g/ L). Se pueden usar otras concentraciones de sulfato u otros sulfatos como $MgSO_4$ para simular la exposición ambiental de interés. Este método de prueba cubre la determinación del cambio de longitud de las barras de mortero sumergidas en una solución de sulfato.

SIA 262/1 Construcción de hormigón: requisitos adicionales

Este método de prueba proporciona un medio para evaluar la resistencia al sulfato de una muestra de hormigón. Las muestras de hormigón deben prepararse de acuerdo con EN 206. Durante cuatro ciclos, las muestras deben secarse y almacenarse en una solución que contenga sulfato (solución de sulfato de sodio al 5%). El sulfato puede reaccionar con partes de las muestras y provocar un cambio volumétrico de la muestra.



7.13 RESISTENCIA AAR (REACCIÓN ÁLCALI-ÁRIDO)



Reacción álcali-árido (Alkali-Aggregate Reaction AAR) es la reacción que se produce entre la disolución presente en los poros del hormigón y los áridos. Producen un gel de sílice que se hincha debido a la absorción de agua y provoca fisuras o descascaramiento en el hormigón.
La forma y grado de reacción varía según el tipo de árido.

- Reacción álcali-sílice (ASR) con áridos volcánicos
- Reacción álcali-carbonato (ACR) con piedra caliza

Reacción álcali-árido

Evidentemente, el problema se puede solucionar si no se utilizan estos áridos, pero a menudo esto no es práctico por razones económicas y ecológicas. Mediante el uso de cementos adecuados y tecnología de hormigón de alto rendimiento, esta reacción se puede prevenir o al menos reducir.
Los mecanismos precisos involucrados continúan siendo analizados intensamente con gran detalle. En términos generales, los iones alcalinos penetran en los áridos por absorción de agua y generan una expansión de los áridos. Esto conduce al astillado de la matriz de cemento, destruyendo el hormigón. Esto se puede describir en términos simples como un efecto de presión o expansión. Su duración e intensidad dependen de la reactividad del cemento, el tipo y porosidad del árido, la porosidad del hormigón y las medidas preventivas que se tomen.

Medidas de corrección:

- Reemplazo parcial del cemento Portland por escoria u otras adiciones (humo de sílice/ cenizas volantes) con bajo equivalente de Na_2O
- Análisis del potencial AAR/ ASR del árido y su clasificación (análisis petrográficos/ prueba de microbarras/ pruebas de rendimiento, etc.)
- Reemplazo total o reemplazo parcial de los áridos (mezcla de áridos disponibles)
- Mantenga la humedad del hormigón mínima o evítela (sellar/ desviar)
- Diseño de refuerzo para una buena distribución de fisuras en el hormigón (es decir, solo fisuras muy finas)
- Diseño de hormigón impermeable para minimizar la penetración de humedad.

Métodos de prueba, p. Ej.. ASTM C1260 AFNOR P 18-454 AFNOR XPP 18-594

ASTM C1260 Método de prueba para la posible reactividad alcalina de los áridos (Método de barra de mortero)

Este método de prueba es un medio para detectar el potencial de un árido destinado a usarse en el hormigón y que podría experimentar una reacción álcali-sílice que resultaría en una expansión interna potencialmente perjudicial. Se basa en el método de prueba acelerado NBRI (1-4). Es especialmente útil para áridos que reaccionan lentamente o producen expansión al final de la reacción. Sin embargo, no evalúa combinaciones de áridos con materiales cementosos, además las condiciones de prueba no son representativas frente a aquellas encontradas en el hormigón en servicio.
Debido a que las muestras están expuestas a una solución de NaOH, el contenido de álcali del cemento no es un factor significativo para afectar las expansiones.

Cuando se observan expansiones excesivas (ver Apéndice X1), se recomienda que se desarrolle información adicional para confirmar que la expansión se debe realmente a la reacción álcali-sílice. Las fuentes de dicha información complementaria incluyen:

- Examen petrográfico del árido (Guía C295) para determinar si hay constituyentes reactivos conocidos.
- Inspección de las muestras después de las pruebas (Práctica C856) para identificar los productos con reacción alcalina.
- Los registros de servicio de campo se pueden utilizar en la evaluación del desempeño (cuando estén disponibles)

En caso que a partir de los resultados de las pruebas realizadas con este método de prueba y con la información complementaria, se llegase a concluir que un árido es potencialmente reactivo de manera perjudicial, se debe considerar la aplicación de medidas mitigantes, por ejemplo, cemento Portland de bajo contenido alcalino, aditivos minerales o escoria de alto horno.
Este método de prueba permite la detección, en un plazo de 16 días, de la potencial reacción perjudicial de álcali-sílice del árido en las barras de mortero.

7.14 RESISTENCIA AL FUEGO



El riesgo de incendio está presente siempre y en todas partes. El peligro inminente depende de la exposición real y, naturalmente, es diferente si el escenario es la construcción de un metro para peatones, un túnel en una carretera o un garaje subterráneo en un rascacielos. El hormigón es el material que soporta la carga en casi todas las estructuras y, por lo tanto, tiene un alto riesgo, ya que toda la estructura colapsaría si fallara el material. Razón por la cual, el hormigón debe, independientemente del escenario de peligro, estar adecuadamente formulado o protegido por medidas externas, para evitar fallos a alta temperatura en caso de incendio.

Medidas de corrección

- Los áridos del tipo de carbonato (piedra caliza, dolomita) tienden a funcionar mejor en un incendio a medida que se calcinan. Los tipos que contienen sílice no son tan efectivos.
- Las fibras de monofilamento polimérico (p. Ej., Polipropileno) reducen significativamente el efecto explosivo de las ampollas del hormigón expuesto a carga de fuego (dosificación habitual 2-3 kg/ m^3).

Métodos de prueba, p. Ej. ASTM E119 ACI 216 DIN 4102 DIN 1991-1-2

ASTM E119 Métodos de prueba estándar de pruebas de resistencia al fuego para edificios y materiales de construcción

La prueba expone un espécimen a un fuego controlado para lograr temperaturas específicas durante un período de tiempo específico. La prueba proporciona una medida relativa de la resistencia al fuego de materiales de construcción cuando están expuestos a condiciones similares bajo fuego. La prueba no es representativa de todas las condiciones de incendio, ya que estas, varían con los cambios en la cantidad, naturaleza y distribución de la carga de incendio, ventilación, tamaño y configuración del compartimiento disipador, entre otras. La variación de las condiciones de prueba o la construcción de los especímenes pueden afectar los resultados.
Por esta razón, se requiere la evaluación de la variación para su aplicación en campo.

Ensayos con fuegos controlados (curvas temperatura-tiempo)

Todas las curvas de clasificación de exposición al fuego simulan el perfil de temperatura de un incendio en un túnel. El ejemplo de la curva RWS holandesa define la exposición máxima que se puede esperar en el peor de los casos: se define como un incendio de un camión cisterna con una capacidad de carga de 50 m³, cargado al 90% de combustible de hidrocarburo líquido (gasolina). Después de 120 minutos, la temperatura en el refuerzo del hormigón no debe exceder los 250°C para superar la prueba.

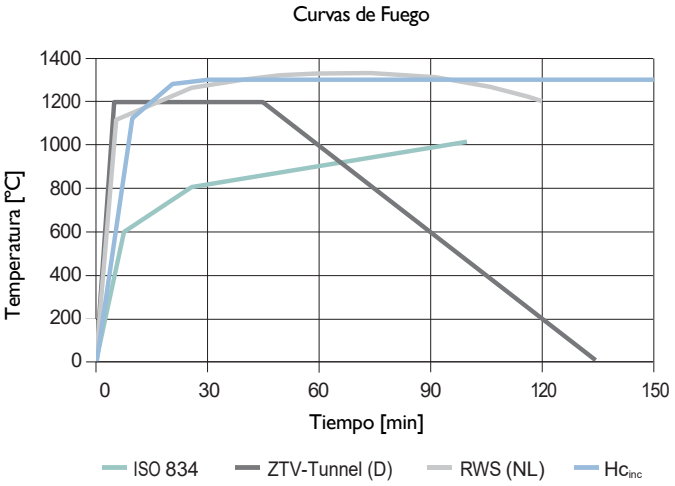


Fig. 7.14.1: Curvas temperatura-tiempo de varios diseños de fuego basados en diferentes normativas

7.15 MIGRACIÓN DE CLORUROS

Un aspecto de la durabilidad del hormigón y la vida útil de una estructura de hormigón depende de la protección al refuerzo contra la exposición al cloruro. Los iones de cloruro migran a través del hormigón principalmente por difusión, interactúan con la capa de pasivación del acero y conducen posteriormente la corrosión al refuerzo de acero. Otras formas de transporte de los iones cloruro son la absorción capilar y la presión hidrostática.



Medidas de corrección

- La reducción de la relación a/c tiene un impacto en la migración de cloruros
  - * Se puede reducir la relación agua / cemento mediante la adición de superplastificantes como Sika® ViscoCrete®/ SikaPlast®
- Influencia positiva de materiales puzolánicos (por ejemplo, micro humo de sílice (SikaFume®) y cenizas volátiles)
  - * El uso de puzolanas reduce la migración de cloruros
  - Influencia positiva de la latente hidráulica (GGBFS / Escoria de horno granulada en tierra)
    - * El uso de sistemas hidráulicos latentes reduce significativamente la migración de cloruros

Importante:

- Solo la calidad de la pasta conglomerante influirá en la migración de cloruros
- Para comparar los resultados, es importante tener una definición del procedimiento de prueba (tiempo de prueba, límites, voltaje, etc.)

Recomendación Sika:

- Concepto Conglomerante 30% OPC / 5% SF / 65% GGBFS /
- Relación a/c < 0,38
- Fibras sintéticas para minimizar aún más las fisuras

Métodos de prueba, p. Ej. NT-Build 492 ASTM C1202 SIA 262/1 Annex B

ASTM C1202 Método de prueba estándar para la indicación eléctrica de la capacidad del hormigón para resistir la penetración de iones de cloruro

Este método de prueba cubre la evaluación en laboratorio de la conductancia eléctrica de muestras de hormigón para proporcionar una indicación rápida de su resistencia a la penetración de iones de cloruro.

Consiste en monitorear la cantidad de corriente eléctrica que pasa a través de piezas de 2 pulg. (51 mm) de espesor a piezas de 4 pulg. (102 mm) de espesor, en el diámetro nominal de núcleos o cilindros durante un período de 6 h.

Se mantiene una diferencia de potencial de 60 V CC en los extremos de la muestra, uno de los cuales se sumerge en una solución de cloruro de sodio y el otro en una solución de hidróxido de sodio. Se pasa la carga total, en culombios, y se analiza su relación con la resistencia de la muestra a la penetración del ión cloruro.

SIA 262/1 Construcción de hormigón: requisitos adicionales

Los iones de cloruro se introducirán en una muestra saturada de agua a través de una corriente eléctrica. Se medirá la profundidad de penetración del ion cloruro. Basándose en la profundidad de penetración, el voltaje y otros parámetros se calculará un coeficiente de migración de cloruro.

NT Build 492: Hormigón, mortero y materiales de reparación a base de cemento: Coeficiente de migración de cloruro en experimentos de migración en estado no estacionario

Este procedimiento sirve para determinar el coeficiente de migración de cloruros en hormigón, mortero o materiales de reparación a base de cemento a partir de experimentos de migración en estado no estacionario.

El método es aplicable a las probetas endurecidas coladas en el laboratorio o perforadas en estructuras de campo. El coeficiente de migración de cloruro determinado por el método es una medida de la resistencia del material ensayado a la penetración de cloruros. Este coeficiente de migración en estado no estacionario no puede compararse directamente con los coeficientes de difusión de cloruros obtenidos con otros métodos de ensayo, como el ensayo de inmersión en estado no estacionario o el ensayo de migración en estado estacionario.

8 TIPOS DE HORMIGÓN

8.1 HORMIGÓN IMPERMEABLE

El diseño y la construcción de una estructura de hormigón a prueba de agua es un enfoque de sistema. La impermeabilidad al agua de una construcción está determinada por el cumplimiento de los requisitos decisivos en cuanto a la limitación de la permeabilidad al agua a través del hormigón, las juntas, la colación del hormigón, así como las fisuras. Las construcciones herméticas y duraderas se logran mediante la aplicación de un sistema de ingeniería bien definido. Todas las partes involucradas deben interactuar estrechamente para minimizar la probabilidad de errores.



Fig. 8.1.1: La absorción de agua del hormigón bajo presión mide la penetración máxima de agua en mm después de un tiempo definido con una presión especificada. (72 horas con 5 bar según EN12390-8)

El hormigón a prueba de agua es normalmente un hormigón impermeable. Para obtener un hormigón impermeable, se debe generar una curva granulométrica de tamaño de partícula adecuada y se debe reducir la red capilar.

Las medidas para reducir la red capilar son las siguientes:
- Reducción de la relación a/c
- Bloqueador de poros para reducir aún más el transporte de agua
- Reducción de la retracción (seca y plástica) para minimizar la formación de fisuras
- Sellado adicional de los huecos con material reactivo puzolánico
- El proceso de curado del hormigón es el parámetro final que afecta la resistencia al agua

Composición del hormigón

Árido
- Curva granulométrica del tamaño de partículas bien graduada
- Contenido de finos del árido mantenerlo bajo (rango adecuado)
- Normalmente es necesario ajustar el contenido del conglomerante para obtener un contenido de finos satisfactorio

Cemento
- Conformidad con el contenido mínimo de cemento según la EN 206
- Minimizar el volumen de pasta como para la aplicación recomendada

Adiciones
- Uso de adiciones puzolánicas o hidráulicas latentes

Contenido de agua (relación a/c)
- Relación a/c baja para reducir la red capilar

Colocación
- Se recomienda un plástico a hormigón blando para producir hormigón impermeable
- Es importante una compactación cuidadosa y correcta del hormigón

Curado
- Es esencial un curado completo e inmediato

La impermeabilidad del hormigón contra el agua está determinada por la impermeabilidad de la matriz cementosa, es decir, la red capilar. Los factores decisivos para la red capilar son la relación a/c, así como el contenido y tipo de materiales hidráulicos puzolánicos o latentes. Se utiliza un potente superplastificante para reducir la relación a/c.
Esto, a su vez, disminuye el volumen de la red capilar dentro de la matriz de hormigón, mientras mantiene una alta trabajabilidad. Estas redes son las posibles rutas migratorias del agua a través del hormigón. Con la aplicación de un aditivo resistente al agua, la cal de la pasta de cemento produce una capa hidrófoba dentro de la red capilar. En consecuencia, esto bloquea los poros y proporciona una protección eficaz incluso a 10 bar (100 metros de altura de agua). El hormigón debe colocarse, compactarse y curarse de acuerdo con las buenas prácticas de hormigón. El correcto sistema de unión (juntas de movimiento, juntas de construcción) es la clave para conseguir una estructura sellada al agua. Se deben considerar las secuencias de vertido de hormigón y los tamaños de las bahías para reducir el riesgo de fisuración por retracción plástica. Como guía, se sugiere una relación de aspecto que no exceda 3: 1 en particular vertidos en vertical.





Fig. 8.1.2: Sika Waterbars son cintas flexibles de PVC preformado para la impermeabilización de juntas de movimiento y construcción que pueden estar sometidas a baja y alta presión de agua.

Por un lado, el correcto diseño de cualquier junta es fundamental. Por otro lado, la correcta y cuidadosa instalación del sistema de empalme es decisiva para lograr la estanqueidad de las construcciones. Si hay fugas de agua, la mayoría de las veces se debe a una construcción deficiente de la junta. Además, se deben considerar otros detalles, como los orificios de las barras de unión y las entradas de servicio. Dependiendo del nivel de protección contra el agua, es decir, la presión del agua exterior, así como el uso previsto de la construcción, están disponibles diferentes sistemas de juntas. Las juntas sin movimiento generalmente se sellan con perfiles hidrófilos que vienen en varias formas y tamaños y se hinchan al contacto con el agua. Cuando una estructura requiere un mayor nivel de protección, se encuentran disponibles sistemas de juntas más avanzados que pueden ofrecer una combinación de elementos hidrófilos integrados en un tubo inyectado con resina. Esto proporciona una excelente línea de defensa secundaria. Cuando sean necesarias juntas de movimiento, estas se pueden sellar con una cinta Sikadur® Combiflex® asegurada interna o externamente con adhesivos epoxi como Sikadur® o Sika®-Waterbars tradicionales.

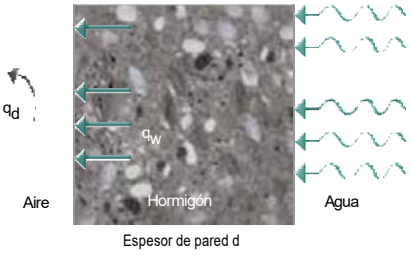


Fig. 8.1.3: Inmersión y contacto permanente con el agua. El límite de permeabilidad al agua para la estanqueidad se define como 10 g / (m2 x horas) (según SIA 262/1), donde la permeabilidad al agua es menor que el volumen de agua evaporable sin presión durante un período definido.

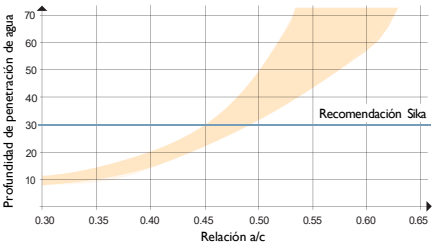


Fig. 8.1.4: Penetración de agua bajo presión hidrostática. El límite de permeabilidad al agua para la estanqueidad se define como una penetración máxima de agua en el hormigón bajo una presión específica durante un período definido.

Consejos de diseño de mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de Fórmula
Áridos	Cualquier árido de calidad posible	Todos los tamaños de áridos son posibles
Cemento	Cualquier cemento que cumpla con los estándares locales	350 kg/m³
Adiciones en polvo	Cenizas volantes o escoria de alto horno granulada molida	Contenido de finos suficiente mediante ajuste del contenido de conglomerante
Contenido de agua	Agua dulce y agua reciclada con requisitos sobre contenido de finos	Relación a/c de acuerdo con los estándares con respecto a la clase de exposición < 0,45
Aditivos para hormigón	Superplastificante Tipo dependiendo de la ubicación y el tiempo de trabajabilidad	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament® 0,60 – 1,50%
	Aditivo resistente al agua	SikaControl® WT 1,00 – 2,00%
Requisitos de instalación puesta en obra y curado	Agente de curado El curado que comienza lo antes posible y se mantiene durante un período de tiempo suficiente tiene una influencia significativa en la retracción plástica y de secado	Curado posterior para garantizar una alta calidad (compacidad) de las superficies Sika® Antisol®
Sellado de juntas	Sellado de juntas de movimiento, juntas de construcción, penetraciones y daños en la construcción.	Sika® Waterbars Sikadur® Combiflex® Sika® Fuko System SikaSwell®
Sistemas de impermeabilización	Sistemas de membranas impermeabilizantes flexibles, si es necesario con compartimento simple o doble	Sikaplan® SikaProof®

Productos Sika

Nombre del producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Mayor resistencia y permeabilidad. Reducción sustancial de agua Reducción de la red capilar
SikaControl® WT	Aditivo resistente al agua	Conductividad del agua reducida y mejor impermeabilidad al agua
	Aditivo para hormigón impermeabilizante cristalino y resistente al agua	Conductividad del agua reducida y mejor impermeabilidad al agua. Mejora las propiedades de autocuración del hormigón.
Sika® Antisol®	Aditivo resistente al agua	Protección contra el secado prematuro

8.2 HORMIGÓN RESISTENTE A LA CORROSIÓN

El hormigón es un material de construcción ingenioso, debido a la posibilidad de combinación con acero de refuerzo, lo que resulta en una tremenda capacidad de carga. La combinación de acero y hormigón tiene la ventaja de que, en condiciones normales, el alto valor de pH del hormigón crea una capa pasiva de hidróxidos de hierro en la superficie del acero que lo protege de la corrosión. Particularmente el acero, sin embargo, puede verse comprometido en su durabilidad de rendimiento por la presencia de humedad y sal.



Fig. 8.2.1: Daño a la estructura de hormigón debido a un recubrimiento de hormigón insuficiente y baja calidad del hormigón

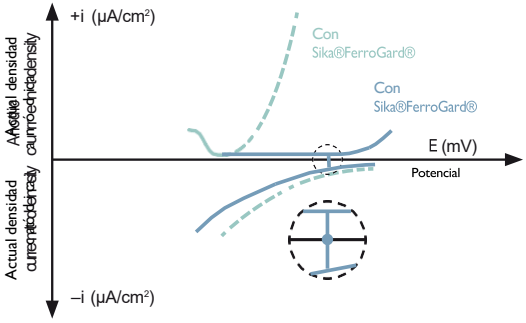


Fig. 8.2.2: Acero en el hormigón que contiene cloruros; con y sin Sika® FerroGard®

MECANISMO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS INHIBIDORES DE CORROSIÓN Sika® FerroGard® Los cloruros son desplazados en la superficie del acero por Sika® FerroGard®-901 S. Forma una película protectora que mueve el potencial de corrosión y reduce las densidades de corriente a un nivel muy bajo.

Las prácticas de construcción estándar garantizan que la corrosión de los refuerzos de acero sea limitada. Estas prácticas incluyen la observación de la calidad mínima del hormigón (relación a/c, contenido de cemento, resistencia mínima) y el recubrimiento mínimo de hormigón de las barras de refuerzo. Sin embargo, en muchos casos, especialmente en ambientes con altos niveles de cloruros (sales en descomposición, agua de mar o incluso componentes de mezcla de hormigón contaminados), estos procedimientos básicos de protección resultan insuficientes. Para evitar la corrosión o retrasar su inicio y, por lo tanto, extender la vida útil de una estructura, se pueden tomar cuatro pasos adicionales para proteger el acero de la corrosión: aumentar la calidad del hormigón, aumentar el recubrimiento de hormigón, utilizar inhibidores de corrosión y aplicación de revestimien-

tos protectores. El aumento de la calidad del hormigón significa la reducción del número y tamaño de la red capilar.

Esto aumenta la densidad de la matriz de hormigón y, como resultado, dificulta el transporte de cloruros o CO_2 al hormigón. La reducción de la relación a/c mediante la aplicación de reductores de agua de alto rango o el uso de materiales cementantes suplementarios como cenizas volantes, humo de sílice o puzolanas naturales representan oportunidades en la tecnología del hormigón para mejorar aún más el diseño de la mezcla.

Al elegir una calidad de hormigón mejorada para la protección contra la corrosión, se debe prestar especial atención a la colocación adecuada, el curado del hormigón y el potencial de retracción de la mezcla de hormigón, ya que las pequeñas fisuras pueden permitir que los cloruros o el CO_2 penetren en el acero de refuerzo independientemente de la densidad y la mezcla de hormigón durante el proceso de dosificación. Los inhibidores no influyen significativamente en la densidad del hormigón ni afectan la entrada de cloruros o CO_2, pero actúan directamente sobre el proceso de corrosión. Los inhibidores de la corrosión se definen de varias formas. Por un lado, como un aditivo que prolongará el tiempo antes de que se inicie la corrosión y, por otro lado, como un aditivo que reduce la velocidad de corrosión del acero embebido en el hormigón que contiene cloruros.

Por lo tanto, un inhibidor de la corrosión debe reducir la velocidad de corrosión y el área corroída de las varillas en el hormigón que contiene cloruros. Los principales productos que se utilizan como inhibidores de la corrosión en la actualidad son productos a base de nitrito de calcio o inhibidores de corrosión orgánicos de aminoéster.
Los recubrimientos protectores se utilizan para reducir la entrada de cloruros o dióxido de carbono. Los recubrimientos se pueden aplicar de acuerdo con dos opciones básicas, ya sea a la superficie del hormigón o a las propias barras de acero antes de que se incrusten en el hormigón.



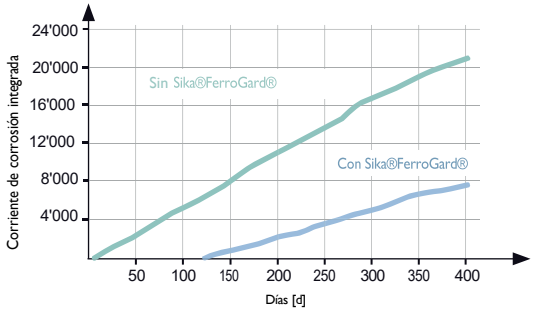


Fig. 8.2.3: El Departamento de Investigación de Sika en Zúrich probó el efecto anticorrosivo de Sika® FerroGard® en vigas de hormigón fisuradas. Las muestras se produjeron de acuerdo con ASTM G 109 y se trataron cíclicamente con sales para carreteras. La medición periódica de la corriente de corrosión confirma el efecto protector de Sika® FerroGard®

Se colocaron tres elementos de hormigón armado junto a una concurrida autopista en Suiza. Las paredes han estado expuestas durante más de 22 años a condiciones de la vida real, incluidas las salpicaduras de agua que contienen sal fundente en invierno. Uno de los elementos de hormigón contiene Sika® FerroGard®-901 aditivo inhibidor de la corrosión para hormigón con una dosificación de 12 kg/m³ uno con humo de sílice y otro elemento sin él. Las principales conclusiones de esta investigación a largo plazo.

- La corrosión del acero del hormigón de referencia se inició después de aproximadamente 8 a 9 años.
- El inhibidor de corrosión orgánico de Sika retrasó la corrosión inducida por cloruro durante aproximadamente 22 años.
- En estas condiciones, el inhibidor de corrosión aumentó el tiempo hasta el inicio de la corrosión en un factor de aprox. 3



Fig. 8.2.4: Medición de potencial en un muro de contención a lo largo de una carretera con mucho tráfico con alto uso de sal fundente, después de menos de 10 años de exposición. Cuanto más oscura sea la coloración, mayor será el potencial de corrosión.

Inhibidor de corrosión de superficie aplicada para hormigón armado

Sika® FerroGard® también se puede aplicar en la superficie, diseñado para usarse como impregnación en hormigón armado endurecido.
Sika® FerroGard®-903 Plus es un inhibidor multifuncional que controla las reacciones catódicas y anódicas. Este efecto de doble acción retarda significativamente tanto el inicio como la velocidad de la corrosión y aumenta el tiempo para el mantenimiento futuro. Sika® FerroGard®-903 Plus se aplica normalmente como parte de una estrategia de gestión de la corrosión. Es un componente de todos los sistemas de protección y reparación de hormigón de Sika.



Concrete mix design advice and recommended measures:

Componentes	Descripción	Ejemplo de Fórmula
Áridos	Cualquier árido de calidad	Todos los tamaños de áridos son posibles
Cemento	Cualquier cemento que cumpla con los estándares locales.	Apunte el volumen de pasta de cemento lo más bajo posible para el método de colocación respectivo
Adiciones en polvo	Cenizas volantes, escoria de alto horno granulada molida, humo de sílice, puzolanas naturales	
Contenido de agua	Agua dulce y agua reciclada con requisitos sobre contenido de finos	Relación a/c de acuerdo con los estándares con respecto a la clase de exposición < 0,46
Aditivos para hormigón	Superplastificante El tipo depende de la ubicación y los requisitos iniciales de resistencia	Sika® ViscoCrete® or SikaPlast® or Sikament® 0,60 – 1,50%
	Inhibidor de corrosión	Sika® FerroGard®-901 S 10 – 12 kg/m³ Sika® CNI 13 – 40 kg/m³
Requisitos de puesta en obra y curado	Agente de curado El curado que comienza lo antes posible y se mantiene durante un período de tiempo suficiente tiene una influencia significativa en la retracción plástica y de secado	Cuidadosa instalación y compactación. Curado posterior para garantizar una alta calidad (compacidad) de las superficies. Sika® Antisol®
Sistema de protección	Protección superficial contra la entrada de cloruros y dióxido de carbono	Sika ofrece una amplia gama de soluciones rígidas y flexibles para evitar la penetración de agua. Solución: Sikagard®

Productos Sika

Nombre del producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Reducción de agua, mayor resistencia e impermeabilidad con consistencia (trabajabilidad) y bombeabilidad garantizadas
Sika® Ferrogard® Sika® CNI	Inhibidor de corrosión	Protege la superficie del refuerzo de acero y reduce la tasa de corrosión.
SikaFume®	Humo de sílice	Alta resistencia, incrementa la impermeabilidad y mejora la resistencia a sulfatos
SikaControl® AER	Inclusor de aire	Inclusor de aire Interrupción de red capilar Reducción de la absorción de agua
Sika® Antisol®	Agente de curado	Protección contra el secado prematuro

8.3 HORMIGÓN RESISTENTE A LAS HELADAS Y A HIELO/DESHIELO

La sal de deshielo ataca las superficies de hormigón, una de las clases más dañinas para las estructuras de hormigón, aunque subestimada durante décadas también debido a las cantidades extremas de sal de deshielo que se aplican periódicamente. Mediante una técnica estructural adecuada y el cumplimiento de las medidas tecnológicas básicas pertinentes al hormigón, el material de construcción puede demostrar permanentemente una alta resistencia a las heladas y al esfuerzo que representa la sal de deshielo

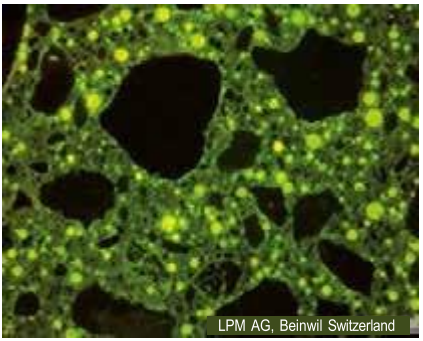


Fig. 8.3.1: Los huecos de aire introducidos artificialmente causados por un aire entrante, generan espacio para la expansión en la estructura de hormigón para permitir el aumento de volumen de aproximadamente un 10% cuando el agua se congela para convertirse en hielo

Siempre se debe usar hormigón resistente a heladas y a ciclos de hielo/deshielo cuando las superficies de hormigón están expuestas a la intemperie (mojado) y la temperatura de la superficie pueda congelarse.
Al añadir inclusores de aire, se generan pequeños huecos de aire esféricos durante el proceso de mezcla en la pasta conglomerante (cemento, SCM, agua) del hormigón. El objetivo es garantizar que el hormigón endurecido sea resistente a las heladas y a ciclos de hielo/deshielo (creando espacio para la expansión del agua durante las condiciones de congelación).

Diseño de hormigón con aire incorporado
Deben darse especificaciones detalladas de resistencia, contenido de aire y métodos de ensayo. Para proyectos importantes, el ensayo preliminar debe realizarse en condiciones reales. Durante los procesos de hormigonado comprobar el contenido de aire en la planta de hormigón y antes de la colocación.

Características de los huecos de aire	Forma: esférica Tamaño: 0,02 a 0,30 mm Factores de separación mm: ≤ 0,20 mm resistencia a las heladas ≤ 0,15 mm resistencia a hielo/ deshielo
Efectos secundarios positivos	Mejora de la trabajabilidad Interrupción de la red capilar (resistente al agua) Mejor cohesión del hormigón fresco
Efectos negativos	Reducción de las resistencias mecánicas (resistencia a la compresión)

Los factores que influyen en el aire incorporado

■ Granulometría

Las burbujas de aire se forman principalmente alrededor de la fracción de arena de 0,25 a 0,50 mm. Las fracciones más grandes no tienen ningún efecto sobre la entrada de aire. Los ultrafinos constituyentes de la arena o el cemento y algunos aditivos pueden inhibir la entrada de aire.

■ Consistencia

La incorporación de aire óptima se logra en la consistencia plástica a plástico-blanda. Un hormigón al que se le aumenta la consistencia con la adición de agua adicional podría no retener las burbujas de aire tan bien o durante tanto tiempo como el hormigón original.

■ Temperatura

La capacidad de incorporación de aire disminuye a medida que aumenta la temperatura del hormigón fresco y viceversa.

■ Transporte

Se puede esperar un cambio en el contenido de aire durante el transporte. Dependiendo del método de transporte y de la vibración durante el viaje, los procesos de mezclado o desmezclado tienen lugar en el hormigón. El hormigón con aire incorporado debe volver a mezclarse antes de la puesta en obra y solo entonces se medirá el contenido de aire.

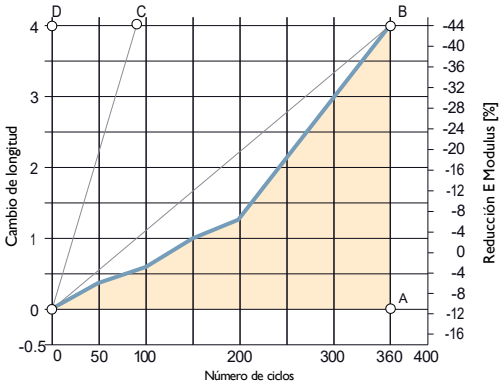
■ Compactación de hormigón con aire incorporado

La vibración del hormigón elimina principalmente el aire "atrapado" durante la puesta en obra, incluido las burbujas grandes en el hormigón. La sobre vibración pronunciada también puede reducir el aire incorporado entre un 10 y un 30%. El hormigón susceptible a la segregación puede perder casi todas las burbujas de aire o mostrar espuma en la superficie.

■ Reemplazo de finos

El 1% del aire incorporado puede reemplazar aproximadamente 10 kg de finos (<0,125 mm) por m³ de hormigón. Las burbujas de aire pueden mejorar la trabajabilidad de mezclas toscas y bajas en finos.





Rango de resistencia AOB = alto (WF-L > 80%)
BOC = medio (WF-L = 80 – 25%)
COD = bajo (WF-L < 25%)

Clasificación Alto WF-L = 94%

Fig. 8.3.2: En la prueba BE II según DR 400, las probetas prismáticas de prueba están sujetos a cargas alternas entre +20° C y -20° C.
El cambio de longitud se mide y juzga entre tres rangos de durabilidad (baja/medio/alto).
Cálculo según ASTM C666.

Tipo, tamaño y distribución de las burbujas de aire
Las burbujas de aire contenidas en un hormigón estándar son generalmente demasiado grandes (> 0,3 mm) para aumentar la resistencia a las heladas y a ciclo hielo/ deshielo. Las burbujas de aire efectivas se introducen a través de inclusores de aire especiales. Las burbujas de aire se generan físicamente durante el período de mezcla. Para desarrollar todo su efecto, no deben estar demasiado distanciadas unas de otras. La "separación efectiva" se define por el llamado factor de separación SF.

Tiempo de producción / mezclado
Para asegurar una alta resistencia a las heladas y a ciclo hielo/ deshielo, el tiempo de mezclado húmedo debe ser mayor que para un hormigón estándar y continuar después de añadir el inclusor de aire. Aumentar el tiempo de mezclado de 60 a 90 segundos mejora el contenido de burbujas de aire de calidad hasta en un 100%.

Calidad de las burbujas de aire requeridas
Para obtener una alta resistencia a las heladas, la matriz de cemento debe contener aproximadamente un 15% de burbujas de aire adecuadas y aproximadamente un 20% para una alta resistencia a ciclo hielo/ deshielo. Una larga experiencia confirma que hay suficientes burbujas de aire efectivas en un hormigón si el resultado de la prueba (recipiente de aire) muestra los siguientes contenidos de aire:
- Hormigón con tamaño máximo de partícula de 32 mm: 3% a 5%
- Hormigón con tamaño máximo de partícula de 16 mm: 4% a 6%

El hormigón fresco con un contenido de aire ocluido del 7% o más solo debe colocarse en obra después de un estudio y pruebas detalladas.



Fig. 8.3.3: La sal fundente dispersa intensifica considerablemente la reacción al congelar el agua y provoca un daño sustancialmente mayor en las áreas de hormigón cercanas a la superficie.

Consejos de diseño de mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de Fórmula	
Áridos	Los áridos empleados deben ser resistentes a las heladas	Todos los tamaños de áridos son posibles	
Cemento	Cualquier cemento que cumpla con los estándares locales Cemento Portland puro para mayor resistencia	El volumen objetivo de pasta de cemento lo más bajo posible para el método de colocación respectivo	
Adiciones en polvo	Para una mayor densidad	SikaFume®	mayor a 4%
Contenido de agua	Agua de mezcla limpia, libre de finos	Relación a/c de acuerdo con los estándares con respecto a la clase de exposición	< 0,46
Aditivo para hormigón	Superplastificante La dosificación depende de la fórmula; el superplastificante y el inclusor de aire deben adaptarse entre sí	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®	0,60 – 1,40%
	Inclusor de aire (tiempo de mezcla mínimo 90 seg.) La cantidad requerida de inclusor de aire depende en gran medida del cemento y la proporción de finos en la arena	Dósis SikaControl® AER: Contenido de vacios de aire con – máx. diám. partícula 32 mm – máx. diám. partícula 16 mm	0,10 – 0,80% aprox. 3 – 5% aprox. 4 – 6%
Requisitos de puesta en obra y curado	Agente de curado El hormigón resistente a las heladas sólo debe transportarse en camiones de hormigón premezclado y debe volver a mezclarse completamente (aproximadamente 30 segundos/m³) antes de descargar. Debe seguir la medición estándar del aire ocluido	Cuidadosa instalación y compactación. Curado posterior para garantizar una alta calidad (compacidad) de las superficies. Sika® Antisol®	

Productos Sika

Nombre del producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Reducción de la relación a/c para reducir la red capilar
SikaControl® AER	Inclusor de aire	Incorporación de aire para garantizar la resistencia a las heladas y a hielo/ deshielo
SikaFume®	Humo de sílice	Para una mayor densidad de la pasta de cemento endurecida y mejorar la unión entre el árido y la pasta de cemento endurecida.
Sika® Antisol®	Agente de curado	Protección contra el secado prematuro
SikaControl® AER-200 P	Inclusor de aire	Incorporación de aire de trabajo químico para garantizar la resistencia a las heladas y a ciclo hielo/ deshielo

8.4 HORMIGÓN RESISTENTE A SULFATOS

Particularmente en la construcción subterránea, las estructuras de hormigón están expuestas a influencias que surgen del subsuelo, como tensiones mecánicas permanentes y agua agresiva. No obstante, el hormigón se caracteriza por su extraordinaria durabilidad. Las soluciones que contienen sulfatos, como las que se encuentran en las aguas subterráneas naturales o contaminadas, representan un impacto de deterioro considerable en el hormigón. Esto eventualmente puede conducir a la pérdida de resistencia, expansión, descascarillado de las capas superficiales y finalmente a la desintegración.



Fig. 8.4.1: deterioro del hormigón o debido al ataque de sulfatos muestra un fuerte aumento de longitud debido al ataque de descascarillado. Las primeras fisuras han aparecido en la muestra

El ciclo de vida previsto de una estructura de hormigón está garantizado por un diseño de mezcla de hormigón adecuado que se basa en la exposición esperada y los diversos impactos. El sulfato contenido en el agua reacciona con los hidratos del aluminato tricálcico (principalmente AFm) en el cemento para formar etringita (también taumasita bajo ciertas condiciones), lo que conduce a aumentos de volumen. Este aumento de volumen da como resultado una alta presión interna en la estructura de hormigón que induce fisuración y descascarillado. Dicho ataque se clasifica entre los tipos de ataque químico bajo los cuales el hormigón estándar diseñado sin medidas específicas puede experimentar daños significativos. La experiencia de campo demuestra que la pérdida de adherencia y resistencia suele ser más grave que el daño del hormigón resultante de la expansión y la fisuración.

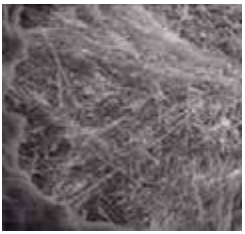
La resistencia al sulfato del hormigón está determinada por la resistencia al sulfato de la matriz de cemento, así como por su capacidad para resistir la difusión de iones sulfato a través de la matriz.

Por tanto, el hormigón destinado a ser resistente a los sulfatos debe caracterizarse por una alta impermeabilidad y una mayor resistencia a la compresión. Además, deben utilizarse cementos con bajo contenido de C3A y Al2O3. Hacerlo reduce el potencial de reacciones de deterioro. Además, la inclusión de humo de sílice es favorable, ya que esto contribuye a una mayor densidad de la matriz de cemento junto con una mejor unión entre la matriz de cemento y los áridos y, por lo tanto, conduce a una mayor resistencia a la compresión.

El ataque de sulfato se designa como ataque químico de clase de exposición según EN 206. Por lo tanto, la clase de exposición está determinada por el contenido de sulfato esperado en el agua que entra en contacto con el hormigón. Dependiendo de la clase de exposición, se requiere un contenido mínimo de cemento en combinación con una relación máxima a/c, así como una utilización obligatoria de cemento con alta resistencia a los sulfatos.

En la construcción de túneles, la durabilidad es de importancia decisiva y el ataque de sulfatos es un fenómeno desafiante y constante. Esto es especialmente cierto en el caso de la producción de dovelas de revestimiento de túneles prefabricados para tuneladoras (TBM) y soportes de roca aplicados mediante hormigón proyectado. En excavaciones en las que se prevé un alto ataque de sulfatos, es difícil cumplir con todos los requisitos técnicos a menos que también se tomen las medidas adecuadas con respecto al diseño de la mezcla de hormigón.





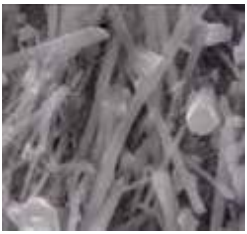


Fig. 8.4.2: Forma clásica de ataque de sulfatos asociado con la formación de etringita o yeso. Ráfaga de varillas de etringita cultivadas en matrices de cemento maduras sometidas a soluciones externas de sulfato.



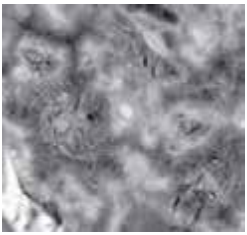


Fig. 8.4.3: Núcleos de etringita que se transforman en matrices de cemento envejecidas. La imagen de la derecha es una matriz de 2 años sometida al ataque de sulfatos. Uno ve claramente los núcleos de etringita formándose dentro del C-S-H..

Para hormigón proyectado, el uso de acelerantes libres de álcalis es obligatorio para lograr una resistencia adecuada a los sulfatos. La producción rápida e industrializada de dovelas de túneles requiere ciclos de producción de solo unas pocas horas, con un desarrollo de temperatura máxima de 60°C en el hormigón. Esto es muy difícil con los cementos convencionales resistentes a los sulfatos, debido al hecho de que estos cementos presentan un lento desarrollo de resistencia. Una mezcla de hormigón que contiene humo de sílice y un superplastificante cumple con ambos criterios, productividad y resistencia a los sulfatos, pero este sistema es muy sensible al curado adecuado debido a la formación de fisuras. Con la aplicación de una emulsión epoxídica a base de agua inmediatamente después de la liberación de las dovelas del encofrado, se puede producir un hormigón libre de micro fisuras.



Fig. 8.4.4: Inmediatamente después del curado en un canal de vapor, la superficie de hormigón de las dovelas del túnel se recubre con una emulsión epoxídica a base de agua que se absorbe incluso en los poros más pequeños, generando así una capa protectora sellada.

Consejos de diseño de mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes:	Descripción	Ejemplo de Fórmula
Áridos	Cualquier árido de buena calidad	Todos los tamaños de áridos son posibles
Cemento	Cumplimiento de EN 206 con cementos resistentes a sulfatos de moderada a alta resistencia ASTM C150	El volumen de matriz de cemento lo más bajo posible para el método de colocación respectivo
Adiciones en polvo	Cenizas volantes, escoria de alto horno granulada molida, humo de sílice, puzolanas naturales	SikaFume® 4 – 8%
Contenido de agua	Cumplimiento de EN 206, dependiendo de la clase de exposición Cumplimiento de ASTM, según la clase de exposición Cumplimiento de EN 206, dependiendo de la clase de exposición	Clase de exposición ratio a/c XA 1 < 0,55 XA 2 < 0,50 XA 3 < 0,45 Tipo 2 Moderado < 0,50 Tipo 5 Severo < 0,45 Tipo 5 Muy severo < 0,40
Aditivo para hormigón	Superplastificante	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament® 0,60 – 1,50%
Requisitos de puesta en obra y curado	Agente de curado El curado que comienza lo antes posible y se mantiene durante un período de tiempo suficiente tiene una influencia significativa en la retracción plástica y de secado	Cuidadosa instalación y compactación. Curado posterior para garantizar una alta calidad (compacidad) de las superficies Sika® Antisol®
Sistema RatiProtective / Sistema de curado especial	La resistencia del hormigón a los productos químicos es muy limitada. Los revestimientos adecuados pueden proteger de forma duradera la superficie del hormigón contra la exposición al sulfato	Curado especial de dovelas de túnel prefabricados inmediatamente después del desmoldeo con Sikagard®

Productos Sika

Nombre del producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast®	Superplastifcante	Reducción sustancial de agua
Sikament®	Mejora en la colocación (trabajabilidad y compactación)	Permeabilidad reducida
SikaFume®	Humo de sílice	Permeabilidad reducida
Sika® Antisol®	Agente de curado	Protección contra el secado prematuro

8.5 HORMIGÓN RESISTENTE AL FUEGO

El peligro del fuego está presente siempre y en todas partes. El peligro inminente depende de la exposición real y, naturalmente, difiere si la construcción amenazada es un metro para peatones, un túnel de carretera o un garaje subterráneo en un rascacielos. El hormigón es el material de carga en casi todas las estructuras y, por lo tanto, tiene un alto riesgo, ya que toda la estructura colapsaría si fallara el material. Por lo tanto, el hormigón debe, independientemente del escenario de peligro, estar adecuadamente formulado o protegido por medidas externas, para evitar fallos a alta temperatura en caso de incendio.



Fig. 8.5.1: En cámaras de horno especiales, las trayectorias del fuego se pueden replicar, los paneles se prueban y luego se evalúan. El desarrollo de la temperatura se mide y registra a varias profundidades

El hormigón con alta resistencia al fuego se utiliza para
- Áreas de emergencia en estructuras cerradas (salidas de emergencia de túneles)
- Resistencia general mejorada al fuego para infraestructura
- Revestimiento resistente al fuego para elementos estructurales

Producción de hormigón con alta resistencia al fuego
- La producción de hormigón no difiere del hormigón estándar
- El proceso de mezcla debe ser monitorizado debido a las fibras que normalmente se incluyen
- Es beneficioso para la futura resistencia al fuego del hormigón si puede secarse tanto como sea posible

Componentes para la producción de hormigón con alta resistencia al fuego
- El logro de la máxima resistencia al fuego se basa en la composición de los áridos utilizados
- La resistencia se puede incrementar considerablemente mediante el uso de áridos especiales
- El uso de fibras sintéticas especiales (PP) aumenta considerablemente la resistencia
- El uso de arenas seleccionadas mejora la resistencia de la matriz de cemento

Comportamiento del hormigón bajo fuego

El agua capilar e intersticial comienza a evaporarse a temperaturas cercanas al punto de ebullición del agua (100°C). El vapor necesita más espacio y, por lo tanto, ejerce una presión de expansión sobre la estructura de hormigón. La matriz de cemento comienza a cambiar a temperaturas de aproximadamente 700°C. El efecto de los áridos depende principalmente de su origen y comienza a unos 600°C.

La resistencia al fuego se define como la capacidad de una estructura para cumplir sus funciones requeridas (función de soporte de carga y/ o función de separación) durante una exposición al fuego y un período específicos (integridad).

La resistencia al fuego se aplica a los elementos de construcción y no al material en sí, pero las propiedades del material afectan el desempeño del elemento del que forma parte. En la mayoría de los casos, la temperatura del fuego aumenta rápidamente en minutos, lo que provoca la aparición de descascarillado explosivo (spalling) a medida que la humedad inherente al hormigón se convierte en vapor y se expande.

El escenario de incendio más severo modelado es la curva de incendio RWS de los Países Bajos y representa un incendio de hidrocarburos muy grande dentro de un túnel (ver capítulo 7.14).

Hay varias opciones disponibles para mejorar la resistencia al fuego del hormigón. La mayoría de los hormigones contienen cemento Portland o cemento Portland mezclado que comienza a degradarse con respecto a propiedades importantes por encima de 300°C y comienza a perder rendimiento estructural por encima de 600°C.

Por supuesto, la profundidad de la zona del hormigón debilitado puede variar desde unos pocos milímetros hasta muchos centímetros, dependiendo de la duración del incendio y de las temperaturas máximas experimentadas. El cemento con alto contenido de alúmina utilizado para proteger revestimientos refractarios que alcanzan temperaturas de 1.600°C tiene el mejor rendimiento posible en un incendio y proporciona un excelente rendimiento por encima de 1.000°C.





Fig. 8.5.2: Ensayos de exposición al fuego para hormigón que contiene varios áridos. De este modo se pueden comparar el descascarillado y sinterizado de la superficie y una gama de desarrollos de temperatura a diferentes profundidades.

1 *sin descascarillado, superficie fusionada*
2 *piedra caliza; descascarillado 17 mm, desintegración tras enfriamiento + absorción de humedad*
3 *piedra caliza; descascarillado 14 mm, desintegración tras enfriamiento + absorción de humedad*
4 *granito; descascarillado 25 mm, superficie fundida*

La elección del árido influirá en gran medida en las tensiones térmicas que se desarrollan durante el calentamiento de una estructura de hormigón. Los áridos del tipo de carbonato, como la piedra caliza, la dolomita, tienden a funcionar mejor en un incendio ya que se calcinan cuando se calientan, liberando CO_2.

Este proceso requiere calor, por lo que la reacción absorbe parte de la energía exotérmica del fuego. Los áridos que contienen sílice tienden a comportarse peor en un incendio. Finalmente, dado que el rendimiento térmico está relacionado con la conductividad térmica del hormigón, el uso de áridos ligeros puede, en determinadas condiciones, mejorar el comportamiento frente al fuego del hormigón.
Las fibras de monofilamento polimérico (por ejemplo, polipropileno) pueden contribuir significativamente a la reducción del descascarillado explosivo (spalling) y así mejorar la "resistencia al fuego" del hormigón. En caso de incendio, estas fibras se funden a unos 160°C, creando canales que permiten la salida del vapor de agua resultante, minimizando las presiones de poros y el riesgo de descascarillado (spalling).

En condiciones en las que el riesgo de colapso estructural es inaceptable, los proyectistas examinan otras formas de proteger el hormigón de los efectos del fuego. Las alternativas van desde el aumento de espesor localizado del hormigón, el revestimiento con pantallas térmicas recubiertas con pintura intumescente, el uso de sistemas de paneles protectores y morteros ligeros aplicados en proyección. El propósito de estos sistemas pasivos de protección contra incendios depende del tipo de túnel y de la forma a proteger.

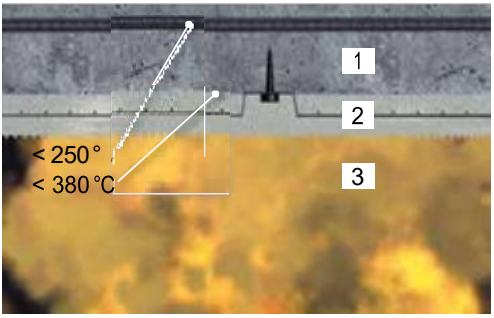


Fig. 6.5.3: Los sistemas pasivos de protección contra incendios deben cumplir los siguientes requisitos: La temperatura del hormigón durante la exposición al fuego no debe exceder los 380°C y las temperaturas del refuerzo de acero deben permanecer por debajo de 250° C durante la exposición al fuego.

1 *Hormigón estructural*
2 *Mortero de protección contra incendios*
3 *Carga de fuego*

Consejos de diseño de mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de Fórmula
Áridos	Los áridos de caliza tipo carbonato, dolomita, piedra caliza, tienden a comportarse mejor en un incendio como calcina. Los tipos que contienen sílice funcionan peor.	Todos los tamaños de áridos son posibles
Cemento	Cualquier cemento que cumpla con los estándares locales.	El volumen de pasta de cemento lo más bajo posible para el método de colocación respectivo
Contenido de agua	Agua dulce y agua residual con requisitos sobre contenido de finos	Relación a/c de acuerdo con los estándares con respecto a la clase de exposición < 0,48
Aditivos para hormigón	Superplastificante El tipo depende de la ubicación y los requisitos iniciales de resistencia.	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament® 0,60 – 1,50% SikaFiber® (PP) 2 – 3 kg/m³ SikaFiber® (Steel) 10 – 30 kg/m³
Requisitos de puesta en obra y curado	Agente de curado El curado que comienza lo antes posible y se mantiene durante un período de tiempo suficiente tiene una influencia significativa en la retracción plástica y de secado.	Cuidadosa instalación y compactación. Curado posterior para garantizar una alta calidad (compacidad) de las superficies. Sika® Antisol®
Sistema de protección/ Sistema de curado especial	Morteros ligeros aplicados por proyección	Sikacrete®-F 25 – 40 mm

Productos Sika

Nombre del producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Debido a la reducción sustancial de agua, hay menos exceso de agua en el hormigón.
SikaFiber®	Fibras de polipropileno	Para aumentar fuertemente la resistencia al fuego del material cementoso
	Fibras de acero	Para aumentar las propiedades mecánicas del hormigón aumentando la resistencia al impacto y la resistencia a la flexión

8.6 HORMIGÓN RESISTENTE A REACCIONES ÁLCALI-SÍLICE

Los áridos constituyen una parte considerable del hormigón. Su influencia en el hormigón fresco y endurecido es alta.
Las canteras de áridos de alta calidad están disminuyendo gradualmente en número, como resultado de lo cual la industria de materiales de construcción y los constructores de proyectos de infraestructura buscan soluciones para el uso de áridos de menor calidad. La reacción álcali-sílice (ASR), que puede ocurrir con los áridos, presenta un desafío particular y puede afectar la durabilidad del hormigón.

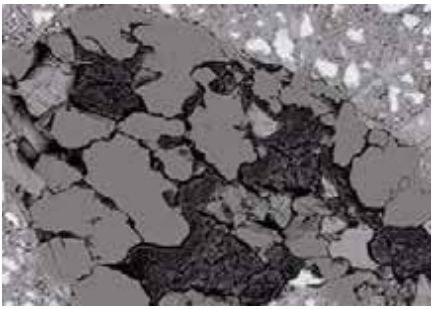


Fig. 8.6.1: Las manchas de sílice amorfa dentro del árido han reaccionado con iones alcalinos y formó un gel que se expandió al entrar agua. El árido se ha hinchado y agrietado fisurado posteriormente mientras la región amorfa (masas agrietadas fisradas negras) se expandió

Los principales proyectos de infraestructura como presas, carreteras o pistas de aterrizaje requieren enormes cantidades de áridos y son buscados en la proximidad más cercana a las obras de construcción. Algunos áridos pueden presentar un mayor o alto riesgo de ASR, la reacción álcali-sílice es una reacción química que se produce entre la sílice amorfa en el árido y la disolución alcalina de los poros de la matriz de cemento. La reacción da como resultado un aumento del volumen de hormigón, causando fisuración y descascarillado cuando las fuerzas generadas superan la resistencia a la tracción del hormigón. Las condiciones esenciales para la aparición de ASR son la humedad dentro del hormigón, un alto contenido alcalino en la solución de poros y áridos reactivos. La selección del diseño correcto de la mezcla de hormigón es fundamental para evitar ASR. La elección de las soluciones adecuadas puede prevenir daños resultantes de ASR incluso si se utilizan áridos altamente reactivos.

El clínker de cemento contribuye con la mayor proporción de material alcalino. Cuanto mayor sea el contenido de cemento, más alcalina será la mezcla. Los cementos mezclados introducen un menor contenido alcalino. Una baja relación a/c es considerado el factor central para lograr un hormigón denso y de baja permeabilidad. El hormigón denso ralentiza la difusión de los alcalinos libres y la migración del agua a los áridos. Para que se produzca la reacción álcali-sílice ASR se requieren áridos particularmente sensibles a los alcalinos, como la piedra caliza silícea, la piedra caliza arenosa, la piedra caliza, el gneis y la cuarcita fuertemente deformada. Los áridos porosos, fisurados, desgastados o aplastados son más reactivos que aquellos con estructura densa y superficies redondas.

Las adiciones puzolánicas como las cenizas volantes, la escoria granulada del alto horno o el humo de sílice reaccionan y consumen iones hidroxilos durante la hidratación. Esta reacción reduce el valor de pH de la solución de poros, suprimiendo la ocurrencia de ASR.
Las adiciones puzolánicas difieren en forma y reactividad dependiendo de su fuente, pero generalmente su efecto es más homogéneo si se añade al proceso de molienda de cemento en comparación con la mezcla de hormigón. Sin embargo, sigue habiendo alguna diferencia con respecto a la eficiencia de las adiciones para reducir la velocidad de la reacción álcali-sílice ASR.

Los aditivos como los acelerantes tradicionales para hormigón proyectado, pueden introducir cantidades considerables de iones alcalinos y aumentar en gran medida la reactividad. En el caso de áridos considerados sensibles, se debe utilizar un aditivo acelerante libre de álcalis.
La experiencia ha demostrado que la inclusión de aditivos especiales puede minimizar la reacción ASR, evitando así la expansión. Se propone otra posible solución con la adición de un agente de inclusión de aire para crear una zona de expansión artificial (burbujas de aire) para la reacción. Si la posible ocurrencia de ASR representa un problema importante, se sugieren ensayos de reacción para definir el potencial de reacción álcali-sílice.





Fig. 8.6.2: El aumento del volumen debido a la tensión resultante de ASR se vuelve perceptible mediante la medición de un cambio en la longitud de las muestras de ensayo. Normalmente, las muestras se almacenan en condiciones extremas (temperatura, humedad, carga aplicada) con el fin de acelerar la reacción.



Fig. 8.6.3: La aparición de daños ASR se puede evaluar muy bien en la superficie de hormigón de secado de este pilar de puente. El daño puede aparecer al cabo de años o solo después de décadas.

Las medidas son:

- Reemplazo parcial del cemento Portland por escoria u otras adiciones (Humo de sílice/ ceniza volante) con bajo equivalente Na_2O
- Análisis del potencial AAR/ASR del árido y su clasificación (análisis petrográficos/ prueba de microbar/ pruebas de rendimiento, etc.)
- Reemplazo o sustitución parcial de los áridos críticos (mezcla de otros áridos disponibles)
- Mantener el acceso de la humedad al hormigón bajo o evitarlo (sellar/ desviar)
- Diseño de refuerzo para una buena distribución de fisuras en el hormigón (es decir, fisuras muy pequeñas solamente) Diseño de hormigón con una muy baja permeabilidad para minimizar la penetración de humedad.



Fig. 8.6.4: El daño a menudo sólo es visible después de décadas. Por lo tanto, es necesaria una aclaración precisa del riesgo para estimar de forma fiable el potencial de los áridos de los daños ASR

Consejos de diseño de mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de Fórmula
Áridos	El potencial ASR de los áridos debe determinarse previamente	Todos los tamaños de áridos son posibles
Cemento	Preferiblemente cementos con escoria de alto horno granulada o contenido de cenizas volantes	Volumen de pasta de cemento objetivo lo más bajo posible para el método de colocación respectivo.
Adiciones	Humo de sílice, cenizas volantes o escoria granulada del alto horno	SikaFume® 3% – 6%
Contenido de agua	Agua de mezcla limpia, libre de impurezas	Relación a/c de acuerdo a la especificación requerida de exposición < 0,48
Aditivos	Superplastificante Tipo dependiente de la colocación y los requisitos de resistencia temprana Aditivos especiales que limitan el ASR	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament® 0,60 – 1,20% SikaControl® ASR 2 – 10 kg/m³
Requisitos de puesta en obra y curado	Agente de curado El curado que comienza lo antes posible y se mantiene durante un período de tiempo suficiente tiene una influencia significativa en la retracción plástica y de secado	Colocación y compactación cuidadosas. Curado posterior para garantizar la alta calidad de las superficies Sika® Antisol®
Sistema de protección/ Sistema de curado especial	Además de los alcalinos libres y los áridos reactivos, el hormigón debe contener humedad para que se produzca el ASR. Si una estructura está expuesta al agua, la superficie de hormigón debe protegerse	Sika ofrece una amplia gama de soluciones rígidas y flexibles para evitar la penetración de agua. Solución Sika: Sikagard®, SikaPlan®

Productos Sika

Producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Reducción sustancial del agua Mejora de la colocación (capacidad de trabajo y compactación
SikaFume®	Humo de sílice	Menor permeabilidad
SikaControl® ASR	Aditivo para controlar la reacción álcali-sílice en el hormigón.	Minimiza las expansiones perjudiciales en el hormigón debido a ASR
Sika® Antisol®	Agente de curado	Protección contra el secado prematuro

8.7 HORMIGÓN RESISTENTE A LA ABRASIÓN

Los impresionantes cañones y valles son el testimonio de la naturaleza y de la innegable fuerza del agua. En obras hidráulicas y en zonas de tráfico con altas cargas, las superficies de hormigón experimentan fuerzas abrasivas considerables y a veces extremas. Los mecanismos de daño dependen principalmente del tipo de abrasión. Si la superficie está expuesta a ondulaciones, roces, y diferentes posibles patrones de daño hay que tomar medidas preventivas para aumentar la durabilidad.



Fig. 8.7.1: Especialmente en aguas bravas, las superficies de hormigón son sujetas a tensiones adicionales masivas por escombros, bordes afilados y abrasión, así como posibles tensiones de temperatura debido a la exposición a las heladas.

A lo largo de décadas e incluso siglos, la exposición a la abrasión puede producir las experiencias más variadas con patrones de daño. Sobre todo, debe tenerse en cuenta la diferencia entre las cargas rodantes en el tráfico por carretera, el tráfico pesado, incluidas las ruedas de acero o la exposición al agua, con el transporte adicional de sedimentos. En las zonas de tráfico, la intensidad, el peso y el tipo de ruedas son decisivos para la carga total. En el caso de la abrasión por agua, es la velocidad del flujo, la cantidad y el tipo de sedimento que son cruciales.

Con el fin de aumentar la resistencia a la abrasión del hormigón, en la mayoría de los casos el empleo de superficies duras es el mejor enfoque. Sin embargo, si la exposición implica vibración o impacto dinámico, luego, además, la capacidad de adsorción de la superficie juega un papel importante. El principio más crítico es el concepto de un experto en la puesta en obra del hormigón evitando el aumento de finos en la superficie debido a la vibración excesiva, y un excelente curado. Las propiedades adecuadas del hormigón pueden emerger sobre todo en áreas cercanas a la superficie. Además, la superficie debe ofrecer la menor resistencia posible a los ataques abrasivos. Las superficies diseñadas más niveladas posiblemente proporcionan el menor potencial para ataque.
La determinación de los patrones de daño es sencilla y se lleva a cabo evaluando la abrasión de la superficie, el estado de la capa de cemento y de los áridos cerca de la superficie.

El hormigón con resistencia mejorada o alta a la abrasión debe demostrar una resistencia a la compresión objetivo de aproximadamente 50 MPa. La superficie se puede mejorar considerablemente contra la abrasión de molienda mediante el uso de micro sílice y/o endurecedor superficial. Con el fin de aumentar la resistencia contra el impacto percusivo o constante, se debe mejorar la dureza y la resistencia a la flexión del hormigón. Esto se puede lograr con el uso de refuerzos de fibra en la mezcla. Mejorar la capacidad de trabajo general del hormigón se puede lograr mediante la mezcla en polímeros sintéticos para fortalecer la pasta de cemento endurecido, que además mejora la adhesión con áridos. Por último, debe haber una diferenciación adicional entre las distancias de transporte y las áreas que se construyen para facilitar la disipación de energía. En estas áreas, se recomienda el uso de hormigón reforzado con fibra de acero de alta resistencia con una resistencia superior a 80 MPa y la resistencia a la flexión correspondiente.

En la construcción se debe prestar especial atención al diseño de los bordes. Ya sea que estén sujetos a tensiones adicionales masivas por escombros, bordes afilados y abrasión, así como posibles tensiones de temperatura debido a la exposición a las heladas.

En la construcción hay que prestar especial atención al diseño de las juntas. Tanto si se trata de juntas de dilatación en calzadas o de bordes de rotura en construcciones hidráulicas, normalmente deben tratarse de forma especial; la construcción en hormigón por sí sola suele ser insuficiente. Hay que incorporar perfiles de junta especiales, a menudo de acero.





Fig. 8.7.2: Las carreteras de hormigón y otras áreas de acceso público, especialmente aquellas que experimentan grandes volúmenes de tráfico o cargas concentradas, están sujetas a altas cargas mecánicas y fuerte abrasión, a menudo resultando en el riesgo de una superficie lisa y resbaladiza.



Fig. 8.7.3: Las superficies de soleras industriales también experimentan una fuerte abrasión debido a la rodadura constante y las cargas dinámicas en los mismos lugares. Los recubrimientos y endurecedores especiales pueden mejorar el agarre y minimizar el desgaste.

Condiciones para una mejor resistencia a la abrasión

La resistencia a la abrasión del cemento hidratado es menor que la del árido, particularmente con una matriz de cemento poroso (alto contenido de agua). Sin embargo, a medida que disminuye la relación a/c, la porosidad del cemento hidratado disminuye y la unión con el árido mejora.

Curado

- Con Sika® Antisol® (retirar mecánicamente después, i.e. por cepillado de alambre o limpieza si va a tener un recubrimiento), proteja la capa de curado preferiblemente varios días.



Fig. 8.7.4: Debido a la exposición continua, la película de cemento se erosiona en un paso inicial, y a partir de entonces los áridos pueden ser desgastados, golpeados o lavados de la pasta de cemento endurecido.

Consejos en el diseño de mezcla del hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de Fórmula
Áridos	Los áridos empleados deben ser lo más duros posible	Todos los tamaños de áridos son posibles
Cemento	Cualquier cemento que cumpla con las normas locales	Volumen de pasta de cemento objetivo lo más bajo posible para el método de colocación respectivo
Adiciones	Humo de sílice para una mayor compactación	SikaFume® máx. 8%
Contenido de agua	Agua de mezcla limpia, libre de impurezas	Relación a/c de acuerdo con las normas con respecto a la clase de exposición < 0,45
Aditivos para Hormigón	Superplastificante Tipo dependiente de la colocación y los requisitos de resistencia temprana PP Fibras (micro) PP Fibras (macro) Fibra metálica	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament® 0,60 – 1,20% SikaFiber® Micro PP 0,6 – 1,0 kg/m³ Macro PP 3 – 6 kg/m³ Acero 10 – 30 kg/m³
Requisitos de colocación y curado	Agente de curado El curado que comienza lo antes posible y se mantiene durante un período de tiempo suficiente tiene una influencia significativa en la retracción del plástico y el secado	Colocación y compactación cuidadosa. Curado posterior para garantizar una alta calidad de superficies. Sika® Antisol®
Recubrimiento superficial	Material de dispersión para endurecimiento superficial. Recubrimiento protector	Sikafloor® 0,3 – 9 mm

Productos Sika

Producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Reducción sustancial del agua Mejora en la colocación (capacidad de trabajo y compactación)
SikaFume®	Humo de Sílice	Menor permeabilidad
SikaFiber®	Fibras metálicas Fibras de PP (micro and macro)	Aumento de la resistencia al impacto y a la abrasión Reducir las características de retracción
Sika® Antisol®	Agente de curado	Protección contra el secado prematuro

8.8 HORMIGÓN RESISTENTE A ATAQUE QUÍMICO

El agua es la fuente de toda la vida, así como un bien escaso. Por lo tanto, el agua potable limpia debe estar protegida contra la contaminación, mientras que las aguas residuales deben tratarse antes del sistema de descarga. Las aguas residuales en sí, así como las medidas de tratamiento adoptadas representan una exposición a productos químicos para superficies de hormigón.
A través de una planificación sensata y conceptos de diseño de hormigón adecuados, las superficies se pueden diseñar para ofrecer durabilidad. La resistencia del hormigón al ataque químico es, sin embargo, limitada, por lo que los sistemas de protección de la superficie deben ser considerados en caso de exposición severa.



Fig. 8.8.1: Se observa una fuerte degradación y daños en el hormigón estructural, especialmente en la zona de salpicaduras de agua de las cuencas de tratamiento biológico

La resistencia química en este caso significa resistencia a la corrosión y la erosión del hormigón. Junto con los tipos conocidos de ataque de descascarillado como las heladas (con y sin agentes de deshielo), ASR (reacción álcali-sílice), la exposición al sulfato y la abrasión mecánica de la superficie, en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, en particular, también es frecuente la agresión química. El agua tratada en tales instalaciones varía demasiado para describir el ataque a las superficies de hormigón como uniforme. Decisivo además de la calidad general del agua es también su dureza. (°fh or °dH). Por un lado, la superficie del hormigón es atacada por un cóctel de químicos, mientras que por otro el estrés mecánico (por ejemplo, limpieza a alta presión) también se produce en la superficie. De este modo, se eliminan los finos que ya se han disuelto, pero se mantienen adheridos dentro de la estructura de hormigón.
Todo este proceso se acelera adicionalmente por el agua ablandada (dureza < 15 o 8,4 dH) y la reducción del valor de pH en la superficie del hormigón (por ejemplo, en biopelícula). El diseño de hormigón, el curado y la limpieza de la superficie debe adaptarse a la exposición respectiva. Mientras que para la resistencia a la limpieza mecánica una superficie de hormigón dura y compacta se considera óptima, la limpieza química es mejor tolerada por el hormigón con un alto contenido de calcita. La resistencia química del hormigón es limitada. Si se superan los límites de exposición, las superficies de hormigón sólo pueden protegerse de forma duradera con los recubrimientos adecuados



Fig. 8.8.2: La resistencia del hormigón al ataque químico es limitada, los recubrimientos protectores se utilizan a menudo para la protección externa. Los recubrimientos protectores a base de resina epoxi se aplican sobre toda la superficie tras el reperfilado de la superficie de hormigón con mortero de reparación resistente a sulfatos mejorado con material sintético

Consejos en el diseño de mezcla del hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de Fórmula
Áridos	Los áridos empleados deben ser de alta calidad y resistentes y a hielo/ deshielo	Todos los tamaños de áridos son posibles.
Cemento	Cementos resistentes al sulfato Cementos con alta proporción de carbonato de calcio; cementos que contienen humo de sílice	Volumen de pasta de cemento objetivo lo más bajo posible para el método de colocación respectivo
Adiciones	Humo de sílice, cenizas volantes o escoria granulada del alto horno	SikaFume® 3 – 6%
Contenido de Agua	Agua de mezcla limpia, libre de finos	Relación a/c de acuerdo con las normas con respecto a la clase de exposición < 0,45
Aditivos para hormigón	Superplastificante, dependiendo del tipo de colocación o requerimiento de resistencia a edades tempranas	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament® 0,80 – 1,60%
Requisitos de puesta en obra y curado	Agente de curado El curado que comience lo antes posible y se mantenga durante un período de tiempo suficiente tiene una influencia significativa en la retracción plástica y el secado.	Colocación y compactación cuidadosa. Curado posterior para garantizar una alta calidad de superficies Sika® Antisol®
Recubrimiento Superficial	La resistencia química del hormigón es altamente limitada. Si los límites de exposición se sobrepasan, las superficies del hormigón deben ser protegidas con revestimientos	Sika ofrece una amplia gama de soluciones para evitar la penetración de productos químicos. Solución Sika: Sikagard®, Sikafloor® y Sikalastic®

Productos Sika

Producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament® Plastiment®	Superplastificante	Mejora la consistencia
SikaFume®	Humo de sílice	Menor permeabilidad
Sika® Separol®	Agente de liberación de formaleta	Mejor desencofrado y limpieza
SikaControl® PerFin	Mejorador de superficie de hormigón	Mejora las superficies de hormigón acabados mediante la reducción de poros.
Sika® Antisol®	Agente de curado	Protección contra el secado prematuro

8.9 HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA

Los hormigones de alta resistencia y ultra alto rendimiento no son sólo tecnologías de vanguardia para la investigación científica, sino que también continúan encontrando nuevas aplicaciones en prácticas. Ya sea en los elementos esbeltos de construcciones (e.g. diseño) o inestabilidad dimensional en condiciones extremas (por ejemplo, tensiones sísmicas), propiedades materiales altas y más altas (resistencia a la flexión y a las compresiones, elasticidad y ductilidad) están encontrando entrada en la tecnología del hormigón. La durabilidad y la alta resistencia del hormigón son, por lo tanto, interdependientes.



Fig. 8.9.1: El hormigón de alta resistencia y sobre todo de ultra alto rendimiento (UHPC) suele reforzarse con fibra. Dependiendo de los requisitos, las fibras sintéticas y/o de acero se emplean en gran cantidad

Hormigón de Alta Resistencia

Los hormigones con alta resistencia a la compresión (> 60 MPa) después de 28 días se clasifican en el grupo de hormigones de alto rendimeinto y se utilizan en muchas estructuras diferentes debido a sus características técnicas versátiles. A menudo se utilizan en la construcción de columnas de rodamientos de alta carga y para muchos productos en plantas prefabricadas. El hormigón de alta resistencia es adecuado para su aplicación en edificios de gran altura, especialmente en áreas sísmicas. Además, las construcciones de puentes pretensados requieren una alta resistencia a la compresión, lo que conduce a tramos más anchos y dimensiones de puente esbeltas. Además, las características mecánicas sobresalientes del hormigón de alta resistencia se utilizan en estructuras expuestas a alta carga mecánica y química como soleras industriales, áreas de tráfico, estructuras offshore, plantas de tratamiento de aguas residuales y estructuras de ingeniería como plantas hidroeléctricas o torres de refrigeración.

El hormigón de alta resistencia se caracteriza por lo siguiente:

- Resistencia a la compresión en 28 días de 60 a 120 MPa
- Aumento de resistencia a la tracción y a la flexión
- Matriz conglomerante de baja permeabilidad que conduce a una alta durabilidad
- Reducción de la fluencia y mayor resistencia a los contaminantes

Un mayor contenido general del conglomerante no conduce necesariamente a una mayor resistencia al hormigón, ya que la relación a/c representa el factor impulsor de la resistencia final. La trabajabilidad del hormigón fresco determina el contenido mínimo de cemento y la combinación óptima del conglomerante.

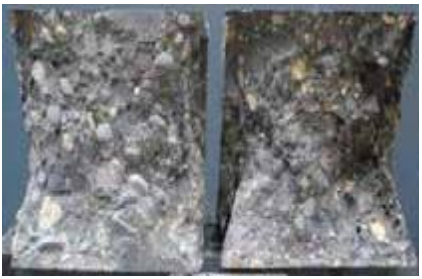


Fig. 8.9.2: Las diferencias en la calidad de los áridos y la relación a/c determinan si se producen fracturas en los áridos o en la pasta cementosa en el punto de carga máxima. La imagen muestra una reducción de la relación a/c de 0,32 (izquierda) a 0,28 (derecha)

Además, hay que prestar atención a la selección de áridos. Los áridos de alta calidad que están limpios y libres de fisuras en el interior son obligatorios. Además, la curva granulométrica de áridos se puede diseñar con respecto al hormigón de alta resistencia con las siguientes medidas:

- Reducción del contenido total de arena
- Reducción de la cantidad de fracción de 2 a 4 mm
- Reducción de los finos por áridos inferiores a 0,125 mm
- Aumento de la cantidad de fracción 0,25 a 1 mm

Tenga en cuenta que:

- El hormigón de alta resistencia es siempre bastante impermeable.
- El curado de hormigón de alta resistencia es aún más importante de lo habitual (suministro limitado de humedad desde el interior del hormigón)
- El hormigón de alta resistencia también es frágil debido a su resistencia y aumento de la rigidez (impacto en la propiedad de esfuerzo cortante)
- Aparte de cemento Portland, el hormigón de alta resistencia utiliza grandes cantidades de adiciones puzolánicas o materiales de hidráulica latente, que tienen excelentes propiedades de desarrollo de resistencia a largo plazo.



Ejemplo de diseños de mezcla e influencia del contenido de cemento y conglomerantes
La siguiente tabla muestra tres diseños de mezcla de hormigón diferentes, todos hormigón de alta resistencia. Se puede derivar, que el contenido total del conglomerante no tiene ninguna influencia en la resistencia de compresión final. El factor determinante es la relación a/c. Pero hay que señalar que las mezclas con contenido de agua por debajo de 120 L/ m³ se enfrentan a problemas de viabilidad. Por lo tanto, el contenido mínimo de conglomerante es necesario para garantizar el contenido de agua mínimo en el hormigón. Una característica mecánica importante, el Módulo-E, se puede aumentar reduciendo el contenido del conglomerante al mínimo.

Total Conglomerante	600 kg/m³	500 kg/m³	400 kg/m³
CEM I 42.5 N	570 kg/m³	475 kg/m³	380 kg/m³
Humo de Sílice	30 kg/m³	25 kg/m³	20 kg/m³
Áridos (caliza siliceasilícea redonda 0 – 16 mm)	1.696 kg/m³	1.849 kg/m³	2.001 kg/m³
Relación a/c	0,25	0,25	0,25
Agua	150 kg/m³	125 kg/m³	100 kg/m³
Resistencia a los 7 días	87 MPa	85 MPa	88 MPa
Resistencia a los 28 días	93 MPa	98 MPa	96 MPa
E-Modulus	43.800 MPa	47.200 MPa	48.800 MPa

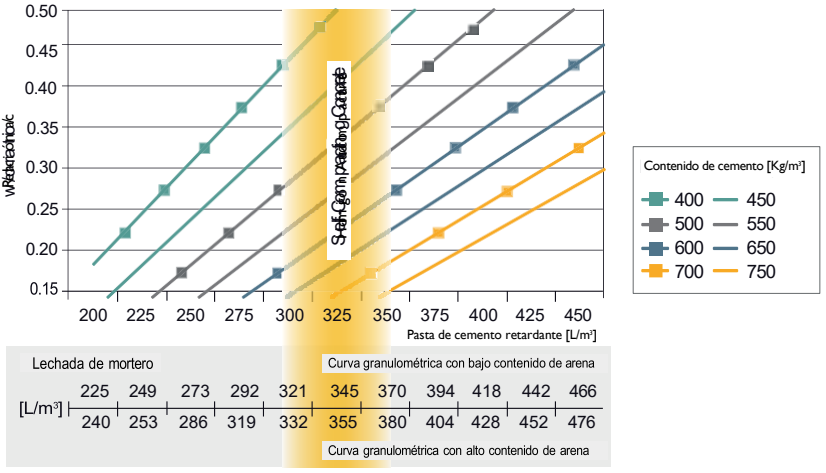


Fig. 8.9.3: De importancia central para lograr una alta resistencia mecánica es el de un concepto de finos y el volumen de pasta de cemento. La mayor densidad de empaque posible sólo se puede lograr de esta manera.



Fig. 8.9.4: Los componentes de construcción altamente tensionados, como pilares y vigas, están hechos de hormigón de alta resistencia. La alta resistencia a las influencias externas también hace que el hormigón de alta resistencia sea un recubrimiento protector ideal para los elementos de construcción expuestos.

Consejos en el diseño de mezcla del hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de Fórmula
Áridos	Hormigón de resistencia excepcional se puede lograr utilizando áridos de machaqueo de alta resistencia	Curva de granulometría bien distribuida con baja cantidad de finos
Cemento	Utilización de un mayor contenido de cemento y altas calidades	Volumen de pasta de cemento objetivo lo más bajo posible para el método de colocación respectivo
Adiciones	Aumento de pega entre los áridos y el humo de sílice de matriz de cemento	SikaFume® 5 – 10%
Contenido de Agua	Agua de mezcla limpia, libre de finos	Realación a/c de acuerdo con las normas con respecto a la clase de exposición < 0,38
Aditivos para Hormigón	Superplastificante Tipo acorde a la fluidez necesaria y al tiempo de manejabilidad. Fibra metálica	Sika® ViscoCrete® 1 – 4% SikaFiber® Acero 30 – 40 kg/m³
Requisitos de puesta en obra y curado	Agente de curado Curado completo que comienza lo antes posible y se extiende a dos días para elementos interiores o tres días para elementos exteriores, especialmente cuando se usa humo de sílice.	Cuidadosa colocación y compactación. Curado posterior para garantizar una alta calidad (compactación completa) de superficies Sika® Antisol®

Productos Sika

Producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete®	Superplastificante	Para la máxima reducción del contenido de agua y por lo tanto, el fortalecimiento de la pasta de cemento.
SikaFume®	Humo de sílice	Para una mejor compactación y fortalecimiento de la pasta de cemento y para mejorar la pega entre áridos y pasta.
SikaFiber®	Fibra metálica	Aumento de la resistencia al impacto y a la abrasión
Sika® Antisol®	Agente de curado	Protección contra el secado prematuro

8.10 HORMIGÓN RESISTENTE A LA RETRACCIÓN

La prevención de fisuras contribuye a la durabilidad de las estructuras de hormigón, porque las fisuras promueven la entrada de agua y contaminantes. Los códigos de construcción actuales especifican límites para la abertura de las fisuras que dependen de las condiciones ambientales en las que se construye una estructura y su vida útil prevista.

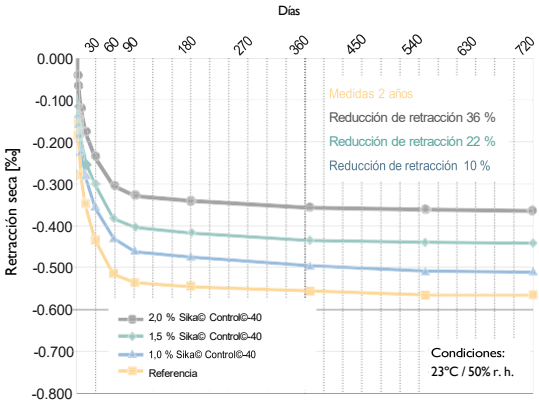


Fig. 8.10.1: Comportamiento de retracción del hormigón que contiene aditivos controladores de retracción, medido hasta 2 años para completar la reducción de la retracción debido al secado.

Tipos de retracción en el hormigón

Los tipos más importantes con el impacto más grave son la retracción química, retracción plástica, retracción de secado, retracción autógena y retracción de carbonatación. En el caso de la retracción química, los productos de hidratación acumulados durante el proceso de hidratación ocupan un volumen menor que el volumen total de materias primas individuales. Esto se traduce en una disminución de las dimensiones generales de los elementos, siempre y cuando el hormigón siga siendo trabajable.

La retracción plástica se presenta a través de una disminución en el volumen causada por la evaporación del agua, lo que conduce a una retracción del hormigón en todas las direcciones. La mayor parte de la retracción es en edades tempranas en el plano horizontal, principalmente donde la superficie tiene contacto con el aire. Este es uno de los tipos más comunes e importantes de retracción. Los factores que influyen son la humedad, la temperatura ambiente y el viento. Las condiciones de secado más severas aumentan el valor de retracción.

La retracción autógena es un cambio de volumen que se produce después del fraguado inicial del hormigón debido a la hidratación, ya que este proceso requiere agua y por lo tanto reduce la cantidad de agua libre interna.

La retracción de secado en hormigón endurecido suele ser causada por la evaporación del agua a través de los poros capilares existentes en la pasta de cemento hidratado. La pérdida de agua es un proceso progresivo que tiende a estabilizarse con el tiempo, dependiendo de las dimensiones del elemento estructural. Las posibles medidas incluyen una reducción del volumen de pasta de cemento y la utilización de aditivos controladores de retracción.



Fig. 8.10.2: La cubrición inmediata o el curado de superficies de hormigón expuestas a los elementos es el paso más crucial para la protección de dichas superficies

Consejos en el diseño de mezcla del hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de Fórmula	
Áridos	Alto volumen de áridos reduce la retracción por secado	Buena distribución de curva granulométrica de áridos con bajo contenido de finos.	
Cemento	La retracción de secado se puede reducir el volumen de pasta de cemento y/ o la utilización de adiciones al cemento.	Volumen de pasta de cemento objetivo lo más bajo posible para el método de colocación respectivo	
Contenido de Agua	Bajo contenido de agua es favorable para reducir la retracción plástica y la retracción por secado En relaciones a/c inferiores a 0,4 la retracción autógena puede ocurrir.	Relación a/c de acuerdo con las normas con respecto a la clase de exposición	< 0,45
Aditivos para hormigón	Superplastificante Tipo dependiente de la colocación y los requisitos de resistencia temprana	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®	0,80 – 1,50%
	Agente controlador de retracción	SikaControl® SRA	0,5 – 1,5%
	Las fibras cortas de polipropileno pueden reducir los efectos de la retracción plástica	SikaFiber®	0,6 – 1,0 kg/m³
	Fibras estructurales para asegurar una distribución uniforme de la fisuración	SikaFiber® Acero Macro PP	 20 – 40 kg/m³ 4 – 6 kg/m³
Requisitos de puesta en obra y curado	Agente de curado Comience el curado lo antes posible y se mantiene durante un período de tiempo suficiente tiene una influencia significativa en la retracción plástica y el secado	Cuidadosa colocación y compactación. Curado posterior para garantizar una alta calidad (compactación completa) de superficies Sika® Antisol®	

Productos Sika

Producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Reducción sustancial del agua Mejora en la colocación (capacidad de trabajo y compactación)
SikaControl® SRA	Agente controlador de retracción	Reducción de la retracción
SikaFiber®	Fibras de polipropileno Fibras metálicas	Reducción de los efectos de la retracción plástica. Distribución uniforme de fisuras
Sika® Antisol®	Agente de curado	Protección contra el secado prematuro

8.11 HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS

La resistencia a la tracción y la ductilidad del hormigón se pueden aumentar con la adición de fibras hechas de diversos materiales y diferentes geometrías. Sobre la idea de distribuir el refuerzo a través del hormigón, el hormigón reforzado con fibra se desarrolló añadiendo las fibras directamente durante el proceso de mezclado. Aparte de las conocidas fibras metálicas, en estos días, fibras de plástico y otro tipo de fibras (mezcla de diferentes fibras) pueden usarse para otras aplicaciones.



Fig. 8.11.1: Las fibras para su uso en hormigón se producen a partir de diferentes materiales y calidades de estos materiales, además de que pueden tener diferentes dimensiones geométricas y forma, de acuerdo con el rendimiento requerido del hormigón fresco o endurecido.

La elección del tipo de fibra y la geometría de la fibra depende principalmente del campo de aplicación. Por lo tanto, la geometría, la calidad y las propiedades físicas de las fibras se ajustan a cada aplicación.
Muchas propiedades diferentes del hormigón fresco y endurecido se pueden influir eficazmente mediante la adición de fibras. Hay innumerables tipos diferentes de fibras con diferentes características y formas de material. La selección correcta para diferentes usos es importante. Además del material real, la forma de las fibras también es un factor crítico. La mejora de la protección contra el fuego es una aplicación en la que las micro fibras de polipropileno (PP) se utilizan con éxito. Otro ejemplo donde se pueden utilizar micro fibras de PP es para mejorar la resistencia a las fisuras de edad temprana en el hormigón, donde las macrofibras de acero se utilizan principalmente para mejorar la resistencia y absorción de energía del hormigón endurecido. Las macrofibras pueden sustituir partes del refuerzo de acero ordinario.

El hormigón reforzado con fibra se utiliza para:
- Soleras Industriales
- Hormigón Proyectado
- Elementos esbeltos (normalmente en plantas de prefabricado)
- Resistencia a altas temperaturas
- Aplicaciones de morteros (rehabilitación)

Tabla 8.11.1: Principales gamas globales

Nombre de la Gama	Tipo de Producto
SikaFiber®	Para macro, micro polipropileno y fibras metálicas

Otras gamas también disponibles:
Enduro®
Fibermesh®
Fibercast®
Novocon®
Novomesh®

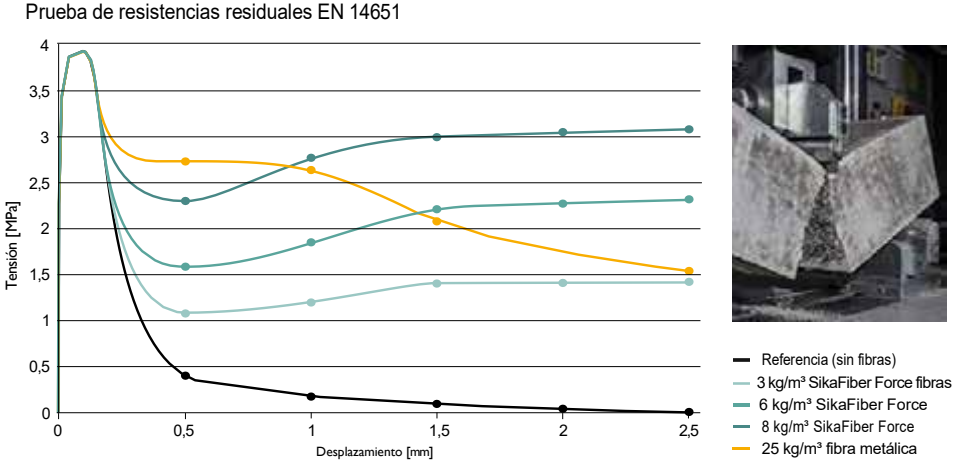


Fig. 8.11.2: El diagrama de resistencia a flexotracción muestra la influencia de diferentes tipos de fibra en las propiedades del hormigón, como una mejor resistencia a la tracción y un comportamiento de fisuración posterior bien controlado.

Producción de hormigón

Las recomendaciones del fabricante de fibras deben seguirse al producir hormigones reforzados con fibra. Añadir la fibra en el momento equivocado o mezclar incorrectamente puede causar grandes problemas e incluso hacer que las fibras sean ineficaces.

- Cumplir con el tiempo y el método de adición del fabricante (es decir, en la planta de hormigón o en el camión listo para mezclar)
- Cumplir con los tiempos de mezcla (balling/ distribución de fibras)
- No exceda el contenido máximo de fibra recomendado (reducción considerable de la capacidad de trabajo)
- Las fibras generalmente aumentan el requisito de agua de la mezcla (compensar esto con un superplastificante)

Tabla 8.11.2: ¿En qué estado de endurecimiento del hormigón funcionan mejor las fibras?

Hormigón fresco/ mortero	La homogeneidad, especialmente con morteros, puede mejorarse con la adición de microfibras
Hasta las 10 horas	La fisuración a edad temprana, formado por la retracción plástica, se puede reducir con microfibras
1–2 días	Fisuras inducidas por tensiones de restricción o tensiones de temperaturas pueden reducirse mediante el uso de micro y macrofibras
A partir de 28 días	Las tensiones procedentes de cargas externas pueden transmitirse a macro y fibras de acero y la resistencia de descascamiento puede reducirse con el uso de microfibras de PP un punto de derretimiento de 160°C

Tabla 8.11.3: Parámetros de diferentes tipos de fibra

Tipo de fibra	Características	Observaciones
Fibras Metálicas	Densidad: ~7.800 kg/m³ Resistencia tracción: 400 – 1.500 N/mm² Módulo-E: ~200.000 N/mm²	El acero es el tipo de fibra más utilizado. Esto se debe a su disponibilidad, buenas propiedades mecánicas y durabilidad.
Fibras de Polipropileno	Densidad: ~900 kg/m³ Resistencia tracción: 600 – 700 N/mm² Módulo-E: 5.000 – 15.000 N/mm²	El polipropileno proporciona muy buena resistencia alcalina y una mejora continua del módulo E en un amplio espectro de usos.
Fibras de alcohol polivinílico	Densidad: ~900 kg/m³ Resistencia tracción: 600 – 700 N/mm² Módulo-Es: 10.000 – 64.000 N/mm²	Los procesos de fabricación especiales permiten la producción de fibras PVA de alto módulo.
Fibras vegetales	Densidad: ~1.500 kg/m³ Resistencia tracción: 0 – 1.000 N/mm² Módulo-E: 5.000 – 40.000 N/mm²	Grandes recursos naturales pero amplias variaciones en las características, lo que presenta dificultades de diseño.
Fibras de vidrio	Densidad: ~2.700 kg/m³ Resistencia tracción: 2.500 N/mm² Módulo-E: ~80.000 N/mm²	Debido a las continuas mejoras en la resistencia alcalina (durabilidad), las aplicaciones para las fibras de vidrio se están extendiendo mucho.
Fibras de carbono	Densidad: ~1.700 kg/m³ Resistencia tracción: 450 – 4.000 N/mm² Módulo-E: up to 300.000 N/mm²	Muy buenas propiedades mecánicas y alta durabilidad, por un lado, pero altos costes por el otro.
Fibras de poliéster	Densidad: ~900 kg/m³ Resistencia tracción: 600 – 700 N/mm² Módulo-E: 5.000 – 10.000 N/mm²	Fueron desarrollados para la industria textil, pero también se pueden encontrar en la industria de materiales de construcción.
Fibras cerámicas	Densidad: ~2.500 – 3.000 kg/m³ Resistencia tracción: 1.700 – 3.400 N/mm² Módulo-E: 150.000 – 400.000 N/mm²	Se utilizan para aislantes de calor y retraso, pero también para cerámicas reforzadas con fibra. Alta resistencia y módulo E, pero friable.

Efectos de los hormigones reforzados con fibra:

- Mejora en la durabilidad de la estructura
- Mayor resistencia a la tensión y tracción
- Mayor resistencia a futuras fisuras
- Mejor distribución de fisuras
- Reducción de la retracción en el hormigón
- Mayor resistencia al fuego
- Influencia negativa en la trabajabilidad
- Mejora la homogeneidad en el hormigón fresco

Tabla 8.11.4 Se pueden utilizar diferentes tipos de fibra para diferentes tipos de aplicaciones. La siguiente tabla muestra dónde las fibras de acero, macro-PP, micro-PP y vidrio pueden influenciar

Aplicación/ Tipo de Fibra	Fibra metálica pequeña	Fibra metálica grande	Macro fibra 50 mm	Macro fibra 60 mm	Micro fibra monofilamento	Micro fibra fibrilado	Fibra de Vidrio
H. Proyectado	✓			✓			
Soleras apoyadas		✓	✓			✓	
Carreteras			✓				
Retracción inicial					✓		
Protección al Fuego					✓		
Soleras Pulidas						✓	✓
Morteros					✓		✓

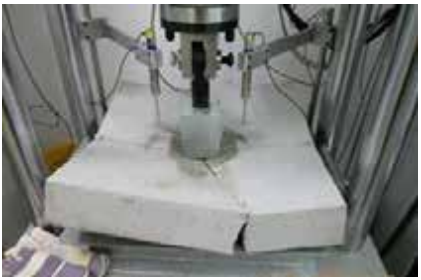


Fig. 8.11.3: Pruebas especiales para hormigón proyectado: Pruebas de absorción de energía de hormigón proyectado reforzado con fibra según EN 14488-5.

Consejos de diseño de mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de Fórmula
Áridos	Cualquier árido de buena calidad	Todos los tamaños de áridos son posibles
Cemento	Cualquier cemento que cumpla con las normas locales	Volumen de pasta de cemento objetivo de acuerdo con las recomendaciones de hormigón de bombeo > 320 kg/m³
Adiciones	Piedra caliza, cenizas volantes, humo de sílice o escoria de alto horno granulada molida	Contenido suficiente de finos mediante el ajuste del contenido del conglomerante Finos incluido cemento > 375 kg/m³
Contenido de Agua	Agua dulce y agua de reciclaje sin requisitos con respecto al contenido de finos	Relación a/c de acuerdo con las normas con respecto a la clase de exposición < 0,48
Aditivos para Hormigón	Superplastificante Tipo dependiente de la colocación y los requisitos de resistencia temprana Fibras metálicas Macrofibras estructurales Microfibras de polipropileno	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament® 0,80 – 1,60% SikaFiber® Acero 20 – 60 kg/m³ Macro PP 4 – 8 kg/m³ Micro PP 0,6 – 1,0 kg/m³
Requisitos de puesta en obra y curado	Agente de curado Comience el curado lo antes posible y se mantiene durante un período de tiempo suficiente tiene una influencia significativa en la retracción plástica y del secado	Cuidadosa colocación y compactación. Curado posterior para garantizar una alta calidad (compactación completa) de superficies Sika® Antisol®

Productos Sika

Producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Debido a la considerable reducción del agua, hay menos exceso de agua en el hormigón
SikaFiber®	Micro fibras del polipropileno	Para aumentar fuertemente la resistencia al fuego de material cementante
	Macro fibras estructurales	Aumentar las propiedades mecánicas del hormigón aumentando la resistencia al impacto y la resistencia a la flexión
	Fibras Metálicas	Aumentar las propiedades mecánicas del hormigón aumentando la resistencia al impacto y la resistencia a la flexión
Sika® Antisol®	Agente de curado	Protección contra el secado prematuro

8.12 HORMIGÓN VISTO

La arquitectura moderna es inimaginable sin la utilización de hormigón visto. Por décadas se dio prioridad a las propiedades únicas de capacidad de carga y a la inigualable relación coste/ beneficio como material estructural en la construcción. Únicamente en los últimos años, salió a la luz la increíble versatilidad de diseño cómo también la creación de muchos acabados diferentes.



Fig. 8.12.1: Debido al desarrollo del HAC (hormigón autocompactante), el potencial de diseño y construcción es ahora casi ilimitado, sumado a las nuevas tecnologías de encofrados especiales y a la incorporación de aditivos para hormigón específicos, se pueden conseguir acabados de alta calidad, incluso en las zonas más difíciles.

Hormigón con altos requisitos estéticos

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

- Seleccionar una mezcla de hormigón adecuada
- Especificar el material y el tipo de encofrado (¡el encofrado debe ser absolutamente impermeable!)
- Utilizar la dosificación de un desencofrante adecuado
- Seleccionar un método de colocación adecuado
- Usar revestimientos de encofrado si es necesario
- Colorear usando pigmentos
- Colocar correctamente el hormigón (compactación, colocación, etc.)
- Curado completo

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

Árido/ cemento/ agua

- Utilizar un contenido mínimo de finos y una curva granulométrica equilibrada como se usa para el hormigón bombeado.
- Cemento generalmente > 300 kg/ m³.
- Tener en cuenta el efecto del cemento sobre el color de la superficie expuesta.
- El contenido de agua en un hormigón visto requiere mucho cuidado y consistencia (evitar fluctuaciones) y prevenir la exudación.
- Con el fin de mejorar el aspecto de la superficie evitando la migración de contaminantes (que se encuentra en las cenizas volantes y las arenas manufacturadas) que se acumulan en la superficie y para proporcionar una dispersión uniforme y la estabilidad del pigmento de color en toda la matriz de hormigón, hacer uso de SikaControl® SI.



Fig. 8.12.2: Con una amplia variedad de encofrados y tratamientos disponibles, se puede crear casi cualquier acabado de hormigón, incluidos liso espejo tablero de madera liso u otros patrones, por ejemplo, árido expuesto, etc.

Colocación y curado

- Colocar el hormigón en capas uniformes de 300 a 500 mm. Cada capa debe vibrarse penetrando la capa anterior (marcar el vibrador).
- Utilice un tamaño adecuado de vibrador (ejemplo: espesor de pared hasta 20 cm - Ø de póker ≤ 40 mm).
- El hormigón debe tener una consistencia de colocación de plástica a suave.
- Especificar un curado completo y tener en cuenta las condiciones climáticas.

Precauciones

- Se puede producir un retraso considerable con el encofrado de madera nuevo sin tratar debido a la presencia de "azúcar" de la madera en la superficie que provoca decoloración y formación de polvo.
- Si el hormigón se encuentra demasiado “húmedo” cuando se coloca, pueden aparecer poros debido al agua con una capa de lechada de cemento delgada o inexistente (coqueras).
- La vibración inadecuada del hormigón puede resultar en poros con una gruesa y dura capa de lechada de cemento (nidos de grava).
- La aplicación excesiva de agentes desencofrante impide que las burbujas de aire (creadas por la vibración) escapen a la superficie.

Productos Sika

Nombre del Producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Mayor resistencia e impermeabilidad Reducción sustancial de agua Reducción de la red capilar
Sika® Separol®	Agente desmoldeante	Facilita el desmolde y limpieza
Sika® Rugasol®	Retardante superficial	Producción de hormigón con superficies de árido expuesto
SikaControl® PerFin	Mejorador de superficies de hormigón	Mejora el acabado superficial del hormigón mediante la reducción de poros y huecos
SikaColor®	Colorante de hormigón (líquido o polvo)	Crea un hormigón de color uniforme e intenso
Sika® Antisol®	Agente de curado	Protección contra el secado prematuro
SikaControl® SI	Mejorador de superficies	Mejora la apariencia de la superficie evitando la migración de contaminantes (carbón quemado) y su acumulación en la superficie

8.13 HORMIGÓN COLOREADO

La fabricación y proceso de hormigón coloreado no es solo una tendencia, sino también una forma sostenible y atractiva de diseñar estructuras de hormigón o componentes de construcción. Junto a la forma y la superficie de la estructura, el color es un elemento central de diseño para el hormigón como material de construcción. Por tanto, el efecto debe reflejar los deseos del propietario del edificio y del arquitecto, siendo lo más uniforme posible en todos los componentes del edificio.



Fig. 8.13.1: El hormigón, tradicionalmente un sólido, confiable y duradero material de construcción, puede elevarse a nuevos niveles de rendimiento arquitectónico.

El hormigón coloreado se produce añadiendo pigmentos de óxido metálico (principalmente óxido de hierro). Los pigmentos se encuentran en forma de polvo, granulado fino y bajo en polvo o en suspensión líquida.
La dosificación es normalmente de 0,5 a 5,0% del peso del cemento. Dosificaciones más altas no mejoran la intensidad del color, sino que pueden afectar negativamente a la calidad del hormigón.

Los colores primarios típicos son:
- Óxido de hierro sintético amarillo y rojo
- Óxido de hierro sintético negro (nota: el carbón negro puede afectar negativamente la creación de aire ocluido)
- Blanco (dióxido de titanio; abrillantador general)

A partir de los principales colores primarios, se podría crear una amplia gama de colores de hormigón y casi no hay límites de creatividad. Además, se encuentran disponibles colores especiales.

La coloración se puede realzar o estructurar:
- Mediante el uso de áridos de color claro o mediante el uso de cemento blanco
- Mediante el uso de formas especiales (encofrados)

Los principales factores para el éxito de la construcción y los acabados de hormigón coloreado incluyen:
- Ensayos preliminares y acabados acordados, con resultados visibles para todas las partes.
- Un flujo de trabajo constante a lo largo de la colocación del hormigón desde el diseño de la mezcla, ensayos, producción, transporte, encofrado, colocación, curado y protección de las superficies de hormigón.
- Los parámetros deben mantenerse de acuerdo con las pruebas preliminares.
- El contenido de agua constante en la mezcla de hormigón es una de las variables más importantes.



Fig. 8.13.2: El hormigón coloreado exige mucho más que añadir los pigmentos. Desde la planificación hasta la instalación, decisiones fundamentales debe realizarse para que la aplicación sea exitosa y la mayoría de los diversos pasos de producción deben comprobarse y ejecutarse con pericia.
La imagen muestra un dispensador de color granular Sika Scofield® en una planta hormigonera.

La importancia de la influencia del encofrado en el aspecto estético del revestimiento de color del hormigón debe discutirse con el propietario del proyecto antes de la aplicación del elemento de prueba:

- Material del encofrado (acero, madera, plástico, etc)
- Estructura de la superficie (lisa o rugosa)
- Estanqueidad y limpieza del encofrado (especialmente juntas, encofrados nuevos o usados)
- Robustez de la construcción del encofrado
- Agente desencofrante (tipo, espesor de aplicación y consistencia)
- Colocación y compactación de hormigón en el encofrado
- Curado

Cuando se utilizan pigmentos líquidos:

- Dosificación más rápida y eficiente (mayores volúmenes)
- Limpio y fácil de usar
- Tiempos de almacenamiento limitados
- Necesita protección contra heladas
- Tiempos de mezcla cortos

Cuando se utilizan pigmentos en polvo:

- Aplicaciones más pequeñas (volúmenes más bajos)
- No necesita protección contra las heladas
- Posibilidad de dosificación manual

Cuando se utilizan pigmentos granulares:

- Bajo polvo, limpio para usar
- No necesita protección contra las heladas
- Posibilidad de dosificación manual
- Se requieren tiempos de mezcla adecuados

Productos Sika

Nombre del Producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificantes	Mayor resistencia e impermeabilidad Reducción sustancial de agua Reducción de la red capilar
SikaColor® Liquid	Colorantes líquidos/ en polvo/ granulados	Pigmentos para la coloración integral de morteros y hormigón
Sika® Scofield® CHROMIX-It®	Sistemas de dosificación de color	Sistema de dosificación de pigmentos específicos para todo tipo de aplicaciones

8.14 HORMIGÓN SUMERGIDO

Como su nombre indica, el hormigón bajo agua se coloca debajo de la línea de agua, por ej. para:

- Puertos e instalaciones portuarias
- Muelles de puentes en ríos
- Estructuras de la industria del agua
- Sistemas de metro
- Pozos profundos en terreno inestable



Fig. 8.14.1: Cuando se utiliza hormigón bajo el agua, la colocación y las condiciones de trabajo son muy complejas, por lo cual los hormigones a menudo también necesitan un tiempo de trabajo prolongado.

Composición (Ejemplo 0 - 32 mm):

- Áridos
  - Utilizar un árido adecuado para mezclas bombeadas
  - Finos incluido cemento > 400 kg/m³
- Aditivos para cemento y polvo
  - Contenido mínimo de cemento 350 kg/m³
  - Se puede agregar piedra caliza al contenido de finos en el diseño de la mezcla
- Aditivos
  - Superplastificante para la reducción de agua libre en la mezcla
  - Estabilizador de mezcla para minimizar el efecto de lavado de finos y cemento (especialmente en condiciones de agua en movimiento)

Requisitos especiales

El método estándar es bombear una mezcla adecuadamente modificada a través de una bomba de hormigón estándar.

El extremo de la tubería de colocación de hormigón debe mantenerse lo suficientemente inmerso dentro del hormigón fresco.

Otro método para colocar hormigón bajo el agua con una pérdida mínima es el proceso tremie (Método del contratista). El hormigón se coloca directamente a través de un tubo de 20 a 40 cm de diámetro dentro y a través del hormigón ya instalado. El tubo se eleva continuamente, pero el extremo inferior debe permanecer siempre suficientemente sumergido en el hormigón para evitar que el agua ingrese en la tubería.

Otras consideraciones importantes:

- A medida que aumenta el caudal de agua, puede producirse más lixiviación, es posible diseñar el hormigón para minimizar el lavado a varios caudales de agua
- Evite diferencias de presión en la tubería (como diferencias de nivel de agua en pozos)

Hormigón especial sumergido

Las bolsas de piedra gruesa o "gaviones" instalados previamente se pueden rellenar más.

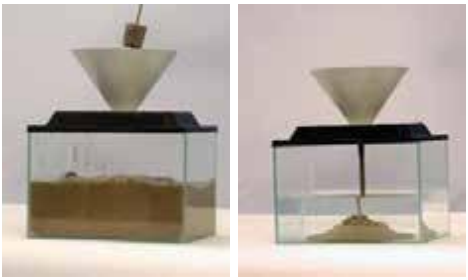


Fig. 8.14.2: Hormigón vertido bajo el agua sin (izquierda) y con Sika® Stabilizer UWC (derecha).

Consejos de diseño de mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Fórmula de Ejemplo	
Áridos	Cualquier árido de calidad aceptable para hormigón	Todos los tamaños de árido son posibles	
Cemento	Cualquier cemento que cumpla con los estándares locales	Volumen de pasta de cemento objetivo según recomendaciones de bombeo de hormigón	> 350 kg/m³
Adiciones en polvo	Piedra caliza, cenizas volantes o granulado molido de escoria de alto horno	Contenido de finos suficiente para ajuste del contenido de cemento	Finos incluido cemento > 400 kg/m³
Contenido de agua	Agua dulce y agua de reciclaje sin requisitos sobre el contenido de finos	Relación a/c según normas con respecto a clase de exposición	< 0,48
Aditivos para hormigón	Superplastificante Tipo dependiendo de los requisitos de colocación y resistencia temprana	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®	0,60 – 1,50%
	Estabilizador para agua estancada Estabilizador para agua en movimiento	Sika® Stabilizer Sika® Stabilizer UCS / UWC	0,20 – 2,00% 0,30 – 1,50%
Requisitos de puesta en obra y curado	Agente de curado Un curado que comienza lo antes posible y se mantiene durante un período suficiente de tiempo, tiene una influencia significativa en la retracción plástica y por secado	Instalación y compactación cuidadosa. Curado subsecuente para asegurar una alta calidad (compacidad) de las superficies Sika® Antisol®	

Productos Sika

Nombre del Producto	Tipo de Producto	Uso de producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Mayor resistencia e impermeabilidad Reducción sustancial de agua Reducción de la red capilar
Sika® Stabilizer VMA	Agente modificador de la viscosidad	Cohesión mejorada del hormigón
Sika® Stabilizer UCS/ UWC	Mejorador de la cohesión	Fuerte mejora de la cohesión para hormigón bajo agua
Sika® Stabilizer Pump	Mejorador de bombeo	Mejora la capacidad de bombeo y la cohesión
SikaTard®	Retardante de fraguado	Mayor trabajabilidad al retardar el tiempo de fraguado
SikaFume®	Humo de sílice	Permeabilidad reducida y densidad aumentada

8.15 HORMIGÓN LIGERO

El hormigón ligero es un hormigón de baja densidad, logrado utilizando áridos de menor densidad o mediante la creación de aire ocluido artificial para reducir el peso. El método utilizado depende principalmente de los materiales ligeros disponibles, la aplicación y las propiedades requeridas en el hormigón.



Fig. 8.15.1: Las resistencias a la compresión que se pueden obtener están siempre vinculadas a la densidad de los materiales. El nivel de esta correlación se puede alterar por la calidad de los áridos. Como es de esperar, si se genera el menor peso volumétrico mediante aire ocluido, el hormigón dará como resultado una resistencia muy baja. Las arcillas expandidas también pueden dar muy buen desarrollo de resistencia a bajas densidades, de aproximadamente 1500 kg/m³. Resultando en un peso volumétrico del hormigón inferior a 2000 kg/m³.

El hormigón ligero se utiliza para:
- Construcción ligera (techos, muros, tableros de puentes, losas)
- Hormigones de nivelación
- Hormigones de relleno
- Aislamiento térmico

Características de los hormigones ligeros:
- Reducción de la densidad del hormigón fresco y de la densidad del hormigón endurecido.
- Si se usa hormigón ligero como hormigón de relleno con requisitos de carga baja, por ejemplo, para la estabilidad dimensional, generalmente se usan hormigones y morteros altamente porosos (hormigón ligero con aire incorporado).
- Si se requiere hormigón ligero con buenas propiedades mecánicas (por ejemplo, resistencia a la compresión), se utilizan áridos especiales (naturalmente muy porosos, pero también dimensionalmente estables).

Producción de hormigón ligero:
- Los materiales ligeros y porosos, como las arcillas expandidas, deben humedecerse previamente para evitar que una elevada cantidad de agua sea extraída o absorbida del hormigón durante la mezcla.
- Por el riesgo de segregación no debe utilizarse una consistencia demasiado fluida.
- El manejo correcto de los vibradores es particularmente importante (inmersión rápida, levantamiento lento) para prevenir atrapar aire durante la compactación.
- Curar de inmediato y de forma completa.
- Los hormigones espumados a menudo se contraen considerablemente y tienen baja estabilidad dimensional.



Fig. 8.15.2: Espuma generada por un generador de espuma y Sika® Stabilizer Poro para producir hormigón celular / espumado.

Componentes para la producción de hormigones ligeros:
- Áridos ligeros de cenizas de combustible pulverizadas sinterizadas
- Arcillas expansivas
- Bolas de poliestireno expandido, virutas de madera, aserrín
- Aditivos especiales productores de vacíos para generar grandes cantidades de vacíos de aire estables y definidos
- Agentes espumantes

Densidad

De acuerdo a la mezcla y los materiales constituyentes utilizados, pueden obtenerse las siguientes clases de densidad y propiedades:

Componentes	Densidad	Fórmula de Ejemplo
Árido	superior a 1.800 kg/m³	Altas propiedades mecánicas
Arcillas expansivas	superior a 1.500 kg/m³	Propiedades mecánicas limitadas
Productores de aire ocluido	superior a 1.500 kg/m³	Hormigón ligero poroso con bajas propiedades mecánicas
	superior a 1.200 kg/m³	Sin propiedades mecánicas (fácil de producir hormigón ligero poroso)
Poliestireno expandido	superior a 800 kg/m³	Bajas propiedades mecánicas
Espumantes	superior a 800 kg/m³	Sin propiedades mecánicas como mortero de relleno

Productos Sika

Nombre del Producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Para reducir la permeabilidad y mejorar la trabajabilidad del hormigón ligero
Sika® Stabilizer Lightcrete	Aditivo espumante	Para producir hormigón de baja densidad
Sika® Stabilizer Poro	Formador de espuma	Para generar espuma con una pistola especial mortero celular ≤ 1.000 kg/m³
Sika® Stabilizer Pump	Mejorador de bombeo	Para mejorar la capacidad de bombeo y la cohesión del hormigón ligero

8.16 HORMIGÓN PESADO

La principal aplicación de los hormigones pesados es la protección contra la radiación (médica o nuclear), para alta mar y también es usado para el lastrado de tuberías.
El hormigón pesado se logra utilizando áridos naturales pesados, como barita o magnetita o áridos manufacturados como mineral de hierro, y/o plomo. La densidad depende sobre el tipo de árido utilizado y puede alcanzar entre 3000 kg/ m³ y cerca de 6000 kg/m³.



Fig. 8.16.1: La solera, las paredes y el forjado de este edificio médico se construyeron con hormigón pesado utilizando áridos de hematita metálica para garantizar una protección radiológica completa y segura

Como se señaló anteriormente, el hormigón pesado se utiliza principalmente para la protección radiológica. Las propiedades críticas de un hormigón pesado son:

- Densidad y compactación homogénea del hormigón
- Libre de fisuras y nidos de grava
- La resistencia a la compresión es a menudo solo un criterio secundario debido al gran tamaño de la estructura
- Tan libre de aire ocluido como sea posible
- Bajo calor de hidratación
- Baja retracción

Composición

- Árido
  Uso de baritas, mineral de hierro, escorias de metales pesados, ferrosilicio, gránulos de acero
- Cemento
  Considerar el desarrollo de calor de hidratación al seleccionar el tipo y contenido de cemento
- Contenido de agua
  Tender a una relación a/c baja

Trabajabilidad

Para garantizar una matriz de hormigón densa, se debe prestar especial atención a la colocación (compactación) y acabado del hormigón.

Curado

Se debe tener en cuenta en el método de curado el alto desarrollo de calor debido a la gran masa de la estructura.

Tipo	Densidad del hormigón	Densidad del árido
Hormigón pesado	Superior a 2.800 kg/m³	Áridos pesados > 3.200 kg/m³
Hormigón normal	En el rango de 2.000 a 2.800 kg/m³	Áridos normales
Hormigón ligero	Hasta 2.000 kg/m³	Áridos ligeros < 2.200 kg/m³

Tabla 8.16.1: Resumen sobre tipos de hormigón y densidades

Utilizando baritas, la densidad estará en torno a 3500 kg/m³, mientras que con magnetita la densidad será de 3900 kg/m³. Se pueden conseguir hormigones muy pesados con áridos de hierro, la densidad será superior a 6000 kg/m³.

Consejos de diseño de mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Fórmula de ejemplo
Áridos	Uso de áridos pesados	Baritas ~ 3.500 kg/m³ Magnetitas ~ 3.900 kg/m³ Áridos de hierro ~ 7.000 kg/m³
Cemento	Cualquier cemento que cumpla con los estándares locales	Apuntar a un volumen de pasta de cemento lo más bajo posible para el método de colocación respectivo
Adiciones en polvo	Escoria granulada de alto horno molida	Suficiente contenido de finos mediante ajuste del contenido de ligante
Contenido de agua	Agua dulce y agua de reciclaje sin requisitos sobre el contenido de finos	Relación a/c según normas con respecto a clase de exposición < 0,48
Aditivos para hormigón	Superplastificante Tipo dependiendo de los requisitos de colocación y resistencia temprana	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament® 0,60 – 1,50%
Requisitos de puesta en obra y curado	Agente de curado Un curado que comienza lo antes posible y se mantiene durante un período suficiente de tiempo, tiene una influencia significativa en la en la retracción plástica y por secado	Instalación y compactación cuidadosa. Curado subsecuente para asegurar una alta calidad (compacidad) de las superficies Sika® Antisol®

Productos Sika

Nombre del Producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Superplastificante	Reducción sustancial de agua Mejora en la colocación (trabajabilidad y compactación)
SikaFume®	Humo de sílice	Reductor de permeabilidad
Sika® Antisol®	Agente de curado	Protección del secado prematuro

8.17 PILOTES DE HORMIGÓN

Los pilotes de hormigón pretensado pueden utilizarse como pilote de cimentación para proyectos de energía, fábricas de acero, edificios de gran altura, obras de ingeniería civil, puentes, estructuras marinas y puertos, etc.



Los pilotes de hormigón son producidos utilizando un proceso de compactación mediante el giro de estos.

Especificación típica de hormigón:

- Asentamiento: 20 - 40 mm.
- Resistencia a compresión: 80 MPa.
- La resistencia a la compresión en el momento de la introducción de pretensado debe ser de 40 MPa (probeta cilíndrica) o más.

Composición

- Áridos
  - Árido grueso tamaño 67 (4,75 - 19 mm) ASTM C33: 1.200 - 1.300 kg/m³.
  - Árido fino: ASTM C33.
- Cemento
  - Dosificación 440 - 480 kg/m³, generalmente cemento Portland.
- Adiciones
  - Humo de sílice para alta resistencia o en medio marino.
- Relación a/c
  - 0,20 – 0,25
- Aditivos para hormigón
  - Para asegurar las propiedades del hormigón fresco y una alta resistencia inicial después de 4-5 horas de curado a vapor del pilote, es obligatoria la aplicación de un potente superplastificante basado en el policarboxilato-éter (PCE), como la tecnología Sika® ViscoCrete®.

Diseño de mezcla típico de un pilote de hormigón C80

Proporción de mezcla para 1 m³				
Cemento [kg]	Arena (0 – 5 mm) [kg]	Árido grueso (5 – 20 mm) [kg]	Sika® ViscoCrete® [L]	Agua [L]
460	730	1260	4,6	110

Consejos para el diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de Fórmula
Áridos	Áridos de cualquier calidad posible	Todos los tamaños de árido son posibles Recomendación de ASTM, hasta 19 mm
Cemento	Cualquier cemento que cumpla con los estándares locales	Apuntar a un volumen de pasta de cemento lo más bajo posible para el método de colocación respectivo
Contenido de agua	Agua de mezcla limpia, libre de finos	Relación a/c de acuerdo con las normas con respecto a la clase de exposición 0,20 - 0,25
Aditivos para hormigón	Superplastificante Tipo dependiendo de los requisitos de colocación y resistencia temprana	Sika® ViscoCrete®
Requisitos de puesta en obra y curado	Un curado que comienza lo antes posible y se mantiene durante un período suficiente de tiempo, tiene una influencia significativa en la en la retracción plástica y por secado	Sika® Antisol®

Productos Sika

Nombre del Producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete®	Reductor de agua de alto rango	Reducción de agua Buen desarrollo de resistencia temprana
SikaFume®	Humo de sílice	Alta resistencia, impermeabilidad mejorada
SikaRapid®-1	Acelerante de endurecimiento	Mejora de resistencia temprana
Sika® Separol®	Agente desencofrante	Contribuye a lograr superficies visualmente uniformes y durables del hormigón

8.18 HORMIGÓN PERMEABLE

El hormigón permeable, a veces denominado "hormigón sin finos", es una mezcla de cemento, árido grueso de menor tamaño, aditivos y agua. El hormigón permeable permite que el agua percole a través del hormigón hacia la subbase, para luego dirigirse hacia el subsuelo. Normalmente, el hormigón permeable no contiene arena y su contenido de aire varía entre el 15 y el 30%. Se puede usar una pequeña cantidad de arena para mejorar la resistencia a compresión, pero el contenido de aire se reducirá y la permeabilidad disminuirá. Es importante mantener el volumen adecuado de pasta/ mortero en el diseño de la mezcla para que el árido esté igualmente recubierto, pero el exceso de pasta/ mortero no debe llenar el espacio vacío dentro del árido grueso. Los poros dentro del hormigón permeable deben estar interconectados para crear canales a través de los cuales el agua puede fluir libremente.

El hormigón permeable se puede utilizar en las siguientes aplicaciones:

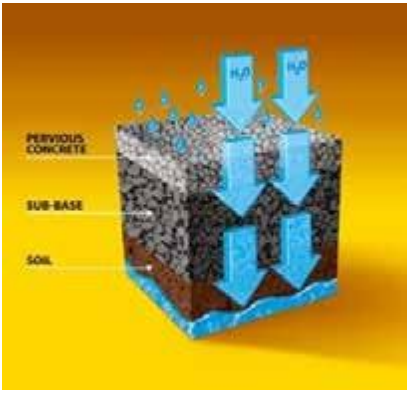
- Estacionamientos al aire libre
- Calles y callejones residenciales
- Pavimentos
- Aplicaciones de paredes estructurales donde sean requeridos un peso ligero, un mejor aislamiento térmico o ambos
- Cunetas permeables y drenes
- Capas de drenaje
- Soleras libres de agua estancada (invernaderos, canchas de tenis, piscinas)
- Terraplenes para puentes



Colocación y compactación

El hormigón permeable se puede colocar directamente desde camión hormigonera, a través de cintas transportadoras o manualmente. El hormigón permeable, dadas sus propiedades plásticas, no se puede bombear (flujo denso). Cuando el perfilado de la superficie del hormigón se realiza manualmente o con regla láser, se debe compactar. A veces, el perfilado puede realizarse junto con la compactación en un solo paso. Actualmente, existen diversas técnicas para colocar el hormigón permeable:

- Rodillos manuales de acero
- Compactadores manuales
- Reglas manuales vibradoras
- Tubos giratorios automatizados (las propiedades mecánicas prohíben el uso hormigón permeable en ciertas aplicaciones)
- Máquinas pavimentadoras modificadas



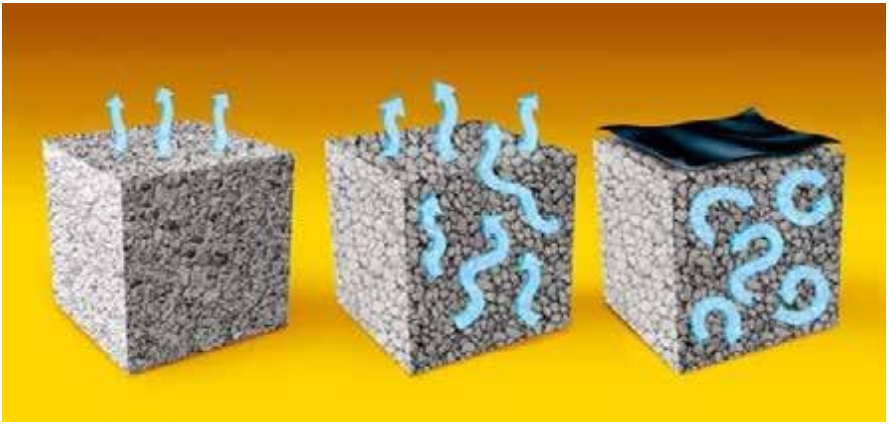
Las áreas que sean de difícil alcance, como bordes o esquinas, deben apisonarse manualmente para asegurar la densidad adecuada y reducir el desgaste.

Curado

El paso más crítico para hacer un hormigón resistente y duradero es un curado adecuado. Sin un curado adecuado, el agua de se evapora rápidamente en toda la superficie aumentada del producto. El recubrir rápidamente es una necesidad absoluta si se requiere la máxima resistencia.

El hormigón convencional permite evaporar el agua solo desde la capa superficial, mientras que el hormigón permeable, con su porosidad, permite que el agua se evapore de un área mucho más grande.

El hormigón permeable debe cubrirse lo antes posible con una lámina de plástico para mantener la humedad adentro y permitir que el hormigón se hidrate adecuadamente.



Nivel del agua subterránea

Permitir que el agua penetre de nuevo en el suelo mejora nuestro medio ambiente en varias formas.

- Reduce el riesgo de inundaciones
- La escorrentía reducida disminuye la contaminación de las fuentes de agua
- Mejora la calidad del paisajismo y reduce la necesidad de riego (cubrir de flores y árboles adyacentes)
- Recarga el nivel del agua subterránea
- Reduce el tamaño y, a veces, la necesidad de desagües de aguas pluviales

Calor urbano

El pavimento de hormigón permeable ayuda a combatir las islas de calor urbano mediante la reducción natural de temperatura y calor de la superficie. Se descubrió a través del programa “Cool Communities” que las temperaturas dentro de las ciudades son 5-10°C más altas que en las áreas rurales. Esto aumenta significativamente la cantidad de energía necesaria para refrigerar. Debido al color más claro y la estructura de poros abiertos del hormigón permeable, el calor absorbido es mucho menor, comparado con las superficies negras convencionales.

- No crea islas de calor debido a su color claro
- Efecto refrescante natural por evaporación del agua absorbida

Contaminación del agua

Los drenajes de los estacionamientos se consideran el mayor contaminante del agua en las ciudades. El hormigón permeable reduce significativamente el número de drenajes y permite que el agua sea tratada por filtración a través del lecho de suelo.

- Permite el tratamiento natural de aguas contaminadas mediante filtración del suelo
- Reduce el riesgo de inundaciones y el lavado del suelo superior

Salud y seguridad

La penetración del agua nuevamente dentro de la masa de suelo, junto con la estructura especial del hormigón permeable, conducen a:

- Reducción del nivel de ruido causado por el tráfico (≥ 5 dB (A))
- Alta absorción acústica (hasta un 98% en el rango de frecuencia crítica)
- Evitar el deslumbramiento: la superficie de hormigón permeable no deslumbra, especialmente de noche cuando la carretera está húmeda
- Reducir el hidroplaneo al reducir los puntos de inundación
- Reducir/ eliminar agua pulverizada
- Mejorar el agarre (neumáticos/ carretera)

Desafíos

Como cualquier material de construcción, el hormigón permeable tiene limitaciones que deben ser tenidas en cuenta. El hormigón permeable solo puede ser tan bueno como se haya diseñado e instalado. Como el hormigón permeable es un sistema de varios componentes, cada sección debe instalarse correctamente para asegurarse que el sistema va a funcionar.

Los criterios básicos para el hormigón permeable son:

- El hormigón permeable debe usarse solo en áreas planas o de baja pendiente
- La preparación de la subbase es más exigente en comparación con el hormigón convencional
- Las propiedades mecánicas prohíben el uso de hormigón permeable en determinadas aplicaciones
- Puede ser necesario un mantenimiento para preservar las propiedades de percolación
- Mayor coste inicial que el asfalto

Tecnología

Para que un hormigón sea considerado un hormigón permeable se deberían cumplir con varios criterios. La permeabilidad, la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión son importantes desde la perspectiva del dueño de la obra. La facilidad de colocación juega un papel muy importante desde el punto de vista del contratista.

Economía

Los ahorros y otros beneficios que vienen con el uso de hormigón permeable se deben principalmente a los siguientes factores:

- Reduce o elimina la necesidad de alcantarillas pluviales o tanques de retención
- Incrementa las facilidades de estacionamiento al reducir las áreas de retención de agua
- Aumenta el área permeable y puede calificar para créditos de área permeable
- Reconocido por Liderazgo en Energía y Desarrollo Ambiental (LEED)
- Requiere reparaciones menos costosas que el asfalto
- Mayor vida útil y menor coste de ciclo de vida que el asfalto

Consejos de diseño de mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Fórmula de ejemplo
Áridos	Áridos de cualquier calidad posible	Áridos gruesos dependiendo de la permeabilidad diseñada (Por ej. 5 – 11 mm)
Cemento	Cualquier cemento que cumpla con los estándares locales	Apuntar a un volumen de pasta de cemento lo más bajo posible para el método de colocación respectivo y la cantidad necesaria para cubrir la superficie de los áridos usados
Contenido de agua	Agua de mezcla limpia, libre de finos	Relación a/c de acuerdo con las normas con respecto a la clase de exposición 0,26 - 0,45
Aditivos para hormigón	Superplastificante Tipo dependiendo de los requisitos de colocación y resistencia temprana Fibras monofilamento de polímero o polipropileno Aditivos especiales Los aditivos especiales pueden actuar como un agente ligante entre la pasta de cemento y los áridos y permite una mayor adherencia entre la pasta/ mortero y los áridos	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament® SikaMix 10 – 25%
Requisitos de puesta en obra y curado	Un curado que comienza lo antes posible y se mantiene durante un período suficiente de tiempo, tiene una influencia significativa en la retracción plástica y por secado	Láminas de curado

Productos Sika

Nombre del Producto	Tipo de Producto	Uso del Producto
Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®	Superplastificante	Reducción de la relación a/c para reducir la red capilar
SikaMix	Aditivos a base de látex	Mejoran la trabajabilidad Reducción del esfuerzo de compactación Mejora la resistencia a compresión y flexión

9 CONCEPTO DE WHITE BOX



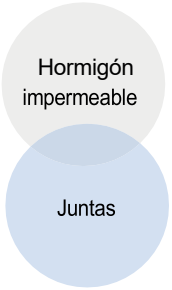
Las estructuras de hormigón tales como sótanos normalmente tienen que ser estancos para evitar daños por humedad o aparición de agua. Esto se puede lograr aplicando un sistema de impermeabilización externo ya sea como revestimientos, membranas u otros sistemas aplicados en superficie o mediante el uso de un sistema de impermeabilización integral, que posibilite lograr un hormigón estructural estanco.

Es bien sabido que el hormigón puede diseñarse para ser impermeable a la presión del agua, mediante un cuidadoso diseño de la mezcla y la selección adecuada de los aditivos, pero para mantener una estructura de hormigón completamente estanca, hay que tener en cuenta algo más que el diseño de hormigón.
Hay muchas expresiones utilizadas en todo el mundo que describen un "hormigón estanco". En general, podemos diferenciar entre "Hormigón impermeable", "Sistemas de hormigón estanco" y "Concepto de white box.

Hormigón impermeable (ver Capítulo 8.1)
El hormigón impermeable describe la mezcla de hormigón, que es impermeable al agua y se centra en la calidad del hormigón, que ha sido modificado con aditivos, como superplastificantes y bloqueadores de poros. Sólo se incluye el diseño de la mezcla de hormigón, las juntas y el diseño del sótano no son considerados. Por lo tanto, el hormigón impermeable no indica la estanqueidad de la estructura.



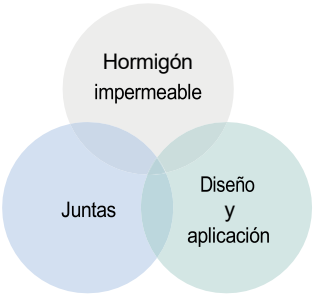
Sistemas de hormigón estanco
Este término refleja un sistema que consiste en hormigón impermeable junto con soluciones de sellado de juntas para construir diseños simples de sótanos estancos. La construcción de un sótano de hormigón incluye diversos pasos, que incluyen juntas de construcción y movimiento y penetraciones.
Para garantizar que se puede obtener un nivel adecuado de estanqueidad, deben aplicarse guías generales para el diseño de la mezcla de hormigón, construcción y fundido de hormigón.



Concepto de white box

El siguiente nivel de una estructura hermética es el concepto de white box, que se ha establecido principalmente en Europa Central durante muchas décadas. Además del hormigón impermeable, el concepto de white box incluye la planificación, el diseño y todas las operaciones a realizarse in situ durante la construcción, con el fin de obtener un sótano estanco.

La principal solución para lograr este objetivo es la producción de hormigón de alta calidad centrado en el control de la formación de fisuras. Para lograr esto, todas las fisuras en el hormigón deben ser muy finas y bien dispersas, sin fisuras que atraviesen toda la estructura, que permitirían la transmisión de agua. Diversos estándares para la construcción de white box requieren una abertura máxima de fisura simple ≤ 0,2 mm. Elementos importantes que afectan la formación de fisuras son:



- Diseño de mezcla de hormigón: Una granulometría y relación a/c optimizadas; la selección de apropiado tipo de cemento; una reología mejorada y el uso de varios aditivos como controlador de retracción, bloqueadores de poros, superplastificantes, etc. dan como resultado una formación limitada de fisuras dentro del hormigón.

- Espesor del hormigón: Un volumen homogéneo del hormigón, sin cambios de espesor, reduce los puntos de tensión locales. Las buenas prácticas indican un espesor mínimo de hormigón ≥ 250 mm para muros y soleras de base.

- Grado de refuerzo de acero: Este es el elemento de diseño clave para limitar la formación de fisuras. La cantidad de refuerzo de acero normalmente es significativamente mayor que la necesaria solo para la integridad estructural. Debe realizarse un cálculo de la cantidad y distribución mínimos del acero. Esto debe ser realizado por un ingeniero estructural que esté familiarizado con la normativa local.

- Forma y diseño: para reducir el estado tensional dentro de la estructura, la disposición de la "white box" deberá ser diseñada en un nivel y en forma rectangular simple. Los sobreanchos y esquinas interiores deben ser evitados.

A continuación, se contrastan las configuraciones de diseño de componentes adecuadas e inadecuadas (Fig. 9.1)

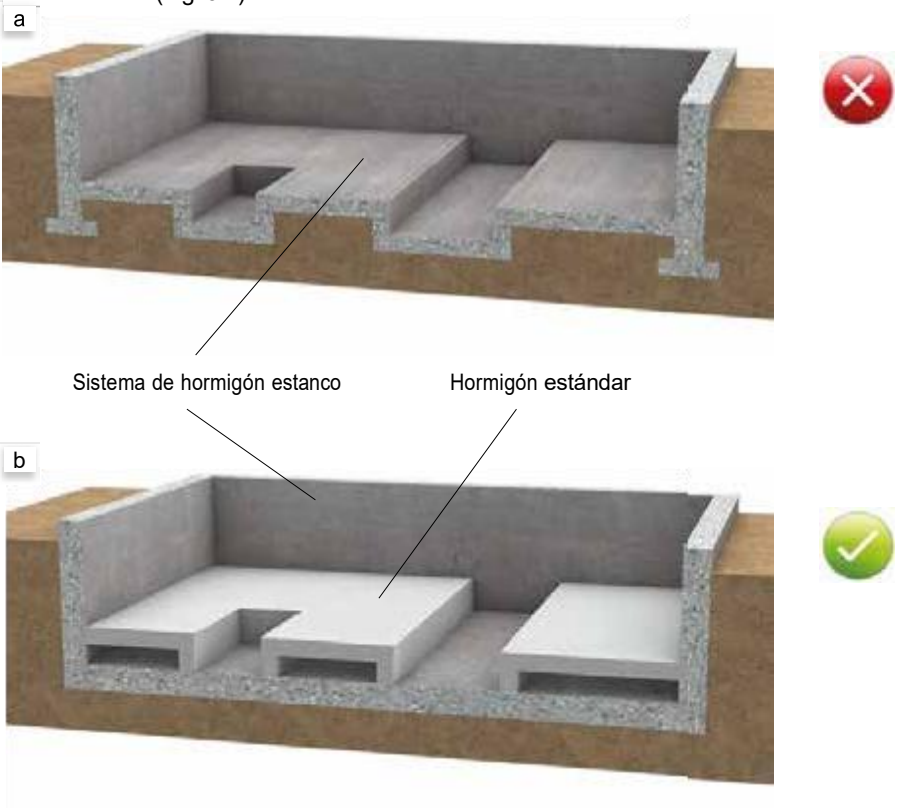


Fig. 9.1: Ejemplos de configuraciones de diseño de sótano inadecuadas (a) y adecuadas (b) para la selección de un sistema de hormigón estanco Sika

■ Diseño de juntas: La selección y definición de juntas de construcción y movimiento deben realizarse según el comportamiento de retracción del hormigón y las etapas de colocación. Las juntas deben colocarse para dividir la losa de base en áreas cuadradas regulares, para reducir las tensiones. Las condiciones del sitio, tales como presión de agua, las condiciones subterráneas y climáticas deben tenerse en cuenta. Los requisitos de diseño son diferentes según el método y el propósito de uso. Para sellado de juntas, perfiles de PVC Waterstop (para juntas de construcción y movimiento), perfiles hidroexpansivos o sistemas de tubos de inyección (ambos solo para juntas de construcción) se utilizan principalmente.







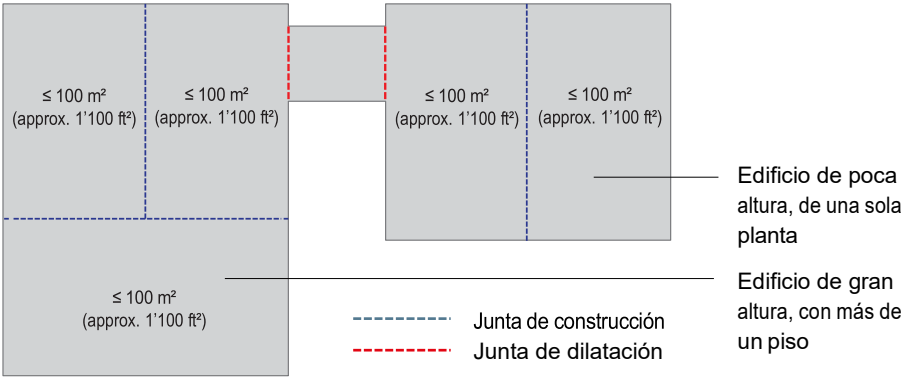
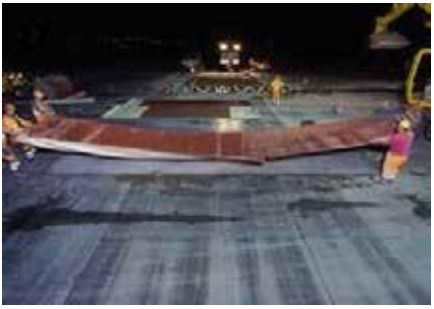


Fig. 9.2: Ejemplo de distribución típica para construcción de hormigón y juntas de movimiento (dilatación)

- Preparación en obra: Para reducir la fricción entre la losa de base de hormigón y el suelo, se requerirá doble capa de film de plástico.
- Colocación del hormigón: La estructura, el sistema de encofrado y el refuerzo deben permitir un correcto y fácil vertido del hormigón. Se requiere una colocación adecuada del hormigón para evitar sobrepresiones, fugas y hormigón sin compactar o segregado. Esto se puede lograr vertiendo cada sección (de junta a junta) continuamente en un solo paso sin interrupciones. Limitando la altura de caída a ≤1,0 m y mediante una compactación cuidadosa del hormigón fresco, los nidos de grava pueden ser eliminados.
- Curado: Para prevenir fisuras por retracción por secado, es necesario un curado adecuado durante al menos tres días usando láminas de plástico o agentes de curado.





Además de estos puntos detallados para la reducción de fisuras, hay otros puntos que afectan la estanqueidad al agua de la construcción tipo “white box”:
- Recubrimiento de hormigón mínimo (≥30 mm)
- Uso de separadores para el acero
- Correcto posicionamiento y sellado de todas las penetraciones

Ventajas del concepto de white box
En comparación con el sistema de impermeabilización aplicado externo tradicional, el concepto White Box incluye las siguientes ventajas:
- Función tanto estática como de sellado
- Principios simplificados de diseño estático y constructivo
- Aplicación fácil y rápida, no se requiere aplicación adicional de capa impermeabilizante (menos pasos de trabajo)
- Sistema de impermeabilización duradero e integral
- No requiere drenaje ni paredes dobles
- Excavación simple y menor preparación del sustrato
- Independencia relativa de las condiciones climáticas
- Las fugas se pueden localizar y reparar más fácilmente
- Menos susceptibles a daños externos

Todas estas ventajas dan como resultado una solución rentable y, además, reducen la complejidad de la logística del sitio.

10 PREPARACIÓN DEL ENCOFRADO

10.1 PREPARACIÓN DE ENCOFRADOS



La calidad del hormigón está influenciada por muchos factores, mientras que la preparación del encofrado juega un papel importante en la apariencia final de la superficie del hormigón. El desafío es evitar la adhesión del hormigón endurecido al encofrado y asegurar la fácil limpieza del mismo. Esto se puede lograr con la aplicación correcta de un agente desencofrante adecuado, que además permite conseguir superficies de hormigón lisas y densas mejorando la durabilidad, así como la apariencia estética de la superficie de hormigón.

Los siguientes requisitos se especifican para la acción de los agentes de desencofrantes, tanto en situaciones in situ/ colocaciones in situ, como para aplicaciones de hormigón prefabricado:

- Liberación fácil y limpia del hormigón del encofrado (sin adherencia del hormigón, sin daños en el encofrado)
- Superficies de hormigón visualmente perfectas (piel superficial impermeable, color uniforme, supresión de la formación de oquedades)
- Ningún efecto adverso en la calidad del hormigón en la superficie (sin interrupción excesiva del fraguado, sin problemas con la aplicación posterior de revestimientos o pinturas)
- Protección del encofrado contra la corrosión y el envejecimiento prematuro
- Fácil aplicación
- Mínimo impacto en el medio ambiente
- Alto nivel de Ecología, Salud y Seguridad en la obra y en la planta de prefabricados

Otro requisito importante específicamente para trabajos prefabricados es la resistencia a altas temperaturas cuando se utiliza encofrado calentado. El desarrollo de olores desagradables también es indeseable, particularmente en una fábrica de prefabricados. Para el uso in situ, un requisito importante es una resistencia adecuada a la lluvia o los rayos UV y la posible accesibilidad después de que se haya aplicado el agente desencofrante.

Estructura de los desencofrantes

Los agentes desencofrantes se pueden formular a partir de hasta tres grupos de materiales diferentes:

- Agentes desencofrantes
  Estas son las sustancias base principalmente responsables de la liberación del encofrado, p. ej. se utilizan varios aceites naturales y sintéticos y también ceras de parafina.
- Aditivos
  Se obtienen efectos adicionales o intensificados con estos materiales. Incluyen mejoradores de desmolde, agentes humectantes, aditivos anticorrosión y emulsionantes necesarios para las emulsiones a base de agua. La mayoría de los agentes desencofrantes que se utilizan en la actualidad también contienen otros aditivos, algunos de los cuales reaccionan químicamente con el hormigón, provocando una alteración selectiva del fraguado. Entonces, es mucho más fácil liberar el hormigón del encofrado y el resultado es un producto de uso más general.
- Diluyentes
  Estos productos actúan como reductores de viscosidad para los agentes desencofrantes y aditivos. Su propósito es ajustar la trabajabilidad, espesor de capa, tiempo de secado, etc. Los diluyentes son básicamente disolventes orgánicos o agua para emulsiones.

Como resultado, se emplean tres tecnologías generales diferentes en las que se basan los agentes desencofrantes:

- Aceites completos
- A base de solventes
- Emulsiones a base de agua

Cuanto más fina sea la película del agente desencofrante, mejor será el aspecto final de la superficie del hormigón. Se desarrollaron agentes desencofrantes a base de solventes y emulsiones a base de agua, porque estas tecnologías facilitan la aplicación rápida y fácil de películas más delgadas de agentes desencofrantes.



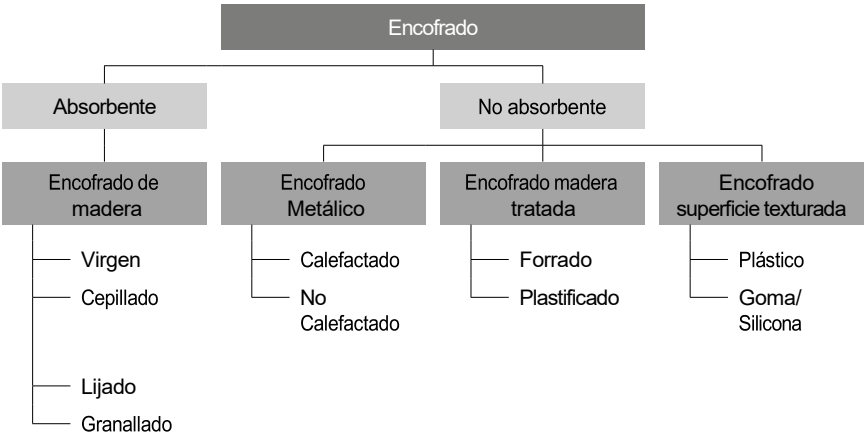


Desmoldeantes para encofrados absorbentes

En los encofrados de madera nuevos sin usar, la porosidad de la madera es muy alta. Si el encofrado no está preparado correctamente, el mismo tomará agua de la superficie de hormigón, concretamente de la pasta de cemento. Los resultados que se observarán serán la adherencia del hormigón al encofrado y una superficie con polvo del hormigón endurecido por falta de hidratación del cemento. La capa de hormigón cerca de la superficie también puede resultar dañada por componentes del encofrado (por ejemplo, azúcares de madera). Esto se manifiesta como polvo, resistencia reducida o decoloración, y ocurre particularmente cuando los encofrados de madera se han almacenado sin protección al aire libre y están expuestos a la luz solar directa. Los efectos descritos pueden ser muy pronunciados cuando se utiliza el encofrado por primera vez, pero disminuyen gradualmente con cada uso adicional.

Se ha desarrollado una forma sencilla de contrarrestar estos problemas con encofrados nuevos que ha demostrado ser eficaz en la práctica. Antes de usarse por primera vez, el encofrado de madera se trata con un agente de desencofrado y luego se recubre con pasta de cemento o una lechada espesa. A continuación, se cepilla la pasta de cemento endurecida. Después de este envejecimiento artificial, se debe aplicar inicialmente un desencofrante con cierto efecto sellante para algunas operaciones de colocación del hormigón. Para esto, generalmente se debe usar un aceite de desencofrado químicamente reactivo débil, bajo en solventes o directamente sin solvente.

Cuando el encofrado de madera se ha utilizado varias veces, gradualmente deja de ser tan absorbente debido al aumento del sellado de la superficie a medida que los huecos e intersticios de la superficie se llenan con pasta de cemento y residuos de agentes desencofrante. Por lo tanto, los encofrados de madera más antiguos solo necesitan una fina capa de agente desencofrante. También es posible utilizar agentes de desencofrantes que contengan solventes o emulsiones de agentes de desencofrantes en este encofrado antiguo.



Desencofrantes para encofrados no absorbentes
Los encofrados hechos de madera, plástico o acero modificados con resina sintética no son absorbentes, por lo tanto, no pueden absorber agentes desencofrantes, agua o pasta de cemento. Con todos estos materiales, es extremadamente importante aplicar el agente desencofrante con moderación, de manera uniforme y fina. Deben evitarse los "charcos".
No solo dan como resultado una mayor formación de oquedades, sino que también pueden causar decoloración y/ o formación de polvo en la superficie del hormigón.

Para obtener una película de desencofrado delgada y uniforme en la superficie del encofrado, generalmente se utilizan aceites de baja viscosidad con aditivos de desencofrante, a menudo también con solventes para hormigón visto. Los aditivos de desencofrante proporcionan un desencofrado mejorado (por ejemplo, con ácidos grasos o agentes "humectantes" específicos) y también una mejor adherencia de la película de desencofrante a superficies lisas y verticales. Esto es particularmente importante donde hay muros de encofrado altos, alturas de vertido de hormigón considerables que causan abrasión mecánica de la superficie del encofrado o los efectos del clima y largos tiempos de espera entre la aplicación del agente de desencofrante y la colocación del hormigón.

Los encofrados de acero con calefacción representan una aplicación especial. La película de desencofrante formada en el encofrado no debe evaporarse debido al calor y el agente de desencofrado debe formularse de manera que no se produzca una reacción química más fuerte (formación de jabón de cal o saponificación) entre el hormigón y los componentes del agente de desencofrado durante el tratamiento térmico.

Los encofrados texturados hechos de caucho especial o caucho de silicona no siempre requieren el uso de desencofrante, al menos cuando son nuevos, porque el hormigón no se adhiere a la superficie lisa e hidrofóbica del encofrado. Si existe la necesidad de un agente desencofrante debido a la textura de la forma o al envejecimiento, se deben utilizar productos que contengan solventes o emulsiones especiales dependiendo del perfil de textura. Es necesaria una capa fina para evitar que se acumule el exceso de agente desencofrado en las partes más bajas del encofrado. Se debe realizar una prueba de idoneidad para asegurar que los agentes de desencofrante utilizados no provoquen que el encofrado se hinche o se disuelva parcialmente.

Los desencofrantes más adecuados para encofrados no absorbentes son las emulsiones a base de agua, especialmente en la producción de hormigón prefabricado. Con esta tecnología se pueden lograr películas de agente de desencofrado más delgadas, mientras que la aplicación rápida y fácil está respaldada por su apariencia de puntos blancos, si se aplica correctamente. Además, las emulsiones a base de agua se caracterizan por un alto grado de eficacia y ecología. Se reduce el consumo de materia prima y se mejora el entorno de trabajo en las plantas de prefabricados de hormigón.

Indicaciones de uso

Hay algunas instrucciones generales de uso además de información específica de dantes-desencofrados para encofrados.

Aplicación del desencofrante

La regla más importante es aplicar la cantidad mínima lo más uniformemente posible. El valor teórico para lograr un rendimiento de desencofrado óptimo en general sería un espesor de agente desencofrante de 1/ 1.000 mm. El método de aplicación de un agente desencofrante depende principalmente de la consistencia del producto. Los productos de baja viscosidad (líquidos) deben aplicarse preferiblemente con una pistola de pulverización de alta presión con una presión de funcionamiento de 3 a 6 bar (0,3 - 0,6 MPa). Utilice una boquilla de pulverización plana posiblemente combinada con una válvula de control o un filtro para evitar una aplicación excesiva con y goteos.

Aplicación de emulsiones en base agua

Los desencofrantes en emulsión a base de agua deben aplicarse en capas delgadas de apariencia punteada blanca, cubriendo toda la superficie. Después de la aplicación, se debe dejar un tiempo de evaporación del agua de aproximadamente 10 a 20 minutos, dependiendo de la temperatura ambiente. Durante este tiempo de evaporación se forma una fina película de aceite uniforme.

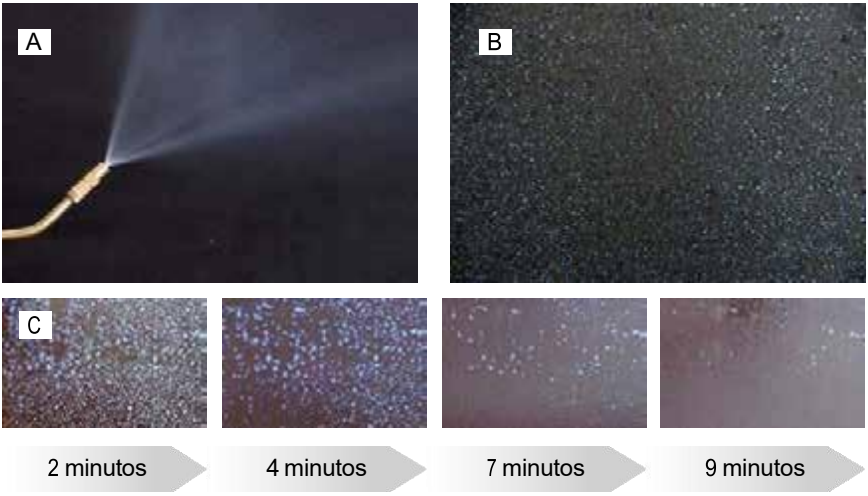


Fig. 10.1.1: Pulverización de emulsión a base de agua (A), cantidad correcta de emulsión en la superficie del encofrado (B) y desarrollo de la tasa de evaporación a lo largo del tiempo (C)

En encofrados lisos, el espesor correcto y uniforme del desencofrante puede comprobarse mediante la "prueba de dedo". No se deben formar marcas visibles de dedos ni acumulaciones de agente desencofrante. El agente desencofrante sobrante debe eliminarse del encofrado horizontal con una escobilla de goma o espuma y se debe frotar la superficie. Si se aplica demasiado material en encofrados verticales o inclinados, se verán derrames en la superficie o acumulaciones de agente desencofrante en la base del encofrado. Deben eliminarse con un paño o una esponja.
Los agentes desencofrantes de muy alta viscosidad (por ejemplo, pastas de cera) se aplican con un paño, esponja, escobilla de goma, cepillo, etc. Aquí nuevamente, aplique solo la cantidad mínima absoluta y lo más uniformemente posible.

Comprobando la cantidad correcta de aplicación del desencofrado



Fig. 10.1.2: Prueba de dedo de la aplicación correcta de desencofrante (izquierda: demasiada cantidad / derecha: buena aplicación de desencofrante)

Las condiciones climáticas juegan un papel importante en el uso de agentes desencofrante. No es apropiado aplicar un agente desencofrante bajo la lluvia debido a la posible adherencia inadecuada y al agua en el encofrado. Los encofrados absorbentes pueden requerir una cantidad mayor de desencofrante en condiciones de luz solar intensa y sequía. Los desencofrantes en base agua están en riesgo en climas helados ya que la emulsión se destruye una vez que se congela.

Tiempo de espera antes de la colocación del hormigón
En general, no se puede determinar un tiempo de espera mínimo específico entre la aplicación del desencofrante y la colocación del hormigón ya que depende de muchos factores, como el tipo de encofrado, la temperatura, el clima y el tipo de agente de desencofrado. Siempre se debe mantener el tiempo de secado correcto de los productos que contienen disolventes y emulsiones a base de agua, de lo contrario no se logra el efecto de desencofradon requerido. La calidad del acabado del hormigón también puede verse afectada porque los residuos de disolvente atrapados pueden provocar una mayor formación de oquedades.

La tasa de evaporación varía según el tipo de solvente. Los tiempos de espera para cada producto deben tomarse de las Hojas Técnicas del producto.

La exposición o el estrés (tránsito peatonal, clima, etc.) en la película del agente desencofrante y un retraso demasiado largo entre la aplicación y la colocación del hormigón pueden reducir el efecto desencofrante en algunas circunstancias. Con encofrados absorbentes esto puede suceder después de unos días. El encofrado no absorbente es menos crítico y el efecto del agente desencofrante generalmente se mantiene durante algunas semanas, dependiendo de las condiciones ambientales.

Resumen
La industria del hormigón no puede prescindir de los desencofrantes. Cuando se selecciona correctamente y si se utilizan con el encofrado y la calidad del hormigón adecuados, contribuyen a conseguir superficies de hormigón visualmente uniformes y duraderas. Los agentes desencofrantes inapropiados o seleccionados incorrectamente, como las materias primas y composiciones de hormigón inadecuadas, pueden causar defectos y fallos sobre la superficie del hormigón.

La gama Sika® Separol® ofrece soluciones ideales para la mayoría de los requisitos de liberación de encofrados.

Productos Sika

Nombre	Uso del Producto
Sika® Separol® F	Adecuado para todas las aplicaciones de obras de construcción y aplicaciones de hormigón prefabricado donde es esencial un uso inmediato del encofrado.
Sika® Separol® S	Productos que ofrecen una apariencia mejorada de la superficie del hormigón en todo tipo de aplicaciones de construcción.
Sika® Separol® W	Poder desencofrante mejorado, aplicación rápida y fácil con capacidad de producir superficies de hormigón visto que cumplen altos requisitos estéticos.

10.2 PUESTA EN OBRA DEL HORMIGÓN



Las construcciones duraderas de hormigón solo se hacen posibles con una correcta puesta en obra del hormigón fresco. Entre toda la cadena de producción, la instalación y vibración del hormigón representan pasos críticos. La colocación correcta de hormigón fresco conduce a:

- Construcciones durables
- Alta calidad general
- Buen desempeño del hormigón endurecido
- Buen desempeño de los desencofrantes para encofrado
- Apariencia superficial mejorada

Fundido

Se deben considerar varias medidas cuando se coloca hormigón fresco.

En primer lugar, es importante comprobar si todas las características del hormigón están de acuerdo con las normas relevantes y los requisitos adicionales. Especialmente la trabajabilidad del hormigón debería ser suficiente para asegurar una colocación fácil y segura, así como la vibración y el acabado posteriores.

Con respecto al agente desencofrante aplicado, es importante asegurarse de que sufra la menor tensión mecánica posible. Si es posible, el hormigón no debe verterse en diagonal contra el encofrado vertical para evitar la abrasión localizada de la película de desencofrante. Evitar los vertidos de hormigón directamente sobre el encofrado tanto como sea posible mediante el uso de tubos tremie.

Evite grandes alturas de caída libre en el vertido, especialmente con hormigón visto y autocompactante para evitar la segregación y lograr una apariencia uniforme de la superficie del hormigón.

Si se va a ejecutar un vertido de hormigón posterior después del endurecimiento del vertido anterior, la unión entre las dos partes de hormigón debe tener suficiente rugosidad para garantizar la unión entre el hormigón endurecido y el fresco. Esto se puede lograr mediante el retraso de la superficie del primer vertido que conduce a una superficie de áridos expuestos en la junta. Al colocar el hormigón posteriormente fresco contra una junta tan áspera, se mejora la adherencia seguro. El retardo de la superficie se puede lograr con Sika® Rugasol®.

Vibrado

La compactación correcta del hormigón es un paso vital dentro de la producción de hormigón, porque sólo con una ejecución correcta es posible obtener el contenido de aire ocluido y, como consecuencia, las propiedades requeridas del hormigón endurecido, como la resistencia a la compresión.

La vibración interna con un vibrador manual debe realizarse de manera que el puntero se sumerja rápidamente hasta el fondo de la capa de hormigón y luego se retire lentamente atravesando todo el espesor de la capa de hormigón. Una vibración excesiva puede tener un impacto negativo en la homogeneidad del hormigón fresco. Especialmente con la colocación de hormigón resistente a las heladas y al hielo/deshielo, los micro huecos de aire introducidos artificialmente no deben destruirse.

Asegúrese de que el puntero del vibrador no toque la superficie del encofrado. Si lo hace, ejerce una gran tensión mecánica sobre la superficie del encofrado, lo que puede provocar la abrasión del agente desencofrante y más tarde, la adhesión localizada del hormigón.

Terminación

Dependiendo del elemento fundido, las características de acabado del hormigón pueden desempeñar un papel importante.

Las características de acabado del hormigón fresco pueden verse influidas por el diseño de la mezcla de hormigón, por el contenido de finos, los áridos utilizados, la relación a/c, así como los aditivos utilizados en general y la tecnología de superplastificantes en particular. Especialmente la aplicación de superplastificantes adecuados basados en policarboxilato-éter (PCE) puede influir significativamente en las características de acabado del hormigón fresco.

El tiempo juega un factor crítico con respecto al acabado. Especialmente al terminar soleras industriales con llaneado mecánico, es importante evaluar el momento correcto para ejecutar el acabado de la superficie.





10.3 CURADO



La calidad y durabilidad del hormigón están determinadas por la densidad de la matriz cementosa. Por lo tanto, el hormigón duradero no solo debe caracterizarse por una alta resistencia a la compresión. Aún más importante es su impermeabilidad, especialmente en las áreas cercanas la superficie. Cuanto menor sea la porosidad y más densa sea la pasta de cemento endurecida cerca de la superficie, mayor será la resistencia a las influencias externas, tensiones y ataques.

Para lograr estas características en el hormigón endurecido, se deben tomar varias medidas para proteger el hormigón fresco, especialmente de:

- Secado prematuro por viento, sol, poca humedad, etc.
- Temperaturas extremas (frío, calor) y cambios rápidos de temperatura dañinos
- Lluvia
- Choque térmico y físico
- Ataque químico
- Esfuerzo mecánico

La protección contra el secado prematuro es necesaria para que el desarrollo de la resistencia del hormigón no se vea afectado por la eliminación del agua. Las consecuencias de una pérdida de agua demasiado temprana son:

- Baja resistencia en las partes cercanas a la superficie
- Tendencia a desgranarse
- Alta permeabilidad
- Reducida resistencia al agua
- Baja resistencia a ataques químicos
- Aumento del riesgo de fisuración temprana por retracción

El siguiente diagrama ilustra la cantidad de agua que se evapora por m² de superficie de hormigón en diferentes condiciones. Como puede verse en la figura (línea con flecha), a una temperatura del aire y del hormigón de 20°C, una humedad relativa del aire del 50% y una velocidad media del viento de 20 km/h, se pueden evaporar 0,6 litros de agua por hora en 1 m² de superficie de hormigón. A temperaturas del hormigón superiores a la temperatura del aire y con diferencias de temperatura cada vez mayores, la tasa de evaporación del agua aumenta significativamente. En igualdad de condiciones, una temperatura del hormigón de 25°C daría como resultado un 50% más de evaporación, es decir, 0,9 litros por m² por hora.

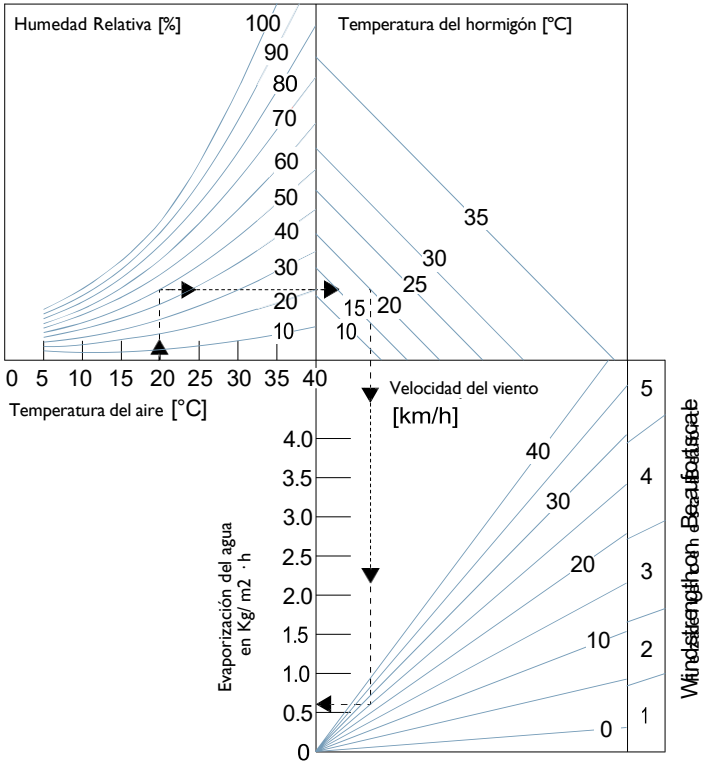


Fig. 10.3.1: Efecto sobre la evaporación de la humedad relativa del aire, la temperatura del aire y del hormigón, así como la velocidad del viento (según VDZ [Asociación Alemana de Fabricantes de Cemento])

Ejemplo:
El hormigón fresco con un contenido de agua de 180 litros por m³ contiene 1,8 litros de agua por m² en una capa de 1 cm de espesor. La tasa de evaporación de 0,6 litros por m² por hora significa que el hormigón pierde una cantidad de agua equivalente al contenido total de agua de las capas de hormigón de 1 cm de espesor en 3 horas y 3 cm de espesor después de 9 horas. Este espesor excede el recubrimiento mínimo de hormigón requerido para estructuras externas según DIN 1045. Un "reabastecimiento" del agua evaporada de las áreas más profundas del hormigón sólo se produce de forma limitada. El impacto negativo sobre la resistencia, la resistencia al desgaste y la impermeabilidad de las capas cercanas a la superficie es considerable.

Los efectos de temperaturas extremas hacen que el hormigón se deforme; se expanda con el calor y se contraiga con el frío. Esta deformación provoca tensiones que pueden producir fisuras, como ocurre con la contracción retracciónpor retracción. Por lo tanto, es importante evitar grandes diferencias de temperatura (> 15 K) entre la masa y la superficie del hormigón fresco y la exposición a cambios bruscos de temperatura en hormigones parcialmente endurecidos.

Las tensiones mecánicas como oscilaciones violentas y golpes fuertes durante el fraguado y en la fase de endurecimiento inicial pueden comprometer la estructura interna del hormigón.
El agua de lluvia y el agua corriente a menudo causan daños permanentes al hormigón fresco o nuevo. Los daños durante los trabajos posteriores deben evitarse mediante la protección de los bordes y el uso de cubiertas protectorasprotectores para las superficies de hormigón "sin formar" y dejando el hormigón por más tiempo en el encofrado antes de desencofrar.

El ataque químico por sustancias en las aguas subterráneas, el suelo o el aire puede dañar el hormigón o hacerlo inadecuado para su propósito, incluso con una formulación de mezcla adecuada y una instalación correcta. Estas sustancias deben mantenerse alejadas del hormigón durante el mayor tiempo posible, p. ej. blindando, drenando o cubriendo.

Métodos de curado
Las medidas de protección contra el secado prematuro son:
- Aplicar membranas de curado (e.j. Sika® Antisol®)
- Dejar los encofrados en su lugar
- Cubrir con mantas
- Usar membranas retenedoras de agua
- Mantener el hormigón húmedo o sumergido
- Una combinación de todos los métodos anteriores

Los agentes de curado líquidos como Sika®Antisol® E-20 se pueden rociar sobre la superficie de hormigón con herramientas simples (por ejemplo, rociadores de baja presión, tipo jardín). Deben aplicarse en toda la superficie lo antes posible: en las caras de hormigón expuestas inmediatamente cuando la superficie "brillante" inicial del hormigón fresco se vuelve "mate", y en las caras formadas inmediatamente después de la extrusión. Siempre es importante formar una membrana densa y aplicar la cantidad correcta (en g/ m²) como se especifica y de acuerdo con las instrucciones de uso. Pueden ser necesarias varias aplicaciones en caras verticales de hormigón.

Sika®Antisol® E-20 es de color blanco lechoso cuando está fresco, lo que hace que los defectos o irregularidades de la aplicación sean fáciles de detectar. Cuando se seca, forma una membrana protectora transparente.

Dejar el encofrado en su lugar provoca que el encofrado de madera absorbente se mantenga húmedo y el encofrado de acero se protege del calor (es decir, de la luz solar directa) y del enfriamiento rápido o excesivo a bajas temperaturas.

El recubrimiento cuidadoso con láminas de plástico impermeable es el método más habitual para superficies no formadas. Las láminas deben colocarse de forma contigua y superpuestas sobre el hormigón húmedo; sus bordes deben quedar sujetos (por ejemplo, colocando tablas o piedras) para evitar que el agua se evapore del hormigón. Se recomienda especialmente el uso de láminas de plástico para el hormigón visto, ya que evitarán en gran medida las eflorescencias no deseadas. Las láminas no deben estar directamente sobre el hormigón fresco. También debe evitarse un "efecto chimenea".

Al cubrir superficies de hormigón con materiales que retienen el agua como tela de yute, esterillas de paja, etc., la cubierta debe mantenerse continuamente húmeda o, si es necesario, también debe recibir protección adicional contra la rápida pérdida de humedad con láminas de plástico.

El secado prematuro se puede prevenir manteniendo la superficie continuamente húmeda. La humectación y el secado alternativos pueden provocar tensiones y por lo tanto, fisuras en el hormigón nuevo. Evite la pulverización directa sobre la superficie de hormigón con un chorro de agua, ya que pueden producirse fisuras si la superficie de hormigón se enfría debido a la menor temperatura del agua y al desarrollo de calor latente del hormigón, especialmente en estructuras de hormigón en masa.

Los tipos de equipo adecuados son boquillas o mangueras perforadas del tipo que se utiliza para los aspersores de césped de jardín. Las superficies horizontales se pueden dejar curar bajo el agua siempre que sea posible.

Tabla 10.3.1: Medidas de curado para el hormigón

Método	Medidas	Temperatura exterior °C				
		Menos -3 °C	-3 a +5 °C	5 a 1 0 °C	10 a 25 °C	Más de 25 °C
Láminas/ Membranas de curado	Cubra y / o rocíe con membrana de curado y humedezca. Humedecer los encofrados de madera; proteger el encofrado de acero de la luz solar					X
	Cubrir y/ o rociar con membrana de curado			X	X	
	Cubra y / o rocíe con membrana de curado y aislamiento térmico; aconsejable utilizar encofrado termoaislante, p. ej. madera		X*			
	Cubra y aísle térmicamente; cerrar el área de trabajo (carpa) o calentar (por ejemplo, calentador radiante); también mantenga la temperatura del hormigón a +10 °C durante al menos 3 días	X*	X*			
Agua	Mantenga húmedo de forma ininterrumpida				X	

* Los períodos de curado se mantienen durante los días de temperaturas bajo cero; proteja el hormigón de la precipitación durante al menos 7 días

A bajas temperaturas no basta con evitar la pérdida de agua en la superficie del hormigón. Para evitar un enfriamiento excesivo, se deben preparar y aplicar a tiempo medidas de protección adicionales de aislamiento térmico. Estos dependen principalmente de las condiciones climáticas, el tipo de componentes, sus dimensiones y el encofrado.

No se permite curar con agua en temperaturas bajo cero. Las cubiertas térmicas, como tablas, esteras de paja y juncos secos, paneles de construcción ligeros y esteras de plástico, son una protección adecuada para breves períodos de heladas. La cubierta debe protegerse preferiblemente por ambos lados de la humedad con láminas. Los tapetes de plástico con respaldo de aluminio son los más adecuados y fáciles de manejar. En heladas intensas o períodos prolongados de temperaturas bajo cero, el aire que rodea al hormigón fresco debe calentarse y las superficies de hormigón deben permanecer húmedas. Un buen sellado es importante (por ejemplo, cerrando las aberturas de puertas y ventanas y usando carpas de trabajo cerradas).

Período de curado

El período de curado debe diseñarse de modo que las áreas cercanas a la superficie logren la resistencia estructural e impermeabilidad requeridas para la durabilidad del hormigón y protección contra la corrosión del refuerzo. El desarrollo de la resistencia está estrechamente relacionado con la composición del hormigón, la temperatura del hormigón fresco, las condiciones ambientales y las dimensiones del hormigón. El período de curado requerido está influenciado por los mismos factores.

Como parte del proceso de estandarización europeo, se están preparando reglas europeas estandarizadas para el curado del hormigón.

El principio del borrador europeo está incorporado en la norma DIN 1045-3. Su base es que el curado debe continuar hasta obtener el 50% de la resistencia característica fck en el elemento de hormigón. Para definir el período de curado necesario, el productor de hormigón debe proporcionar información sobre el desarrollo de la resistencia del hormigón. La información se basa en la relación de la resistencia a la compresión promedio de 2 a 28 días a 20°C y conduce a la clasificación en el rango de desarrollo de resistencia rápido, promedio, lento o muy lento. El período de curado mínimo prescrito según DIN 1045-3 se basa en estos rangos de desarrollo de resistencia.

11 NORMATIVA

11.1 NORMATIVA

En 2013, se revisó la Norma Europea existente referente al hormigón y actualmente la que rige es la norma EN 206. Aplica para el hormigón para estructuras confeccionadas in situ, elementos y estructuras prefabricados y productos prefabricados estructurales para edificios y estructuras de obra civil.



Aplica para
- Hormigón de densidad normal
- Hormigones pesados
- Hormigones ligeros
- Hormigón pretensado

No aplica para
- Hormigón con aire incorporado
- Hormigón con espuma
- Hormigones de estructura abierta (sin finos)
- Morteros con un tamaño máximo de partícula ≤ 4 mm
- Hormigones de densidad menor a 800 kg/m³
- Hormigón refractario

El hormigón se especifica como hormigón de diseño (teniendo en cuenta la clasificación de exposición y los requisitos) o como hormigón prescrito (especificando la composición del hormigón).

11.1.1 DEFINICIONES DE LA NORMA

Propiedades del hormigón, exposición

- *Hormigón de diseño*
  Hormigón para el cual se especifican las propiedades requeridas y características adicionales al productor quien es responsable de proporcionar un hormigón conforme a las propiedades requeridas y características adicionales.
- *Hormigón prescrito*
  Hormigón para el cual se especifica la composición del hormigón y los materiales constituyentes a utilizar al productor, quien es responsable de proporcionar un hormigón con la composición especificada.
- *Acciones ambientales (□ clases de exposición)*
  Aquellas acciones químicas y físicas a las que está expuesto el hormigón y que provocan efectos sobre el hormigón o refuerzo o metal empotrado que no se consideran cargas en el diseño estructural.
- *Especificación del hormigón*
  Recopilación final de requisitos técnicos documentados entregados al productor en términos de rendimiento o composición.
- *Hormigón prescrito estándar*
  Hormigón prescrito para el que la composición se da en una norma válida en el lugar de uso del hormigón.
- *Especificador*
  Persona u empresa que establece la especificación del hormigón fresco y endurecido.
- *Productor*
  Persona o empresa que produce hormigón fresco.
- *Usuario*
  Persona o empresa que utiliza hormigón fresco en la ejecución de una construcción o un elemento.

Balance hídrico del hormigón

- *Contenido total de agua*
  Incluye el agua de amasado, el agua ya contenida en los áridos y en la superficie de los áridos, el agua en los aditivos y en adiciones usadas en forma de suspensión y agua resultante de cualquier calentamiento de hielo o vapor añadido.
- *Contenido de agua efectivo*
  Diferencia entre el agua total presente en el hormigón fresco y el agua absorbida por los áridos.
- *Relación a/c*
  Relación entre el contenido de agua efectivo y el contenido de cemento en masa en el hormigón fresco.

Carga, entrega, lugar de uso

- *Hormigón mezclado In-situ*
  Hormigón producido en el sitio de la construcción por el constructor para su propio uso.
- *Hormigón premezclado*
  Hormigón entregado en estado fresco por una persona u organismo que no sea el usuario. El hormigón premezclado en el sentido de esta norma también incluye:
  – hormigón producido fuera del sitio por el usuario
  – hormigón producido en el sitio, pero no por el usuario
- *Carga*
  Cantidad de hormigón transportado en un vehículo que comprende uno o más lotes.
- *Lote*
  Cantidad de hormigón fresco producido en un ciclo de amasado o la cantidad descargada durante 1 min de un mezclador continuo.

11.1.2 CLASES DE EXPOSICIÓN RELACIONADAS CON ACCIONES MEDIOAMBIENTALES

Las acciones ambientales se clasifican como clases de exposición. Las clases de exposición a seleccionar dependen de las disposiciones vigentes en el lugar de uso del hormigón. Esta clasificación de exposición no excluye la consideración de condiciones especiales existentes en el lugar de uso del hormigón o la aplicación de medidas de protección como el uso de acero inoxidable u otro metal resistente a la corrosión y el uso de revestimientos protectores para el hormigón o el refuerzo de acero. El hormigón puede estar sujeto a más de una de las acciones descritas. Por tanto, las condiciones medioambientales a las que está sometido pueden necesitar expresarse como una combinación de clases de exposición.

Tabla 11.1.2.1: Clases de exposición según EN 206

Clase	Descripción del entorno	Ejemplos donde podría ocurrir
	Sin riesgo de corrosión o ataque	
XO	Para hormigón sin refuerzo o anclajes metálicos: todas las exposiciones, excepto donde hay hielo/ deshielo, abrasión o ataque químico Para hormigón con refuerzo de acero o metal empotrado: muy seco	Hormigón en el interior de edificios con baja humedad del aire
	Corrosión inducida por carbonatación	
XC1	Seco o permanentemente mojado	Hormigón en el interior de edificios con baja humedad del aire. Hormigón permanentemente sumergido en agua
XC2	Húmedo, rara vez seco	Superficies de hormigón sujetas a contacto prolongado con el agua; muchas fundaciones
XC3	Humedad moderada	Hormigón dentro de edificios con humedad del aire moderada o alta; hormigón exterior protegido de la lluvia
XC4	Cíclico húmedo y seco	Superficies de hormigón sujetas a contacto con el agua, no dentro de la clase de exposición XC2
	Corrosión inducida por cloruros distintos del agua de mar	
XD1	Humedad moderada	Superficies de hormigón expuestas a cloruros en el aire
XD2	Húmedo, rara vez seco	Piscinas; hormigón expuesto a aguas industriales que contienen cloruros
XD3	Cíclico húmedo y seco	Partes de puentes expuestas a aerosoles que contienen cloruros; pavimentos; losas de aparcamiento
	Corrosión inducida por cloruros del agua de mar	
XS1	Expuesto a la sal en el aire, pero no en contacto con agua de mar	Estructuras cercanas o en la costa
XS2	Sumergido permanentemente	Partes de estructuras marinas
XS3	Zonas de mareas, salpicaduras y pulverizaciones	Partes de estructuras marinas

Tabla 11.1.2.2: Clases de exposición de acuerdo a EN 206 (Continúa de Tabla 11.1.2.1)

Clase	Descripción del entorno	Ejemplos donde podría ocurrir
	Ataque hielo/deshielo	
XF1	Saturación de agua moderada, sin sales fundentes	Superficies verticales de hormigón expuestas a lluvia y heladas
XF2	Saturación de agua moderada, con sales fundentes	Superficies verticales de hormigón de estructuras viales expuestas a hielo/ deshielo en el aire
XF3	Alta saturación de agua, sin sales fundentes	Superficies horizontales de hormigón expuestas a lluvia y heladas
XF4	Alta saturación de agua, con sales fundentes	Cubiertas de carreteras y puentes expuestos a sales fundentes; Superficies de hormigón expuestas a pulverización directa que contienen sales fundentes y heladas
	Ataque químico	
XA1	Entorno químico ligeramente agresivo según Tabla 11.1.2.3	Hormigón en plantas de tratamiento de agua; contenedores de material de consistencia líquida
XA2	Entorno químico moderadamente agresivo según Tabla 11.1.2.3	Componentes de hormigón en contacto con agua de mar; componentes en el suelo corrosivos para el hormigón
XA3	Entorno químico altamente agresivo según Tabla 11.1.2.3	Plantas de efluentes industriales con efluente corrosivo para el hormigón; tanques de ensilaje; estructuras de hormigón para evacuación de gases de combustión

Tabla 11.1.2.3: Métodos de prueba

Característica Química		Ensayo de referencia	XA1	XA2	XA3
			Agua		
SO_4^{2-}	mg/L	EN 196-2	≥ 200 y ≤ 600	> 600 y ≤ 3.000	> 3.000 y ≤ 6.000
pH	mg/L	ISO 4316	≤ 6,5 y ≥ 5,5	< 5,5 y ≥ 4,5	< 4,5 y 4,0
CO_2 agresivo	mg/L	EN 13577	≥ 15 y ≤ 40	> 40 y ≤ 100	> 100 hasta saturación
NH_4^+	mg/L	ISO 7150-1	≥ 15 y ≤ 30	≥ 30 y ≤ 60	> 60 y ≤ 100
Mg^{2+}	mg/L	ISO 7980	≥ 300 y ≤ 1.000	> 1.000 y ≤ 3.000	> 3.000 hasta saturación
			Suelo		
SO_4^{2-}	mg/kg[a] total	EN 196-2[b]	≥ 2.000 y ≤ 3.000[c]	≥ 3.000[c] y ≤ 12.000	> 12.000 y ≤ 24.000
Acidez	mL/kg	DIN 4030-2	> 200 Baumann Gully	no encontrado en la práctica	

[a] Los suelos arcillosos con una permeabilidad inferior a 10-5 m/ s pueden trasladarse a una clase inferior.

[b] b El método de prueba prescribe la extracción de SO42- por ácido clorhídrico; alternativamente, se puede utilizar la extracción de agua, si se dispone de experiencia en el lugar de uso del hormigón.

[c] El límite de 3000 mg/ kg se reducirá a 2000 mg/ kg, cuando exista riesgo de acumulación de iones sulfato en el hormigón debido a ciclos de secado y mojado o aspiración capilar.

Se proporciona una lista de las clases de exposición y los contenidos mínimos de cemento asociados al final del Extracto de EN 206: Tabla 2: Valores límite recomendados para la composición y propiedades del hormigón.

	Clase de exposición																	
	Sin riesgo de ataque por corrosión	Corrosión inducida por carbonatación				Corrosión inducida por cloruros						Ataque de hielo/ deshielo				Ambientes químicos agresivos		
						Agua de mar			Cloruro que no sea del agua de mar									
	XO	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Máxima a/c	–	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Resistencia mínima	C12/ 15	C20/ 25	C25/ 30	C30/ 37	C30/ 37	C30/ 37	C35/ 45	C35/ 45	C30/ 37	C30/ 37	C35/ 45	C30/ 37	C25/ 30	C30/ 37	C30/ 37	C30/ 37	C30/ 37	C35/ 45
Contenido mínimo de cemento [kg/m³]	–	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Contenido mínimo de aire [%]	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4,0 [a]	4,0 [a]	4,0 [a]	–	–	–
Otros requerimientos													Árido según EN 12620 con suficiente resistencia a hielo/deshielo				Cemento resistente al sulfato [b]	

a Cuando el hormigón no contiene aire incorporado, el rendimiento del hormigón debe ensayarse de acuerdo con un método de ensayo apropiado en comparación con un hormigón para el que se haya probado la resistencia al hielo/deshielo para la clase de exposición relevante.

b Cemento con resistencia moderada o alta a sulfatos en la clase de exposición XA2 (y en la clase de exposición XA1 cuando corresponda) y cemento con alta resistencia a sulfatos en la clase de exposición XA3.

Las clases de consistencia de las tablas siguientes no están directamente relacionadas. Para el hormigón húmedo, es decir, hormigón con bajo contenido de agua, la consistencia no se clasifica.

Tabla 11.1.3.1: Compactación

Clase de compactación	
Clase	Grado de Compactación
C0[a]	≥ 1,46
C1	1,45 a 1,26
C2	1,25 a 1,11
C3	1,10 a 1,04
C4[b]	< 1,04

[b] El C4 sólo se aplica al hormigón ligero

[a] Para más información, véase el anexo L, línea 11 (EN206)

Tabla 11.1.3.2: Flujo clases

Clases de flujo	
Clase	Diámetro de Flujo en mm
F1[a]	≤ 340
F2	350 a 410
F3	420 a 480
F4	490 a 550
F5	560 a 620
F6[a]	≥ 630

[a] Para más información, véase el anexo L, línea 11 (EN206)

Tabla 11.1.3.3: Asentamiento clases

Clases de asentamiento	
Clase	Asentamiento en mm
S1	10 a 40
S2	50 a 90
S3	100 a 150
S4	160 a 210
S5[a]	≥ 220

[a] Para más información, véase el anexo L, línea 11 (EN206)

Tabla 11.1.3.4: Clases de flujo de Asentamiento

Clases de Flujo de escurrimiento	
Clase	Flujo de escurrimiento en mm
SF1	550 a 650
SF2	660 a 750
SF3	760 a 850

[a] La clasificación no es aplicable al hormigón con D_{max} superior a 40 mm

11.1.4 CLASES DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Para la clasificación se puede utilizar la resistencia a la compresión característica de cilindros de 150 mm de diámetro por 300 mm o de cubos de 150 mm.

Tabla 11.1.4.1: Clases de resistencia a la compresión para hormigón normal y hormigón pesado:

Clase de resistencia a compresión	Resistencia mínima característica cilíndrica $f_{ck,cilindro}$ N/mm²	Resistencia mínima característica cúbica $f_{ck,cubo}$ N/mm²
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

Tabla 11.1.4.2: Clases de resistencia a compresión para hormigón ligero:

Clase de resistencia a compresión	Resistencia mínima característica cilíndrica $f_{ck,cilindro}$ N/mm²	Resistencia mínima característica cúbica $f_{ck,cubo}$ N/mm²
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
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

Tabla 11.1.4.3: Clases de densidad para hormigón ligero:

Tipo de Densidad	D 1.0	D 1.2	D 1.4	D 1.6	D 1.8	D 2.0
Rango de densidad kg/m³	≥ 800 y ≤ 1.000	> 1.000 y ≤ 1.200	> 1.200 y ≤ 1.400	> 1.400 y ≤ 1.600	> 1.600 y ≤ 1.800	> 1.800 y ≤ 2.000

Si se utilizan adiciones de tipo II (cenizas volátiles y humo de sílice, véase el capítulo 3.4, página 36), mediante el enfoque del valor *k* las adiciones de tipo II pueden tenerse en cuenta en el cálculo del agua del hormigón fresco. El concepto de valor *k* puede variar de un país a otro.

Uso de:	
Cemento	"Relación agua/ cemento"
Cemento y tipo II de adición	"Relación Agua / (cemento + *k* × adición)"

El valor real de *k* depende de la adición específica.

Concepto de valor k para las cenizas volantes conforme a la norma EN 450

La cantidad máxima de cenizas volantes que se tendrá en cuenta para el concepto de valor *k* deberá cumplir el requisito:

CEM I: Ceniza volante / cemento ≤ 0,33 por masa
CEM II/A: Ceniza volante / cemento ≤ 0,25 por masa (EN 206)

Si se utiliza una cantidad mayor de cenizas volantes, el exceso no se tendrá en cuenta para el cálculo de la relación agua / (cemento + *k* × cenizas volantes) y del contenido mínimo de cemento.

Se admiten los siguientes valores *k* para hormigones que contengan cemento del tipo CEM I y CEM II/A (EN 206) conforme a la norma EN 197-1:

CEM I y CEM II/A	*k* = 0,4

Contenido mínimo de cemento para la clase de exposición correspondiente (Extracto de la norma EN 206: Anexo F: Valores límite recomendados para la composición y las propiedades del hormigón):
Puede reducirse en una cantidad máxima de *k* × (contenido mínimo de cemento - 200) kg/m³. Además, la cantidad de (cemento + cenizas volantes) no será inferior al contenido mínimo de cemento requerido.
El concepto de valor *k* no se recomienda para el hormigón que contiene una combinación de cenizas volantes y cemento CEM I resistente a los sulfatos en el caso de las clases de exposición XA2 y XA3 cuando la sustancia agresiva es el sulfato.

Concepto de valor k para el humo de sílice de clase 1 conforme a la norma EN 13263-1

La cantidad máxima de humo de sílice que debe tenerse en cuenta para la relación a/c y el contenido de cemento deberá cumplir el requisito:

Humo de sílice/ cemento ≤ 0,11 en masa

Si se utiliza una cantidad mayor de humo de sílice, el exceso no se tendrá en cuenta para el concepto de valor *k*.

Los valores k que se permiten aplicar para el hormigón que contiene cemento tipo CEM I y CEM II/A (excepto los cementos que incluyen humo de sílice) conforme a la norma EN 197-1:

Relación a/c:	
≤ 0,45	*k* = 2,0
> 0,45	*k* = 2,0 excepto para las clases de exposición XC y XF en las que *k* = 1,0

Contenido mínimo de cemento para la clase de exposición correspondiente (véase el extracto de la norma EN 206: Anexo F: Valores límite recomendados para la composición y las propiedades del hormigón):

No se reducirá en más de 30 kg/m³ en los hormigones destinados a clases de exposición para las que el contenido mínimo de cemento es ≤ 300 kg/m³.

Además, la cantidad de (cemento + *k* × humo de sílice) no será inferior al contenido mínimo de cemento requerido para la clase de exposición correspondiente.

Concepto de valor k para la escoria granulada de alto horno conforme a la norma EN 15167-1 (según EN 206)

La cantidad máxima de escoria granulada de alto horno (GGBS) que debe tenerse en cuenta para el concepto de valor *k* deberá cumplir el requisito:

ggbs / cemento = 1,0 en masa

Si se utiliza una cantidad mayor de GGBS, el exceso no se tendrá en cuenta para el cálculo de la relación agua / (cemento + *k* × ggbs) y el contenido mínimo de cemento.

El siguiente valor *k* es aplicable para hormigones que contengan los tipos de cemento CEM I y CEM II/A conforme a la norma EN 197-1 se recomienda para cualquier GGBS conforme a la norma EN 15167-1.

k-valor	*k* = 0,6

11.1.6 CONTENIDO DE CLORUROS (EXTRACTO DE EN 206)

El contenido de cloruro de un hormigón, expresado como el porcentaje de iones de cloruro por masa de cemento, no deberá superar el valor para la clase seleccionada que se indica en la tabla siguiente.

Tabla 11.1.6.1: Máximo contenido de cloruros en el hormigón

Hormigón usado	Contenido de cloruro clase[a]	Contenido máximo de cloruro en peso de cemento[b]
No contiene refuerzos de acero ni otros metales incrustados, a excepción de los dispositivos de elevación resistentes a la corrosión	Cl 1,00	1,0%
Con refuerzo de acero u otro metal incrustado	Cl 0,20	0,20%
	Cl 0,40[c]	0,40%
Con refuerzo de acero pretensado	Cl 0,10	0,10%
	Cl 0,20	0,20%

[a] Para un uso específico del hormigón, la clase que debe aplicarse depende de las disposiciones válidas en el lugar de utilización del hormigón.

[b] Cuando se utilizan adiciones de tipo II y se tienen en cuenta para el contenido de cemento, el contenido de cloruro se expresa como el porcentaje de iones de cloruro por masa de cemento más la masa total de las adiciones que se tienen en cuenta.

[c] Pueden permitirse diferentes clases de cloruro para el hormigón que contenga cementos CEM III según las disposiciones vigentes en el lugar de utilización.

11.1.7 ESPECIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

Tabla 11.1.7.1: Ejemplo: Hormigón bombeado para losa de sótano en zona de aguas subterráneas

Especificación conforme a la norma EN 206 (hormigón de diseño)	
Hormigón conforme a la norma EN 206 C 30/37 XC 4 Cl 0,20	D_{max} 32 (máx. diámetro de partículas) C3 (grado de compactación) Bombeable

11.1.8 CONTROL DE CONFORMIDAD

Comprende el conjunto de acciones y decisiones que deben tomarse de acuerdo con las normas de conformidad adoptadas previamente para comprobar la conformidad del hormigón con la especificación.
El control de conformidad distingue entre el hormigón de diseño y el hormigón prescrito. También intervienen otros controles variables en función del tipo de hormigón.

Tabla 11.1.8.1: Índice mínimo de muestreo para evaluar la resistencia a la compresión (según la norma EN 206)

Producción	Índice Mínimo de Muestreo		
	Primeros 50 m³ de producción	Después de los primeros 50 m³ de producción a, la tasa más alta dada por:	
		Hormigón con certificación de control de producción	Hormigón sin certificación de control de producción
Inicial (hasta que se obtengan al menos 35 resultados de pruebas)	3 muestras	1 por 200 m³ o 1 por 3 días[d] de producción	1 por 150 m³ o 1 por día[d] de producción
Continuo[b] (cuando se dispone de al menos 35 resultados de pruebas)		1 por 400 m³ o 1 por 5 días[c,d] de producción o 1 por mes de calendario	

[a] El muestreo debe ser distribuido en la producción y no debe ser mas de 1 muestra por cada 25 m³.

[b] Cuando la desviación estándar de 15 o más datos exceda el límite de 5n de acuerdo con la tabla 19, el muestreo debe ser aumentado en la producción para obtener 35 o más datos.

[c] O si hay masmás de cinco días de producción dentro de 7 días consecutivos de una semana.

[d] La definición de día de producción será de acuerdo con el lugar de ejecución.

Criterios de conformidad para la resistencia a la compresión: ver EN 206 Hormigón curado para losa de sótano en zona de aguas subterráneas.

11.1.9 PRUEBA DE OTRAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

Además de la resistencia a la compresión, deben proporcionarse certificados de conformidad según la norma EN 206 para otras propiedades del hormigón fresco y endurecido.

Se especifica un plan de muestreo y ensayo y criterios de conformidad para la resistencia a la rotura por tracción, la consistencia (trabajabilidad), la densidad, el contenido de cemento, el contenido de aire, el contenido de cloruro y la relación a/c (véanse las secciones pertinentes de la norma EN 206).

En los capítulos 5 y 7 se detallan los métodos de ensayo individuales.

11.2 NORMAS EN 934-2

La norma EN 934-2 especifica las definiciones y los requisitos de los aditivos para el hormigón. Abarca los aditivos para el hormigón simple, armado y pretensado que se utilizan en el hormigón mezclado en obra, el hormigón preparado y el hormigón prefabricado.
Los requisitos de rendimiento de la norma EN 934-2 se aplican a los aditivos utilizados en el hormigón de consistencia normal. En el capítulo 3.3 se describen los diferentes tipos de aditivos.



Los requisitos de rendimiento pueden no ser aplicables a los aditivos destinados a otros tipos de hormigón, como las mezclas de áridos semisecos y húmedos.

11.2.1 REQUISITOS ESPECÍFICOS DE LA NORMA

Tabla 11.2.1.1: Requisitos específicos para los aditivos reductores de agua/ plastificantes (a igual consistencia)

No.	Propiedad	Hormigón de referencia	Método de Ensayo	Requerimientos
1	Reducción de agua	EN 480-1 referencia hormigón I	Asentamiento EN 12350-2 o flujo EN 12350-5	En mezcla de prueba ≥ 5% comparado con la mezcla de control
2	Referencia	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12390-3	A 7 y 28 días: mezcla de prueba ≥ 110% de la mezcla de control
3	Contenido de aire en hormigón fresco	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12350-7	Mezcla de prueba ≤ 2% en volumen por encima de la mezcla de control, a menos que el fabricante indique lo contrarior

Tabla 11.2.1.2: Requisitos específicos para los aditivos reductores de agua/ superplastificantes de alta gama (a igual consistencia)

No.	Propiedad	Hormigón de referencia	Método de Ensayo	Requerimientos
1	Reducción de agua	EN 480-1 referencia hormigón I	Asentamiento EN 12350-2 o flujo EN 12350-5	En mezcla de prueba ≥ 12% comparado con la mezcla de control
2	Referencia	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12390-3	A 1 día: mezcla de prueba ≥ 140% de la mezcla de control A 28 días: Mezcla de prueba ≥ 115% de la mezcla de control
3	Contenido de aire en hormigón fresco	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12350-7	Mezcla de prueba ≤ 2% en volumen por encima de la mezcla de control, a menos que el fabricante indique lo contrarior

Tabla 11.2.1.3: Requisitos específicos para los aditivos reductores de agua/ superplastificantes de alta gama (a igual relación a/c)

No.	Propiedad	Hormigón de referencia	Método de ensayo	Requerimientos
1	Incremento de consistencia	EN 480-1 referencia hormigón IV	Asentamiento EN 12350-2 o flujo EN 12350-5	Aumento del asentamiento ≥ 120 mm desde el inicial (30±10) mm Aumento del flujo ≥ 160 mm desde el inicial (350±20) mm
2	Retención de consistencia	EN 480-1 referencia hormigón IV	Asentamiento EN 12350-2 o flujo EN 12350-5	30 minutos después de la adición, la consistencia de la mezcla de ensayo no debe ser inferior al valor de la consistencia inicial de la mezcla de control
3	Resistencia a compresión	EN 480-1 referencia hormigón IV	EN 12390-3	A los 28 días: Mezcla de prueba ≥ 90% de la mezcla de control
4	Contenido de aire en hormigón fresco	EN 480-1 referencia hormigón IV	EN 12370-7	Mezcla de prueba ≤ 2% en volumen por encima de la mezcla de control, a menos que el fabricante indique lo contrario

Nota:
La dosificación del superplastificante utilizada para cumplir los requisitos de la tabla 11.2.1.3 no tiene que ser la misma que la utilizada para cumplir los requisitos de la tabla 11.2.1.2.

Tabla 11.2.1.4: Requisitos específicos para los aditivos de retención de agua (a igual consistencia)

No.	Propiedad	Referencia de Hormigón	Método de Ensayo	Requerimientos
1	Sangrado	EN 480-1 referencia hormigón II	EN 480-4	En mezcla de prueba ≤ 50% de la mezcla de control
2	Resistencia a compresión	EN 480-1 referencia hormigón II	EN 12390-3	A 7 y 28 días: mezcla de prueba ≥ 80% de la mezcla de control
3	Contenido de aire en hormigón fresco	EN 480-1 referencia hormigón II	EN 12350-7	Mezcla de prueba ≤ 2% en volumen por encima de la mezcla de control, a menos que el fabricante indique lo contrario

Tabla 11.2.1.5: Requisitos específicos para los aditivos inclusores de aire (a igual consistencia)

No.	Propiedad	Referencia de Hormigón	Método de Ensayo	Requerimientos[a]
1	Contenido de aire en hormigón fresco (Aire incorporado)	EN 480-1 referencia hormigón III	EN 12350-7	Mezcla de prueba ≥ 2,5% en volumen por encima de la mezcla de control. Total contenido de aire 4% a 6% en volumen
2	Características de los huecos de aire en el hormigón endurecido	EN 480-1 referencia hormigón III	EN 480-11[b]	Factor de separación en la mezcla de prueba ≤ 0,200 mm
3	Resistencia a compresión	EN 480-1 referencia hormigón III	EN 12390-3	A 28 días: Mezcla de prueba ≥ 75% de la mezcla de control

[a] Todos los requisitos se aplican a la misma mezcla de prueba.

[b] EN 480-11 es el método de referencia. Otros métodos para determinar el factor de espaciamiento (por ejemplo, método de recuento de puntos modificado) se puede utilizar siempre que se pueda demostrar que dan esencialmente los mismos resultados que el método en EN 480-11.

Tabla 11.2.1.6: Requisitos específicos para los aditivos acelerantes del fraguado (a igual consistencia)

No.	Propiedad	Referencia de hormigón	Método de ensayo	Requerimientos
1	Tiempo inicial de fraguado	EN 480-1 referencia mortero	EN 480-2	A 20°C: Mezcla de prueba ≥ 30 min A 5°C: Mezcla de prueba ≤ 60% de la mezcla de control
2	Resistencia a compresión	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12390-3	A 28 días: Mezcla de prueba ≥ 80% de la mezcla de control A 90 días mezcla de prueba ≥ mezcla de prueba a 28 días
3	Contenido de aire en hormigón fresco	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12350-7	Mezcla de prueba < 2% en volumen por encima de la mezcla de control a menos que el fabricante indique lo contrario

Tabla 11.2.1.7: Requisitos específicos para los aditivos aceleradores del endurecimiento (a igual consistencia)

No.	Propiedad	Referencia de Hormigón	Método de Ensayo	Requerimientos
1	Resistencia a compresión	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12390-3	A 20°C and 24h: Mezcla de prueba / ≥ 120% mezcla de control / At 20 °C y 28 días: Mezcla de prueba ≥ 90% mezcla de control A 5°C y 48 horas: Mezcla de prueba / ≥ 130% mezcla de control
2	Contenido de aire en hormigón fresco	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12350-7	Mezcla de prueba ≤ 2% en volumen por encima de la mezcla de control, a menos que el fabricante indique lo contrario

Tabla 11.2.1.8: Requisitos específicos para los aditivos retardadores retardantes del fraguado (a igual consistencia)

No.	Propiedad	Referencia de Hormigón	Método de Ensayo	Requerimientos
1	Tiempo de fraguado	EN 480-1 referencia mortero	EN 480-2	Inicial: Mezcla de prueba ≥ mezcla de control + 90 min Final: Mezcla de prueba ≤ mezcla de control + 360 min
2	Resistencia a compresión	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12390-3	A 7 días: Mezcla de prueba ≥ 80% mezcla de control A 28 días: Mezcla de prueba ≥ 90% mezcla de control
3	Contenido de aire en hormigón fresco	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12350-7	Mezcla de prueba ≤ 2% en volumen por encima de la mezcla de control, a menos que el fabricante indique lo contrario

Tabla 11.2.1.9: Requisitos específicos para aditivos resistentes al agua (a igual consistencia o igual relación a a/c[a])

No.	Propiedad	Referencia de Hormigón	Método de Ensayo	Requerimientos[a]
1	Absorción por capilaridad	EN 480-1 referencia mortero	EN 480-5	Probado durante 7 días después de 7 días de curado: Mezcla de prueba ≤ 50% en masa de mezcla de control Probado durante 28 días después de 90 días de curado: Mezcla de prueba ≤ 60% en masa de mezcla de control
2	Resistencia a compresión	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12390-3	A los 28 días: mezcla de prueba ≥ 85% de la mezcla de control
3	Contenido de aire en hormigón fresco	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12350-7	Mezcla de prueba ≤ 2% en volumen por encima de la mezcla de control, a menos que el fabricante indique lo contrario

[a] Todas las pruebas se realizarán a igual consistencia o a igual relación a/c

Tabla 11.2.1.10: Requisitos específicos para los aditivos retardantes de fraguado/ reductores de agua/ plastificantes (a igual consistencia)

No.	Propiedad	Referencia de Hormigón	Método de Ensayo	Requerimientos
1	Resistencia a compresión	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12390-3	A 28 días: Mezcla de prueba ≥ 100% mezcla de control
2	Tiempo de fraguado	EN 480-1 referencia mortero	EN 480-2	Inicial: Mezcla de prueba ≥ mezcla de control + 90 min Final: Mezcla de prueba ≤ mezcla de control + 360 min
3	Reducción de agua	EN 480-1 referencia hormigón I	Asentamiento EN 12350-2 o flujo EN 12350-5	En mezcla de prueba ≥ 5% comparado con la mezcla de control
4	Contenido de aire en hormigón fresco	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12350-7	Mezcla de prueba ≤ 2% en volumen por encima de la mezcla de control, a menos que el fabricante indique lo contrario

Tabla 11.2.1.11: Requisitos específicos para los aditivos retardantes de fraguado/ reductores de agua de alto rango/ superplastificantes (a igual consistencia)

No.	Propiedad	Referencia de Hormigón	Método de Ensayo	Requerimientos
1	Resistencia a compresión	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12390-3	A 7 días: Mezcla de prueba ≥ 100% de la mezcla de control A 28 días: Mezcla de prueba ≥ 115% de la mezcla de control
2	Tiempo de fraguado	EN 480-1 reference mortar	EN 480-2	Inicial: Mezcla de prueba ≥ mezcla de control + 90 min Final: Mezcla de prueba ≤ mezcla de control + 360 min
3	Reducción de agua	EN 480-1 referencia mortero I	Asentamiento EN 12350-2 o flujo EN 12350-5	En mezcla de prueba ≥ 12% comparada con la mezcla de control
4	Contenido de aire en hormigón fresco	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12350-7	Mezcla de prueba ≤ 2% en volumen por encima de la mezcla de control, a menos que el fabricante indique lo contrario

Tabla 11.2.1.12: Requisitos específicos para los aditivos retardantes de fraguado/ reductores de agua de alto rango/ superplastificantes (a igual relación a/c[a])

No.	Propiedad	Referencia de Hormigón	Método de ensayo	Requerimientos
1	Retención de consistencia	EN 480-1 referencia hormigón IV	slump EN 12350-2 or flow EN 12350-	60 min after addition the consistence of the test mix shall not fall below the value of the initial consistence of the control mix
2	Resistencia a compresión	EN 480-1 referencia hormigón IV	EN 12390-3	At 28 days: Test mix ≥ 90% of control mix
3	Contenido de aire en hormigón fresco	EN 480-1 referencia hormigón IV	EN 12350-7	Test mix ≤ 2% by volume above control mix unless stated otherwise by the manufacturer

[a] El cumplimiento de la dosificación de los aditivos utilizados para alcanzar los requisitos de la tabla 11.2 no tiene que ser la misma que la utilizada para cumplir los requisitos de la tabla 11.1

Tabla 11.2.1.13: Requisitos específicos para los aditivos acelerantes de fraguado/ reductores de agua/ plastificantes (a igual consistencia)

No.	Propiedad	Referencia de hormigón	Método de ensayo	Requerimientos
1	Resistencia a compresión	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12390-3	A 28 días: Mezcla de prueba ≥ 100% de la mezcla de control
2	Tiempo de fraguado inicial	EN 480-1 referencia mortero	EN 480-2	A 20 °C: Mezcla de prueba ≥ 30 min A 5°C: Mezcla de prueba ≤ 60% de la mezcla de control
3	Reducción de agua	EN 480-1 referencia hormigón I	Asentamiento EN 12350-2 o flujo EN 12350-5	A 20 °C: Mezcla de prueba ≥ 30 min A 5°C: Mezcla de prueba ≤ 60% de la mezcla de control
4	Contenido de aire en hormigón fresco	EN 480-1 referencia hormigón I	EN 12350-7	Mezcla de prueba ≤ 2% en volumen por encima de la mezcla de control, a menos que el fabricante indique lo contrario

11.3 ASTM “HORMIGÓN Y ÁRIDOS”

Las normas ASTM relativas al tema "hormigón y áridos" se publican cada año en el "Annual Book of ASTM Standards" Volumen 04.02.

Terminología para	ASTM	Titulo
Hormigón y Áridos de Hormigón	C125	Terminología estándar Relativa a hormigón y áridos para hormigón

Contenido

Esta norma es una recopilación de definiciones de términos tal y como se utilizan en las normas bajo la jurisdicción del Comité C09.
Otros términos bajo la jurisdicción del Comité C09 se incluyen en dos normas especializadas.
Los términos relativos a los componentes de los áridos de hormigón se definen en la Nomenclatura Descriptiva C294. Los términos relativos a los componentes de los áridos para el hormigón de protección contra las radiaciones se definen en la Nomenclatura Descriptiva C638.
La terminología relacionada con el cemento hidráulico se incluye en la Terminología C219. En caso de conflicto entre las definiciones de la Terminología C125 y las definiciones de la Terminología C219, las definiciones de la Terminología C125 regirán para las normas del Comité C09.
Cuando un término se utiliza en una norma ASTM de la que es responsable el Comité C09, se incluye aquí sólo si se utiliza en más de una norma del Comité C09.

Especificación para	ASTM	Especificación Estándar para
Hormigón premezclado	C94	Hormigón premezclado

Contenido

Esta especificación se refiere al hormigón premezclado fabricado y entregado al comprador en estado fresco recién mezclado y no endurecido, tal como se especifica más adelante. Los requisitos de calidad del hormigón serán los especificados más adelante o los especificados por el comprador. En cualquier caso, cuando los requisitos del comprador difieran de los de esta especificación, prevalecerá la especificación del comprador. En ausencia de especificaciones de materiales aplicables designadas, se utilizarán las especificaciones de materiales especificadas para los materiales cementicios, el cemento hidráulico, los materiales cementicios suplementarios, las mezclas de hormigón cementicio, los áridos, los aditivos inclusores de aire y los aditivos químicos. Salvo que se permita específicamente lo contrario, el cemento, los áridos y los aditivos se medirán en masa.
Los mezcladores serán mezcladores estacionarios o mezcladores de camión. Los agitadores serán mezcladores de camión o agitadores de camión. Se realizarán métodos de ensayo de compresión, contenido de aire, asentamiento y temperatura. Para la prueba de resistencia, se harán al menos dos probetas estándar.

Especificación para	ASTM	Especificación Estándar para
Fibras para refuerzo del hormigón	C1116	Hormigón reforzado con fibras

Contenido

Esta especificación cubre todas las formas de hormigón reforzado con fibras que se entregan al comprador con los ingredientes mezclados uniformemente y que pueden ser muestreados y ensayados en el punto de entrega. Esta especificación no cubre la colocación, consolidación, curado o protección del hormigón reforzado con fibras después de la entrega al comprador.

Especificación para	ASTM	Especificación Estándar para
Áridos ligeros y hormigón	C330	Áridos ligeros para hormigón estructural

Contenido

Esta especificación se refiere a los áridos ligeros destinados a ser utilizados en el hormigón estructural en el que las consideraciones principales son la reducción de la densidad manteniendo la resistencia a la compresión del hormigón. Los procedimientos contemplados en esta especificación no están destinados al control de obra del hormigón. Dos tipos generales de áridos ligeros están cubiertos por esta especificación: los áridos preparados por expansión, peletización o sinterización de productos como escoria de alto horno, arcilla, diatomita, cenizas volátiles, esquisto o pizarra; y los áridos preparados por procesamiento de materiales naturales, como piedra pómez, escoria o toba. Los áridos estarán compuestos predominantemente por material inorgánico ligero y granular. Los áridos ligeros se ensayarán y no deberán contener cantidades excesivas de sustancias nocivas; y deberán ajustarse a los valores especificados de impurezas orgánicas, manchas en los áridos, pérdida de ignición de los áridos, grumos de arcilla y partículas friables, densidad aparente, resistencia a la compresión, retracción por secado, estallidos y resistencia a hielo/deshielo.

Especificación para	ASTM	Especificación Estándar para
Polímero modificado Hormigón y Mortero	C1438	Látex y Polvos con polímeros modificados para Cemento Hidráulico Hormigón y Mortero

Contenido

Esta especificación cubre los criterios de desempeño del látex y de los polvos modificados con polímeros para mejorar la adherencia y reducir la permeabilidad del hormigón y el mortero de cemento hidráulico. Los modificadores poliméricos se clasifican para su uso general o para su uso en zonas no expuestas a la humedad y deben ser capaces de producir morteros u hormigones de prueba que se ajusten a los requisitos especificados.

Especificación para	ASTM	Especificación Estándar para
Hormigón premezclado	C685	Hormigón fabricado mediante dosificación volumétrica y mezcla continua

trica y mezcla continua

Esta especificación se refiere al hormigón fabricado por dosificación volumétrica y mezcla continua. Los requisitos de calidad del hormigón serán los que se especifican a continuación o los especificados por el comprador. Cuando los requisitos del comprador difieren de esta especificación, la especificación del comprador regirá la especificación del comprador. Esta especificación no cubre la colocación, consolidación, acabado, curado o protección del hormigón después de la entrega al comprador. Las pruebas y los criterios para la precisión de la dosificación y la eficiencia de la mezcla se especifican en este documento. Los materiales como el cemento, los áridos, el agua, la escoria granulada de alto horno, los aditivos inclusores de aire y los aditivos químicos deberán cumplir con los requisitos contemplados en esta especificación. El material deberá ser sometido a los siguientes métodos de ensayo: probetas de compresión, ensayos de compresión, rendimiento, peso unitario, contenido de aire, asentamiento y temperatura.

Especificación para	ASTM	Especificación Estándar para
Hormigón premezclado	C1602	El agua de mezclado utilizada en la producción de cemento hidráulico

cemento hidráulico

Esta especificación se refiere al agua de mezclado utilizada en la producción de hormigón de cemento hidráulico. Se refiere a las fuentes de agua y proporciona los requisitos y las frecuencias de las pruebas para calificar las fuentes de agua individuales o combinadas. El agua de amasado debe estar compuesta por: agua de amasado, hielo, agua añadida por el operador del camión, humedad libre en los áridos y agua introducida en forma de aditivos. Se permite el uso de agua potable y no potable como agua de mezclado en el hormigón. Los requisitos de rendimiento del hormigón para el agua de amasado son los siguientes: resistencia a la compresión y tiempo de fraguado. La densidad del agua se comprobará o controlará con un hidrómetro. Los límites químicos opcionales para el agua de mezclado combinada se dan para: cloruro, sulfato, álcalis y sólidos totales.

Especificación para	ASTM	Especificación Estándar para
Materiales Cementantes suplementarios	C1697	Mezcla de materiales cementantes suplementarios

Contenido

Esta especificación se refiere a los materiales cementicios suplementarios integrados que resultan de la mezcla o molienda de dos o tres materiales cementicios suplementarios que cumplen con la norma ASTM, para su uso en hormigones o morteros en los que se desea una acción hidráulica o puzolánica, o ambas. Los materiales cementantes suplementarios incluyen el cemento de escoria conforme a la especificación C989, puzolanas naturales y cenizas volantes conforme a especificación C618 y Humo de Sílice con especificación C1240.

Especificación para	ASTM	Especificación Estándar para
Materiales Cementantes suplementarios	C618	Cenizas volantes de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para su uso en el hormigón

Contenido

Especificación se refiere a las cenizas volantes de carbón y a la puzolana natural cruda o calcinada para su uso en el hormigón cuando se desea una acción cementante o puzolánica, o ambas, o cuando se pueden desear otras propiedades normalmente atribuidas a las cenizas volantes o las puzolanas, o cuando se deseen alcanzar ambos objetivos. Las cenizas volantes y las puzolanas naturales deberán ajustarse a los requisitos de composición química y a los requisitos físicos. Los materiales se someterán a pruebas de finura, índice de actividad de resistencia, necesidad de agua, solidez y expansión o retracción en autoclave.

Especificación para	ASTM	Especificación Estándar para
Materiales Cementantes suplementarios	C1240	El humo de sílice utilizado en las mezclas cementicias

Contenido

Esta especificación se refiere al humo de sílice para su uso en el hormigón y otros sistemas que contengan cemento hidráulico. El material estará compuesto de humo de sílice, principalmente de sílice amorfo. Los métodos de ensayo para análisis químico, el contenido de humedad y la pérdida por ignición, la densidad aparente, la superficie específica, el arrastre de aire del mortero, el índice de actividad de resistencia, reactividad con álcalis de cemento y resistencia a sulfatos de humo de sílice deben cumplir esta especificación. Los ensayos físicos incluirán la determinación de la densidad del espécimen y la superficie específica utilizando el método de adsorción de nitrógeno BET. El humo de sílice se almacenará de manera que permita un fácil acceso para la inspección e identificación adecuadas de cada envío.

11.4 ASTM PARA ADITIVOS

La norma ASTM C494 "Especificación Estándar para Aditivos Químicos para el Hormigón" cubre los materiales para su uso como aditivos químicos que se añaden a las mezclas de hormigón de cemento hidráulico en el campo para el propósito o propósitos indicados para los ocho tipos siguientes:

- Tipo A: Aditivos reductores de agua
  un aditivo que reduce la cantidad de agua de amasado necesaria para producir un hormigón de una consistencia determinada
- Tipo B: Aditivos retardantes
  un aditivo que retarda el fraguado del hormigón
- Tipo C: Aditivos acelerantes
  un aditivo que acelera el fraguado y el desarrollo de la resistencia temprana del hormigón
- Tipo D: Aditivos reductores de agua y retardantes
  un aditivo que reduce la cantidad de agua de amasado necesaria para producir un hormigón de una consistencia determinada y retarda el fraguado del hormigón
- Tipo E: Aditivos reductores de agua y acelerantes
  un aditivo que reduce la cantidad de agua de amasado necesaria para producir un hormigón de una consistencia determinada y acelera el fraguado y el desarrollo de la resistencia temprana del hormigón
- Tipo F: Aditivos reductores de agua de alta gama
  un aditivo que reduce la cantidad de agua de amasado necesaria para producir un hormigón de una consistencia determinada en un 12% o más
- Tipo G: Aditivos reductores de agua, de alto rango y retardantes
  un aditivo que reduce la cantidad de agua de amasado necesaria para producir un hormigón de una consistencia determinada en un 12% o más y retarda el fraguado del hormigón
- Tipo S: Aditivos de rendimiento específico
  un aditivo que proporciona una o varias características de rendimiento deseadas, además de reducir contenido de agua, o cambiar el tiempo de fraguado del hormigón, o ambos, sin ningún efecto adverso sobre las propiedades frescas, endurecidas y de durabilidad del hormigón como se especifica en este documento, excluyendo los aditivos que se utilizan principalmente en la fabricación de productos de hormigón fundido en seco

Tabla 11.4.1: Requisitos físicos de un hormigón que contiene aditivos para verificar un tipo específico de aditivo

	Requisitos físicos del hormigón que contiene aditivos [A]							
	Tipo A	Tipo B	Tipo	Tipo D	Tipo E	Tipo F	Tipo G	Tipo S
	Reductor de agua	Retardante	Acelerante	Reductor de agua y retardante	Reducción de agua y acelerado	Reducción de agua, Alto rango	Reducción de agua, Alto rango y retardado	Desempeño específico
Máximo contenido de agua % de control	95			95	95	88	88	
Tiempo de fraguado de la desviación permitida del control, h: min								
Inicial: por lo menos		1:00 después	1:00 antes	1:00 después	1:00 antes		1:00 después	
No más de	1:00 antes 1:30 después	3:30 después	3:30 antes	3:30 después	3:30 antes	1:00 antes 1:30 después	3:30 después	1:00 antes 1:30 después
Final: por lo menos			1:00 antes		1:00 antes			
No más de	1:00 antes 1:30 después	3:30 después		3:30 después		1:00 antes 1:30 después	3:30 después	1:00 antes 1:30 después
Resistencia a compresión, min. % de control [B]								
1 día						140	125	
3 días	110	90	125	110	125	125	125	90
7 días	110	90	100	110	110	115	115	90
28 días	110	90	100	110	110	110	110	90
	(120) [C]			(120) [C]		(120) [C]	(120) [C]	
90 días	(117) [C]	n/a	n/a	(117) [C]	n/a	(117) [C]	(117) [C]	n/a
6 meses	100	90	90	100	100	100	100	90
	(113) [C]			(113) [C]		(113) [C]	(113) [C]	
1 año	100	90	90	100	100	100	100	90
Resistencia a flexión, min. % de control [B]								
3 días	100	90	110	100	110	110	110	90
7 días	100	90	100	100	100	100	100	90
26 días	100	90	90	100	100	100	100	90
Cambio de longitud, retracciónconcontracción máxima (requisitos alternativos): [D]								
Porcentaje de control	135	135	135	135	135	135	135	135
Aumento del control	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Factor de durabilidad relativo,min [E]	80	80	80	80	80	80	80	80

[A] Los valores de la tabla tienen en cuenta las variaciones normales de los resultados de los ensayos. El objetivo de los requisitos de resistencia a la compresión del 90% para los aditivos de tipo B y S es exigir un nivel de rendimiento comparable al del hormigón de referencia.

[B] La resistencia a la compresión y a la flexión del hormigón con aditivo que se ensaya, en cualquier calibre de ensayo, no debe ser inferior al 90% de la obtenida en una edad de ensayo anterior. El objetivo de este límite es exigir que la resistencia a la compresión o a la flexión del hormigón que contiene el aditivo ensayado no disminuya con el tiempo.

[C] Requisito alternativo. Si se cumplen los requisitos físicos y alguna de las resistencias relativas medidas es mayor que el requisito entre paréntesis, el aditivo se considerará provisionalmente calificado hasta que se obtengan los resultados de la prueba de resistencia de 1 año.

[D] Requisito alternativo (véase ASTM C494, 17.1.4) El % del límite de control se aplica cuando el cambio de longitud del control es del 0,030% o superior, el aumento sobre el límite de control se aplica cuando el cambio de longitud del control es inferior al 0,030%.

[E] Este requisito es aplicable únicamente cuando el aditivo se utilice en hormigón con inclusión de aire que pueda estar expuesto a hielo/deshielo mientras está húmedo.

Especificación para	ASTM	Especificación Estándar para
Aditivos Químicos	C260	Aditivos inclusores de aire para hormigón

Contenido

Esta especificación se refiere a los materiales propuestos para su uso como aditivos inclusores de aire que se añaden en campo a las mezclas de hormigón. El aditivo inclusor de aire deberá cumplir con los requisitos tales como el tiempo de fraguado inicial y final, la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión y el cambio de longitud (retracción máxima).

Especificación para	ASTM	Especificación Estándar para
Aditivos Químicos	C1582	Aditivos para inhibir la corrosión del acero de refuerzo en el hormigón inducida por el cloruro

Contenido

Esta especificación se refiere a los materiales que se utilizan como aditivos inhibidores de la corrosión por cloruros para el hormigón. El hormigón debe cumplir los requisitos físicos, como la resistencia a la compresión y a la flexión. El aditivo de ensayo debe mostrar un comportamiento inhibidor de la corrosión con la corriente media integrada de las vigas de ensayo y el área media corroída de las vigas de ensayo como fracción del control. Al finalizar el ensayo, el contenido medio de iones cloruro de las vigas de ensayo debe ser mayor o igual al contenido crítico de iones cloruro.
Se utilizan dos tipos de hormigón para fabricar las probetas de ensayo. Uno, el hormigón de control, se fabrica sin el aditivo inhibidor de la corrosión por cloruros. El otro, el hormigón de prueba, se fabrica con el aditivo inhibidor de la corrosión por cloruros. Las pruebas del hormigón recién mezclado incluyen la prueba de asentamiento, la prueba de aire y la prueba de tiempo de fraguado. Los ensayos del hormigón endurecido incluyen el ensayo de resistencia a la compresión, el ensayo de resistencia a la flexión, el ensayo de resistencia a hielo/ deshielo y el ensayo de cambio de longitud. También se realizarán pruebas de corrosión.

Especificación para	ASTM	Especificación Estándar para
Hormigón proyectado	C1141	Aditivos para Hormigón proyectado

Contenido

Esta especificación se refiere a los materiales propuestos para su uso como aditivos que se añaden a una mezcla de hormigón proyectado de cemento Portland con el fin de alterar las propiedades de la mezcla. El material se clasificará como Tipo I (hormigón proyectado de mezcla seca, con los grados 1-9) y Tipo II (hormigón proyectado para mezcla húmeda, con los grados 1-9).
Cada uno de los grados se clasificará además identificándolo como Clase A (líquido) o Clase B (no líquido). Los aditivos del hormigón proyectado deberán cumplir con los requisitos para el tipo y grado aplicables. Las muestras deben ser de tipo "grab" o "compuestas", según lo especificado o requerido por esta especificación. de esta especificación. El número de pruebas y repruebas a realizar en los materiales especificados será el número estipulado en la norma referida.

12 ÍNDICE

A

Acabado 11, 233
Acelerador 16, 37, 38, 43, 106, 109, 111, 133, 176, 183
Acelerador de endurecimiento 38
Acelerante de fraguado 38
Acelerante libre de álcalis 108
Adiciones 44, 156, 162, 184, 241, 250
Aditivo reductor de agua 37
Aditivo resistente al agua 38, 43, 163, 258
Aditivos 8, 9, 14, 16, 18, 20, 36, 54, 63, 87
Aditivos para el hormigón 8, 14, 36
Adoquines 116
Agente de curado 43, 236
Agua de amasado 36, 51, 77, 264
Agua potable 50
Aguas subterráneas 14, 50, 215, 245
Alisado 63
Área de tráfico 96
Arena 28, 32
Áridos 8, 16, 24, 28, 32, 52, 55, 63, 77, 84, 262
Árido de hormigón 28, 262
Áridos Expuestos 232
Áridos ligeros 28, 30, 80, 180, 209, 263
Áridos machaqueo 88
Áridos pesados 30,211
Asientos en la piel 98
ASR 38, 156, 182
ASTM "Hormigón y áridos 262
Azúcar de madera 76, 226

B

Baldosas 116

C

Caja en L 69
Calor de hidratación 99, 210
Cemento 8, 10, 24, 27, 77, 250
Cemento de escoria 27, 45
Cemento Portland 24
Cenizas volátiles 25, 44, 250, 264
Cilindros 126
Clases de asentamiento 247
Clases de asentamiento y flujo 247
Clases de compactación 247
Clases de exposición 242
Clases de fluidez 247
Clases de resistencia a la compresión 131, 248
Clasificación de la consistencia 247
Cohesión 46, 83
Compactabilidad 64, 66, 247
Compactabilidad inherente 92
Componentes del cemento 25
Composición granulométrica 29
Concepto de White Box 218
Conductividad del agua 145, 164
Consistencia 11, 63, 247
Contenido de agua 55, 60
Contenido de finos 32, 52, 88, 93
Contenido del aglutinante 57, 94
Contenido en huecos de aire 86, 172, 214, 232
Contenido mínimo de aglutinante 194
Contenido mínimo de cemento 246, 250
Contracción 16, 43, 46, 142, 196, 199
Contracción plástica 142, 163, 196, 199
Contracción de secado 38, 142, 196
Contracción química 142, 196
Control de conformidad 253
Corrosión 160, 166
Cubos 126
Curado 12, 128, 234

Curado por vapor 110
Curvas de distribución del tamaño de las partículas 30, 53

D

Densidad del hormigón endurecido 130
Densidad del hormigón fresco 54, 81
Desarrollo de resistencia 131, 133
Desmoldeante 43, 224, 226, 232
Desprendimiento 46, 152, 154, 156, 158
Diseño de la mezcla 52
Diseño de la mezcla de hormigón 52
Dosificación de aditivos 36

E

Empedrado 116
EN 206 36, 240
EN 934-2 36, 254
Encofrado, absorbente 226
Encofrado, no absorbente 227
Ensayo de segregación por tamizado 71
Escoria 24, 44, 133, 251
Escoria granulada de alto horno molida 44, 157, 160
Especímenes 126
Estabilizador 33, 38, 43
Estabilizador de la mezcla 206
Estanqueidad 144
Ettringita 154, 174
Evaporación 75, 138, 196, 215, 228, 235
Extensión de la tabla de fluidez 64, 67, 247

F

Factor de separación SF 172, 256
Fibras 46
Fibras de acero 47, 198
Fibras de polipropileno 48, 181, 200
Fluidez 63
Fraguado inicial 39, 72, 75, 196, 257

G

Grado de compactabilidad 64, 66, 247
Grupo granulométrico 29

H

HAC 92
Hidratación 9, 24, 36, 72
Hormigón 8, 10, 24
Hormigón a la vista 202, 226
Hormigón autocompactante 92
Hormigón bombeado 88
Hormigón coloreado 39, 119, 122, 204
Hormigón compactado con rodillo 102
Hormigón con resistencia química 190
Hormigón de alta resistencia inicial 133
Hormigón de ambiente cálido 63, 72, 82
Hormigón de ambiente frío 63, 77, 82
Hormigón de encofrado deslizante 104
Hormigón de pilotes centrifugado 214
Hormigón de retracción controlada 196
Hormigón de segmento de túnel 114
Hormigón en masa 98, 237
Hormigón endurecido 8, 24, 126
Hormigón fresco 8, 52, 60, 234, 241
Hormigón impermeable 162, 218
Hormigón ligero 8, 28, 208, 240, 249
Hormigón monolítico 100
Hormigón para zonas de tránsito 96
Hormigón permeable 214
Hormigón pesado 8, 210, 240
Hormigón prefabricado húmedo 110
Hormigón premezclado 86, 242, 254, 262
Hormigón proyectado 106
Hormigón reforzado con fibra 46, 61, 187, 198, 263
Hormigón resistente a la corrosión 166
Hormigón resistente a heladas y a hielo/ deshielo 170, 233
Hormigón resistente a los álcalis y al sílice 182
Hormigón resistente a los sulfatos 174
Hormigón resistente al fuego 178
Hormigón semiseco 116
Hormigón subacuático 206

I

Impermeabilidad 133, 144, 162
Impresión de hormigón en 3D 122
Impresión del hormigón 122
Inclusor de Aire 9, 43, 170
Instalación del hormigón 88, 232

J

Juntas 98, 142, 162, 218, 221

L

Ligante 24, 52

M

Máquina de pruebas 129
Martillo de rebote 79, 136
Material inactivo 40
Material inerte 40
Materiales cementante suplementarios 40
Medio ambiente 14, 20, 243
Método de ensayo de la bandeja 61
Método de ensayo por microondas 61
Método del volumen absoluto 50
Métodos de curado 236
Mezcla lubricante 90
Módulo de elasticidad de Young 140
Módulo E 46, 140, 200
Moldes 126
Muestreo 253

P

Paso del tamiz 53, 89
Patrón de rotura 134, 135
Pérdida de calor 78
Periodo de curado 26, 27
Polvo de sílice 25, 44
Porosidad capilar 55, 144, 162
Prefabricado, húmedo 110
Prefabricado, semiseco 116
Presión del encofrado 95
Prismas 126
Proceso de flujo denso 108
Proceso de reflujo de calor 114
Profundidad de penetración del agua 144, 164
Prueba de asentamiento 65
Prueba de asentamiento y fluidez 68
Prueba de la tabla de fluidez 67
Prueba del túnel en V 70
Puzolana 24

R

Reacción álcali-sílice 43, 160, 186
Rebote 110, 140
Recompactación 147
Relación a/c 64
Relleno de cal 44
Resistencia a la compresión 56, 135, 138, 252
Resistencia a la congelación 81
Resistencia a la flexión 141, 204
Resistencia a la tracción 46, 143, 202
Resistencia a las heladas 16, 148, 172
Resistencia a heladas y a hielo/ deshielo 90, 148
Resistencia AAR 156
Resistencia al fuego 48, 158, 178, 199
Resistencia química 152, 190
Retardo 38, 63, 72
Retardante de superficie 43, 97
Retardante 37, 38, 43, 72
Retraso nocturno 74
Revestimiento de protección 115, 167, 242

S

Sacudidas en seco 100
Sangrado 35, 83, 84, 256
SCM 44
Secado 60, 225, 234
Segregación 35, 63, 71, 83
Separación 83
Síndrome de la uña blanca 92
Sistemas de hormigón sellado 218
Sostenibilidad 14
Suelos industriales 100, 152, 192, 233
Sulfato 154, 174
Superficie del hormigón 84, 224, 235
Superplastificante 14, 37

T

t500 66
Tamaño del tamiz 29
Temperatura 63, 72, 77, 82
Temperatura del hormigón 72, 77, 82, 235
Temperatura mínima 78
Tiempo de mezclado 62, 172, 198
Tipo de cemento
Tipos de fibras 200
Trabajabilidad 63

V

Vacío capilar 118, 146
Vacíos de aire 38, 108, 123, 128, 170, 209, 233
Valor-k 60, 250
Volumen de pasta 56

W

White Box 218

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE HORMIGÓN

SOMOS SIKA

Sika es una empresa de especialidades químicas con una posición de liderazgo en el desarrollo y producción de sistemas y productos para pegado, sellado, amortiguación, refuerzo y protección en el sector de la construcción y la industria del automóvil. Las líneas de productos de Sika incluyen aditivos para hormigón, morteros, selladores y adhesivos, sistemas de refuerzo estructural, pisos, así como sistemas de impermeabilización y techado.

Se aplicarán nuestras Condiciones Generales de Venta más actuales.
Por favor consulta la hoja de datos del producto más actualizada antes de cualquier uso.

© Sika S.A.U. Spain / MANUAL DEL HORMIGÓN SIKA / 12.2021

SIKA, S.A.U.
Carretera de Fuencarral, 72
28108 - Alcobendas (Madrid)
España

Contacto
Telf. +34 91 657 23 75
Fax: +34 91 662 19 38
esp.sika.com

BUILDING TRUST