



Sika® Manual del Hormigón

- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| ■ Componentes del Hormigón | ■ Hormigón Endurecido |
| ■ Norma EHE-08 | ■ Hormigón Proyectado |
| ■ Hormigón | ■ Desencofrantes |
| ■ Hormigón Fresco | ■ Curado |



Sika - con una larga experiencia

Sika comenzó a desarrollar los primeros aditivos para mezclas cementicias en 1910, año en que fue fundada. En ese momento los principales objetivos eran reducir el tiempo de fraguado de las mezclas de mortero, hacerlos estancos o aumentar su resistencia. Algunos de estos exitosos productos creados inicialmente en Sika, siguen en uso hoy en día. El agua es necesaria en el hormigón para mantener una consistencia y provocar la hidratación del cemento, pero demasiado agua es una desventaja en el hormigón endurecido, por lo que los productos Sika se desarrollaron también para reducir el contenido de agua y mantener o incluso mejorar la consistencia (manejabilidad):

Fecha	Base química	Nombre Genérico de Sika	Principales efectos
1930	Lignosulfonatos	Plastocrete®	Reducción de agua hasta el 10%
1940	Gluconato	Plastiment®	Reducción de agua hasta el 10% con retardo de fraguado
1960		Sika Retarder®, Fro-V	Retardante e inductor de aire
1970	Naftaleno	Sikament® NN	Reducción de agua hasta el 20%
1980	Melamina	Sikament®-300/-320	Reducción de agua hasta el 20% Reducido contenido de aire
1990	Copolímeros Vinílicos	Sikament®-10/-12	Reducción de agua hasta el 25%
2000	Policarboxilatos Modificados	Sika® Viscocrete®	Reducción de agua hasta el 40% Tecnología para hormigón autocompactante

Desde que se formó la compañía, Sika siempre ha estado involucrado donde el cemento, los áridos, la arena y el agua se transforman en mortero u hormigón - el socio de confianza para la construcción económica de estructuras duraderas.

Sika - con una Presencia Global

Sika AG en Baar es una empresa global, especializada en química. Sika es un líder en la tecnología y la fabricación de materiales utilizados para sellar, pegar, aislar, reforzar y proteger las estructuras resistentes en edificios y en la industria. La gama de productos de Sika incluye aditivos para hormigón de alto rendimiento; morteros especiales, selladores y adhesivos; aislantes y materiales de refuerzo; sistemas de refuerzo estructural; pavimentos industriales y membranas impermeabilizantes.

Equipo de autores de Sika:

T. Hirschi, H. Knauber, M. Lanz, J. Schlumpf, J. Schrabback, C. Spirig, U. Waeber



Sumario

1. Componentes del hormigón	5
1.1 Términos	5
1.2 Conglomerantes	6
1.3 Áridos	8
1.4 Aditivos	12
1.5 Adiciones	13
1.6 Finos	15
1.7 Agua de amasado	16
1.8 Cálculo del volumen de material	18
1.5 Adiciones	13

2. Norma EHE-08	20
2.1 Definiciones	21
2.2 Clases de exposición según las Condiciones Ambientales	22
2.3 Clasificación según la Consistencia	28
2.4 Clases según la Resistencia a Compresión	29
2.5 El valor k (según EHE-08)	31
2.6 Contenido en Cloruros en el hormigón	31
2.7 Especificación del Homigón	32
2.8 Control de Conformidad	32
2.9 Control de conformidad para otras Propiedades del Homigón	34

3. Hormigón	35
3.1 Usos principales del hormigón	35
3.1.1 Fabricación de hormigón in situ	36
3.1.2 Hormigón para Estructuras Prefabricadas	38
3.2 Hormigones Especiales	39
3.2.1 Hormigón bombeado	39
3.2.2 Hormigón para Superficies con Tráfico	42
3.2.3 Hormigón Autocompactante (HAC)	43
3.2.4 Hormigón resistente al hielo/deshielo	45
3.2.5 Hormigón de alta resistencia	48
3.2.6 Hormigón para enconfrados deslizantes	49
3.2.7 Hormigón impermeable	51

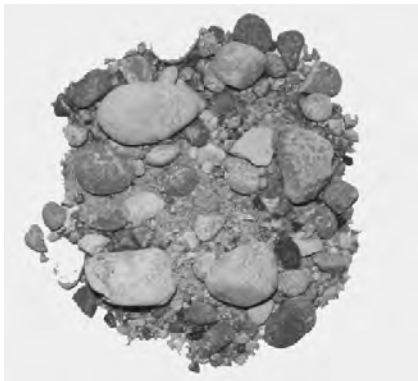
3.2.8 Hormigón Visto	52
3.2.9 Hormigón en masa	54
3.2.10 Hormigón armado con fibras	56
3.2.11 Hormigón pesado	57
3.2.12 Hormigón sumergido	58
3.2.13 Hormigón Ligero	59
3.2.14 Hormigón Poroso	60
3.2.15 Hormigón Compactado a Rodillo	61
3.2.16 Hormigón Coloreado	61
3.2.17 Hormigón Semiseco para Industria de Productos de Hormigón Prefabricados	62
3.2.18 Hormigón con resistencia mejorada al fuego	69
3.2.19 Dovelas de hormigón para túneles	70
3.2.20 Hormigón Monolítico	72
3.2.21 Hormigón Granolítico	73

4. Hormigón Fresco	74
4.1 Propiedades del Hormigón Fresco	74
4.1.1 Trabajabilidad	74
4.1.2 Retardo del hormigón en tiempo caluroso	75
4.1.3 Aceleración del fraguado / Hormigón en invierno	79
4.1.4 Consistencia	81
4.1.5 Exudación	82
4.1.6 Acabado	82
4.1.7 Densidad del hormigón fresco	84
4.1.8 Contenido en aire ocluido	83
4.1.9 Bombeabilidad	84
4.1.10 Cohesión	84
4.1.11 Temperatura del hormigón fresco	84
4.1.12 Relación agua/cemento	85
4.2 Ensayos de hormigón fresco	85
4.2.1 Trabajabilidad	85
4.2.2 Muestreo	86
4.2.3 Medición de la Consistencia por medio del Ensayo de Asentamiento	86
4.2.4 Ensayo de la Consistencia por el Grado de Compactabilidad	87
4.2.5 Ensayo de Consistencia por la Mesa de Sacudidas	88
4.2.6 Determinación de la Densidad del Hormigón Fresco	90
4.2.7 Determinación del Contenido de Aire	90
4.2.8 Otros Métodos de Ensayo para la Consistencia del Hormigón Fresco	91

5. Hormigón endurecido	93
5.1 Propiedades del Hormigón endurecido	93
5.1.1 Resistencia de la compresión	93
5.1.2 Alta resistencia inicial del hormigón	95
5.1.3 Impermeabilidad	97
5.1.4 Resistencia al hielo y a las sales de deshielo	100
5.1.5 Superficie del hormigón	100
5.1.6 Retracción	101
5.1.7 Resistencia a sulfatos	102
5.1.8 Resistencia Química	103
5.1.9 Resistencia a la abrasión	103
5.1.10 Resistencia a la flexión	104
5.1.11 Desarrollo del Calor de Hidratación	105
5.1.12 Reactividad Árido-Álcali	106
5.2 Probetas de hormigón endurecido	107
5.2.1 Requisitos para probetas y moldes	107
5.2.2 Fabricación y curado de probetas	108
5.2.3 Resistencia a la compresión de las probetas	109
5.2.4 Especificaciones para las máquinas de ensayo	111
5.2.5 Resistencia de las probetas a la flexotracción	111
5.2.6 Resistencia a tracción de las probetas	113
5.2.7 Densidad del hormigón endurecido	113
5.2.8 Profundidad de la Penetración del Agua bajo Presión	114
5.2.9 Resistencia al ciclo hielo/deshielo	115
6. Hormigón proyectado	116
6.1 Definición	116
6.2 Requisitos del hormigón proyectado de calidad	117
6.3 Desarrollo de la resistencia inicial	118
6.4 El proceso de la proyección	119
6.5 Ensaayos del hormigón proyectado	126
6.6 El sistema Sika de proyección vía húmeda	130
6.7 Hormigón proyectado reforzado con fibra de acero/polimérica	131
6.8 Resistencia a sulfatos del hormigón proyectado	132
6.9 Hormigón Proyectado con Resistencia al Fuego mejorada	133

7. Desencofrantes	134
7.1 Composición de los desencofrantes	134
7.2 Requerimientos de los desencofrantes	135
7.3 Selección del desencofrante	134
7.3.1 Desencofrantes para encofrados absorbentes	135
7.3.2 Desencofrantes para encofrados no absorbentes	136
7.4 Modo de empleo	137
7.4.1 Aplicación del desencofrante	137
7.4.2 Tiempo de espera antes de hormigonar	138
7.4.3 El hormigonado	139
8. Curado	140
8.1 General	140
8.2 Métodos de curado	142
8.3 Medidas para el curado	143
8.1 Duración del curado	144
Aditivos de hormigón y medio ambiente	145
Miembro de EFCA	146
Índice	147

1.- Componentes del hormigón



1.1 Términos

Los componentes principales para fabricar hormigón son:

- Conglomerante (cemento)
- Áridos
- Agua
- Aditivos y adiciones

Debido **al incremento** en la demanda de hormigones de mayor calidad (principalmente en la característica de durabilidad) y a los grandes avances en la tecnología del hormigón y los aditivos, ahora es posible fabricar múltiples y variados tipos de hormigón:

■ Hormigón estándar	Hormigón con un tamaño máximo de árido > 8 mm Densidad (secado en estufa) > 2000 kg/m ³ , máx. 2600 kg/m ³
■ Hormigón pesado	Densidad (secado en estufa) > 2600 kg/m ³ ,
■ Hormigón ligero	Densidad (secado en estufa) > 800 kg/m ³ y < 2000 kg/m ³
■ Hormigón fresco:	Hormigón amasado, durante el periodo de tiempo en que pueda ser trabajado y compactado
■ Hormigón endurecido:	Hormigón fraguado con resistencia medible
■ Hormigón “verde”:	Hormigón recién colocado y compactado, estable, antes de que se empiecen a detectar signos de fraguado (hormigón verde es un término empleado en la industria del prefabricado)

Otros términos utilizados son hormigón proyectado, hormigón bombeado, hor-

migón autocompactante, etc. Definen la colocación en los encofrados, el uso y/o manejo hasta el punto de vertido (ver el siguiente capítulo).

1.2 Conglomerantes

El **cemento** es el conglomerante hidráulico (hidráulico = endurece cuando se combina con agua) que se utiliza para fabricar hormigón. La pasta de cemento (cemento mezclado con agua) fragua y endurece por hidratación, tanto al aire como bajo el agua.

Los materiales básicos principales, p.e. para el *cemento Portland*, son calizas, margas y arcillas, las cuales se mezclan en proporciones definidas. Esta mezcla primaria se calcina a 1.450 °C para obtener clinker, que posteriormente se muele hasta obtener una finura bien definida.

Tipos de cemento

En España, los distintos tipos de cemento están recogidos por la norma RC-08 (composición, especificaciones y criterios de conformidad). La norma divide los cementos comunes en 5 tipos principales:

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 distintos tipos de cemento pueden contener otros componentes además del clinker (K) de cemento Pórtland:

Componentes principales

Escorias	(S)
Humo de sílice	(D)
Puzolanas naturales e industriales	(P o Q)
Cenizas volantes silíceas o calcáreas	(V o W)
Esquistos calcinados	(T)
Calizas	(L o LL)

Componentes minoritarios

Son principalmente materiales minerales naturales inorgánicos seleccionados que se originan en la producción de clinker o compuestos como los descritos (siempre que no formen parte del cemento como un componente principal). Cualquier material añadido que no sobrepase el 5% (sin considerar el yeso). Ver la tabla siguiente.

Tipos de cement y su composición según RC-08

Tipos			Composición (proporción en masa %) ¹											Componentes minoritarios
			Componentes principales											
			Clinker	Escoria de horno alto	Humo de sílice	Puzolana		Cenizas volantes		Esquistos calcinados	Caliza			
						Natural	Natural calcinada	Silíceas	Calcareas					
	Denominación	Designación	K	S	D ²	P	Q	V	W	T	L ⁴	LL ⁵		
CEM I	Cemento portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM II	Cemento portland con escoria	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Cemento portland con humo de sílice	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Cemento portland con puzolana	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5	
	Cemento portland con 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	
	Cem. portland con esquistos calcinados	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5	
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5	
	Cemento portland con caliza	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5	
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5	
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5	
	Cemento portland mixto ³	CEM II/A-M	80-94	6-20									0-5	
		CEM II/B-M	65-79	21-35									0-5	
CEM III	Cemento con escorias de horno alto	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM IV	Cemento puzolánico ³	CEM IV/A	65-89	-	11-35					-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	36-55					-	-	-	0-5	
CEM V	Cemento compuesto ³	CEM V/A	40-64	18-30	-	18-30			-	-	-	-	0-5	
		CEM V/B	20-39	31-50	-	31-50			-	-	-	-	0-5	

¹ Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios (núcleo de cemento).

² El porcentaje de humo de sílice está limitado al 10 %.

³ En cementos Portland mixtos CEM II/A-M y CEM II/B-M, en cementos puzolánicos CEM IV/A y CEM IV/B y en cementos compuestos CEM V/A y CEM V/B, los componentes principales diferentes del clinker deben ser declarados en la designación del cemento (véase el apartado A1.1.2).

⁴ El contenido de carbono orgánico total (TOC) determinado conforme al UNE EN 13639, será inferior al 0,20% en masa para calizas LL, o inferior al 0,50% en masa para calizas L.

Resistencias

Los cementos se dividen en 3 clases según la norma de resistencia a compresión del mortero a los 28 días. Las 3 categorías representan las resistencias mínimas a compresión requeridas: 32.5/42.5/52.5 N/mm².

Los cementos con elevada resistencia a compresión a los 2 días tienen una designación adicional "R".

Información detallada de los componentes individuales se da en la norma RC-08: *Anejo 3: Componentes del Cemento*.

A3.1. General

A3.2 Componentes principales

A3.3 Componentes minoritarios

A3.4 Sulfato de Calcio

A3.5 Aditivos

1.3 Áridos

Gravas y arenas constituyen la estructura granular del hormigón, cuyos huecos deben rellenarse lo máximo posible con la pasta conglomerante. Los áridos suponen aproximadamente el 80% del peso y el 70-75% del volumen. Una utilización óptima del tamaño y la calidad del árido mejora la calidad del hormigón. Los áridos se pueden producir de forma natural (fluvial o glacial); para hormigones de alta calidad se limpian y se clasifican en instalaciones industriales por procedimientos mecánicos tales como la mezcla, el machaqueo, el cribado y el lavado (preparación mecánica).

Se consideran apropiados para el hormigón los áridos que no interfieren con el endurecimiento del cemento, tienen una unión suficientemente fuerte con la pasta de cemento endurecida y no ponen en riesgo la resistencia del hormigón.

Áridos estándar y especiales

Áridos estándar	Densidad 2.2-3 Kg/dm ³	Proceden de depósitos naturales, p.e. grava de río. Áridos rodados, de machaqueo (p.e. excavación de túnel)
Áridos pesados	Densidad > 3.0 Kg/dm ³	Barita, mineral de hierro, granulado de acero, para la producción de hormigón pesado (p.e. hormigón blindado frente a la radiación)
Áridos ligeros	Densidad < 2.0 Kg/dm ³	Arcilla expandida, piedra pómez, poliestireno. Para hormigón ligero, hormigón aislante.
Áridos para alta durabilidad	Densidad > 2.0 Kg/dm ³	Como cuarzo, carburo de silicio; p.e. para la producción de hormigón con acabado granítico.
Granulados	Densidad aprox. 2.4 Kg/dm ³	Procedentes de hormigones viejos.

Áridos estándar

En Europa los áridos se definen en la norma EN 12620. Esta norma es muy amplia y dar más detalles de los que se ofrecen en la lista inferior estaría fuera del ámbito de este documento.

Términos importantes de la norma (con notas adicionales)

■ *Árido natural*

Proviene de depósitos naturales; solo requiere de preparación mecánica y/o lavado.

■ *Árido mixto*

Consiste en una mezcla de áridos finos (arena) y gruesos. Un árido mixto puede producirse sin separación previa de áridos finos y gruesos o combinando ambos.

■ *Árido reciclado*

Proviene de procesar mecánicamente materiales inorgánicos previamente utilizados como material de construcción (p.e. hormigón)

■ *Filler (harina de roca)*

Áridos que predominantemente pasan el tamiz de 0.063 mm, y que se añaden para obtener propiedades específicas.

■ *Rango de tamaño de partícula*

Designación de un árido según abertura mínima (d) y máxima (D) de tamiz, expresado como d/D

■ *Árido fino (arena)*

Designación para las fracciones más pequeñas con D no mayor que 4 mm. Los áridos finos pueden producirse de forma natural por ruptura de rocas o grava o por procesos industriales.

■ *Árido grueso*

Designación para las fracciones más grandes con D no menor que 4 mm y d no menor que 2 mm

■ *Árido producido de forma natural 0/8 mm*

Designación para los áridos naturales de origen glacial o fluvial con D no mayor que 8 mm (puede producirse también mezclando áridos procesados)

■ *Finos*

Proporción de árido que pasa el tamiz de 0.063

Composición granulométrica

Distribución del tamaño de las partículas, expresado como el tanto por ciento del peso de la fracción que pasa por un número determinado de tamices.

Fracciones, curvas granulométricas

El tamaño de las partículas se expresa por el tamaño de la abertura del tamiz por el que pasan dichas partículas.

Según EN-933-2, deben utilizarse tamices con aberturas cuadradas.

Tipo de tamiz especificado

Tamaño de abertura < 4 mm

Malla de alambre

Tamaño de abertura $\geq$ 4 mm

Plato de metal perforado

Se denomina tamaño máximo D de un árido grueso o fino, la abertura de tamiz UNE EN 933-2 que cumple los requisitos generales recogidos en la tabla 28.3.a, en función del tamaño del árido.

Se denomina tamaño mínimo d de un árido grueso o fino, la abertura de tamiz UNE EN 933-2 que cumple los requisitos generales recogidos en la tabla 28.3.a, en función del tamaño del árido.

Tabla 26.3.a Requisitos generales de los tamaños máximo D y mínimo d

		Porcentaje que pasa (en masa)				
		2 D	1,4 D ^{a)}	D ^{b)}	d	d/2
Árido grueso	D > 11,2 o D/d > 2	100	98 a 100	90 a 99	0 a 15	0 a 5
	D ≤ 11,2 o D/d ≤ 0	100	98 a 100	85 a 99	0 a 20	0 a 5
Árido fino	D ≤ 4 y d = 0	100	95 a 100	95 a 99	--	--

a) Como tamices 1,4D y d/2 se tomarán de la serie elegida o el siguiente tamiz más próximo de la serie.

b) El porcentaje en masa que se pase por el tamiz D podrá ser superior al 99% pero en tales casos el suministrador deberá documentar y declarar la granulometría representativa, incluyendo los tamices D, d, d/2 y los tamices intermedios entre d y D de la serie básica más de la serie 1, o de la serie básica más la serie 2. Se podrán excluir los tamices con una relación menor a 1,4 veces el siguiente tamiz más abajo.

Los tamaños mínimo d y máximo D de los áridos deben especificarse por medio de un par de tamices de la serie básica, o de la serie básica más la serie 1, o la serie básica más la serie 2 de la tabla 28.3.b de la E.H.E 08, que se expone a continuación.

Tabla 26.3.b Series de tamices para especificar los tamaños de los áridos

Serie Básica mm	Serie Básica + Serie 1 mm	Serie Básica + Serie 2 mm
0,063	0,063	0,063
0,125	0,125	0,125
0,250	0,250	0,250
0,500	0,500	0,500
1	1	1
2	2	2
4	4	4
-	5,6 (5)	-
-	-	6,3 (6)
8	8	8
-	-	14
16	16	16
-	-	20
-	22,4 (22)	-
31,5 (32)	31,5 (32)	31,5 (32)
-	-	40
-	45	-
63	63	63
125	125	125

NOTA- Por simplificación, se podrán emplear los tamaños redondeados entre paréntesis para describir el tamaño de los áridos.

Información práctica

■ *Forma óptima de las partículas, machaqueo/rodado*

Las formas cúbicas/esféricas han demostrado ser más adecuadas que las formas lineales, que pueden afectar la consistencia. El árido de machaqueo tiene unos requisitos de agua ligeramente superiores para la misma consistencia debido a la mayor área superficial, pero pueden obtenerse mayores resistencias a compresión y especialmente a tracción del hormigón debido a un mejor trabado.

■ *Predominio de árido de machaqueo*

La superficie del material de machaqueo de rocas, grandes bloques, etc., son solo superficies rotas, mientras que la superficie del material de machaqueo redondo incluye también áreas redondeadas.

El material de machaqueo de roca se utiliza, entre otros, en túneles, siendo la consigna: “punto de extracción = punto de colocación”.

■ *Arenas de cantera*

Pueden ser angulares pero también alargadas o planas, dependiendo de la roca. Con estos áridos no se consigue una buena consistencia y su requisito de agua es generalmente mayor.

■ *Contaminantes dañinos*

Margas, gredas, humus, arcilla, yeso y áridos que contengan sulfatos, cloruros y álcalis son potencialmente dañinos. Su presencia y sus posibles consecuencias se deben tener muy en cuenta.

Requisitos físicos de los áridos

La norma EN 12620 divide los áridos gruesos en categorías que incluyen:

- Resistencia a ruptura
- Resistencia al desgaste
- Resistencia al pulido y a la abrasión
- Densidad de partícula y absorción de agua
- Densidad aparente
- Durabilidad

Durabilidad

Está principalmente asociada con la resistencia a las heladas y los ciclos de hielo/deshielo de los áridos gruesos, que deben ser adecuados para el propósito especificado y verificados si se considera necesario.

Áridos alternativos (material reciclado)

Las graveras naturales y los depósitos de arena son recursos no renovables. Cada día es más difícil obtener y utilizar áridos de estas zonas naturales.

Son posibles sustitutos:

- Machaqueo y procesados de hormigón viejo para formar granulados de hormigón
- Reutilizar microfinos procedentes de las instalaciones de lavado de hormigón
- La idoneidad de materiales reciclados debe ser comprobada en cada caso.

1.4. Aditivos

Los aditivos del hormigón son líquidos o polvos que se añaden al hormigón durante el mezclado en pequeñas cantidades, dependiendo normalmente del contenido de cemento. Influyen en las propiedades del hormigón fresco y/o endurecido química y/o físicamente.

La norma EHE 08 define los aditivos del hormigón y los requisitos se describen en la EN 934-2.

Definiciones y efectos según EN 934-2

■ *Reductor de agua*

Permite la reducción del contenido de agua de una mezcla de hormigón dada sin afectar a su consistencia, o aumenta la trabajabilidad sin cambiar el contenido de agua, o consigue ambos efectos.

■ *Superplastificante*

Permite reducir en gran medida el contenido de agua de una mezcla de hormigón dada sin afectar a su consistencia, o aumenta la trabajabilidad sin cambiar el contenido de agua, o consigue ambos efectos.

■ *Estabilizante*

Reduce el sangrado del agua de amasado en el hormigón fresco.

Aireante

Introduce una cantidad específica de pequeñas burbujas de aire uniformemente distribuidas durante el proceso de mezclado las cuales permanecen en el hormigón después de que endurezca.

■ *Acelerador de fraguado*

Reduce el tiempo de fraguado inicial, con un aumento de las resistencias iniciales.

■ *Aceleradores de endurecimiento*

Aceleran las resistencias iniciales con o sin efecto sobre el tiempo de fraguado.

■ *Retardante*

Retarda el tiempo de inicio del fraguado y prolongan la consistencia.

■ *Impermeabilizante*

Reduce la absorción de agua por capilaridad del hormigón endurecido

■ *Retardante/reductor de agua*

Tiene los efectos combinados de un reductor de agua (efecto principal) y de un retardador (efecto adicional)

■ *Retardante/superplastificante*

Tiene los efectos combinados de un superplastificante (efecto principal) y de un retardante (efecto adicional).

■ *Acelerador de fraguado/reductor de agua*

Tiene los efectos combinados de un reductor de agua (efecto principal) y un acelerante de fraguado (efecto adicional)

Otros grupos de productos como los reductores de retracción e inhibidores de la corrosión, etc. no están incluidos, todavía, en la EN 934-2.

Dosificación de aditivos según EHE-08:

Dosificación permitida	$\leq 5\%$ del peso del cemento (debe verificarse el efecto de una dosificación mayor sobre el comportamiento y la durabilidad del hormigón).
Dosificación baja	Cantidades de aditivos $< 0.2\%$ del cemento solo se permiten si están disueltas en parte del agua de amasado.

Si la cantidad total de aditivo líquido es $> 3 \text{ l/m}^3$ del hormigón, la cantidad de agua contenida debe incluirse en el cálculo de la relación agua/cemento.

Si se añade más de un aditivo, su compatibilidad debe verificarse mediante ensayos específicos.

Los efectos y usos de los aditivos indicados anteriormente (y otros) se analizan en detalle en los capítulos siguientes.

1.5. Adiciones

Las adiciones del hormigón son materiales finos que se añaden normalmente al hormigón en proporciones significativas (sobre el 5-20%). Se utilizan para mejorar u obtener propiedades específicas en el hormigón fresco y/o endurecido. La Norma EN 206-1 especifica dos tipos de adiciones inorgánicas para el hormigón.

Tipo I

Materiales prácticamente inactivos como filler calizo, polvo de cuarzo y pigmentos.

■ Pigmentos

Pigmentos de óxidos metálicos (principalmente óxidos de hierro) se utilizan para colorear el hormigón. Se añaden en niveles del 0.5-5% del peso del cemento; deben permanecer estables en el ambiente alcalino del cemento. Con algunos tipos de pigmentos pueden incrementarse los requisitos de agua de amasado.

■ Harinas de roca (polvo de cuarzo, polvo de caliza)

Las mezclas con bajo contenido en finos pueden mejorarse añadiendo harinas de roca. Estos materiales inertes se utilizan para mejorar la curva granulométrica. Los requisitos de agua aumentan, especialmente con el polvo de caliza.

Datos técnicos para las harinas de roca (DIN 4226-1)

Parámetro	Producto		
	Harinas de roca		
	Harina de cuarzo	Harina caliza	Unidad
Densidad (peso específico) ¹	2650	2600-2700	Kg/m ³
Superficie específica	≥ 1000	≥ 3500	cm ² /Kg
Densidad aparente, aprox.* ¹	1300-1500	1000-1300	Kg/m ³
Pérdida por calcinación	0.2	~ 40	%

* Este factor debe tenerse en consideración para la capacidad de llenado de los silos, etc.

¹ Experiencia habitual

Tipo II

Puzolanas o materiales hidráulicos latentes como puzolanas naturales, cenizas volantes y humo de sílice.

La ceniza volante es una ceniza fina procedente de centrales térmicas de carbón que se utiliza como adición tanto para el cemento como para el hormigón. Su composición depende principalmente del tipo de carbón y de su origen así como de las condiciones de incineración.

El humo de sílice consiste esencialmente en partículas esféricas de dióxido de silicio amorfo procedentes 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.

La dosificación estándar del humo de sílice es del 5% al 10% máx. del peso del cemento.

Tabla comparativa cemento/puzolanas

Parámetro	Producto		Puzolanas industriales		Unidad
	Cementos		Cenizas volantes	Harina de sílice	
	CEM I 42.5*	CEM II A-LL 32.5 R*			
Densidad (peso espec.) ¹	~ 3100	~ 3000	2200-2600	~ 2200	Kg/m ³
Superficie específica	~ 3000	~ 4000	3000-5500	180000-250000	cm ² /Kg
Densidad aparente, aprox. ** ¹	~ 1200	~ 1100	1000-1100	300-600	Kg/m ³
Pérdida por calcinación	2.4	6.9	≤ 5	≤ 3	%
Contenido de SiO ₂			40-55	hasta 98	%

* Datos de cementos comunes elegidos al azar según EN 197-1

** Este factor debe tenerse en consideración para la capacidad de llenado de los silos, etc.

¹ Experiencia habitual para puzolanas

1.6. Finos

El contenido en finos se compone de:

- cemento
- porcentaje de áridos de 0 a 125 mm
- cualquier adición del hormigón

Los finos actúan como lubricante en el hormigón fresco para mejorar la trabajabilidad y la retención de agua. El riesgo de separación de la mezcla durante la colocación se reduce y la compactación se realiza de manera más fácil. De todos modos, contenido en finos demasiado altos producen un hormigón pastoso, pegajoso. Puede existir también tendencia a la retracción y fluencia (alto contenido en agua).

Las siguientes cantidades se han comprobado como las más idóneas:

	Árido redondeado	Árido de machaqueo
Para hormigón con tamaño máximo de árido de 32 mm	Contenido de finos entre 350 y 400 Kg/m ³	Contenido de finos entre 375 y 425 Kg/m ³
Para hormigón con tamaño máximo de árido de 16 mm	Contenido de finos entre 400 y 450 Kg/m ³	Contenido de finos entre 425 y 475 Kg/m ³

Contenidos superiores de finos son habituales en hormigones autocompactantes (HAC).

1.7 Agua de amasado

La idoneidad del agua para la producción del hormigón depende de su procedencia. La norma UNE EN 1008 establece los siguientes tipos:

- *Agua potable*
Idónea para el hormigón. No necesita ensayos.
- *Agua recuperada de procesos en la industria del hormigón (por ejemplo, el agua de lavado)*
Normalmente es idónea para el hormigón pero deben cumplirse los requisitos del Anexo A de la norma (por ejemplo, que el peso adicional de sólidos en el hormigón cuando se utiliza este tipo de agua debe ser menor al 1% del peso total de los áridos contenidos en la mezcla).
- *Agua subterránea*
Puede ser idónea, pero debe comprobarse.
- *Agua natural superficial y agua industrial*
Puede ser idónea, pero debe comprobarse.
- *Agua de mar o salada*
Puede utilizarse para el hormigón en masa pero no es idónea para el hormigón armado ni para el hormigón pretensado.
El contenido máximo de cloruro permitido en el hormigón debe observarse para el hormigón reforzado con fibras de acero o con partes metálicas embebidas.
- *Aguas residuales*
No son idóneas para el hormigón.

El agua combinada es una mezcla de agua recuperada de procesos de la industria del hormigón y agua procedente de otra fuente diferente.

Ensayos preliminares (UNE EN 1008, Tabla 1)

El agua debe ser analizada primero para buscar restos de aceites y grasas, espumas (detergentes), sustancias en suspensión, olores (por ejemplo, que no exista olor de sulfuro de hidrógeno después de añadir ácido clorhídrico), contenido de ácidos ($\text{pH} \geq 4$) y materia orgánica.

El agua que no cumple uno o más de los requisitos en la Tabla 1 solo podrá utilizarse si cumple con las siguientes especificaciones químicas y si su uso no tiene consecuencias negativas en el tiempo de fraguado y el desarrollo de resistencias (ver UNE EN 1008 para los métodos de ensayo).

Propiedades químicas

■ *Cloruro*

El contenido en cloruro del agua no debe exceder los niveles de la tabla inferior:

Uso final	Contenido máximo de cloruro en mg/l
Hormigón pretensado o morteros de relleno	500
Hormigón armado o con partes metálicas embebidas	1000
Hormigón en masa o sin partes metálicas embebidas	4500

■ *Sulfuro*

El contenido en sulfuro del agua no debe ser superior a 2000 mg/l.

■ *Álcalis*

Si se utilizan áridos sensibles a los álcalis, se debe ensayar el contenido en álcalis del agua. El contenido en álcalis (Na_2O equivalente) normalmente no debe superar los 1500 mg/l. Si este nivel se supera, el agua puede únicamente utilizarse si puede probarse que se han tomado medidas para prevenir reacciones dañinas alcali-silicatos.

■ *Contaminantes dañinos*

Deben llevarse a cabo ensayos sobre azúcares, fosfatos, nitratos, plomo o zinc. Si los resultados son positivos, debe determinarse el contenido de cada sustancia o llevarse a cabo ensayos de tiempos de fraguado y de desarrollo de resistencias a compresión.

Límites de los análisis químicos

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

■ *Tiempo de fraguado y resistencia*

El fraguado inicial, ensayado en probetas con el agua, no debe ser inferior a 1 hora y no debe diferir en más del 25% del fraguado inicial obtenido en probetas con agua destilada o desionizada. El fraguado no debe retrasarse más de 12 horas y no debe diferir en más de un 25% de la finalización del fraguado obtenido con probetas con agua destilada o desionizada.

La resistencia a compresión media a los 7 días en probetas producidas con el agua debe alcanzar al menos el 90% de la resistencia a compresión de las correspondientes probetas producidas con agua destilada o desionizada.

1.8. Cálculo del volumen de material

El propósito del cálculo de volumen de material es determinar el volumen del hormigón a partir del volumen de las materias primas. Este volumen de material es la suma del volumen de los componentes individuales del hormigón. El cálculo supone que las cantidades diseñadas de cemento, agua, áridos, aditivos y adiciones mezcladas para producir 1 m³ de hormigón fresco, más las burbujas de aire después de la compactación, suman un volumen de 1 m³.

Cálculo de volúmenes y pesos para 1 m³ de hormigón

Materia prima utilizada para el diseño del hormigón	Dosificación en %	Kg que se necesitan para 1 m³ según diseño de la mezcla)	Densidad específica en kg/l		Volumen (litros para 1 m³)
Cemento Tipo:		Kg	3.15 (comprobar localmente)	→	
Conglomerante adicional Tipo:		Kg		→	
Adición de humo de sílice (conglomerante adicional)		Kg	2.2 (comprobar localmente)	→	
Aditivo 1 Tipo:		Kg			
Aditivo 2 Tipo:		Kg			
Aire esperado o planificado 1% = 10 l en 1 m³		%	—	→	
Agua de amasado a/c = (incluyendo contenido de agua de los áridos)		Kg	1.0	→	
Volumen total en litros sin áridos y arena					↓
Áridos y arena (en estado seco)		kg ↓	2.65 (comprobar localmente)	←	(= hasta 1000 l)
Hormigón total		Kg (para 1 m³) →	Kg/l (densidad espec. del hormigón fresco)	←	1000 l (=1 m³)

→ = forma de cálculo

Nota: Si la cantidad total de aditivo(s) supera los 3 litros/m³ de hormigón, el contenido de agua de los aditivos debe incluirse en el cálculo de la relación agua/cemento.

Ejemplo

Materia prima utilizada para el diseño del hormigón	Dosificación en %	Kg que se necesitan para 1 m ³ según diseño de la mezcla)	Densidad específica en kg/l		Volumen (litros para 1 m ³)
Cemento Tipo: CEM I		Kg 325	3.15 (comprobar localmente)	→	103
Conglomerante adicional Tipo:		Kg		→	
Adición de humo de sílice (conglomerante adicional)	6	Kg 19.5	2.2 (comprobar localmente)	→	9
Aditivo 1 Tipo: ViscoCrete® (cal. sobre cemento + humo de sílice)	1.2	Kg 4.13			(incluido en agua)
Aditivo 2 Tipo:		Kg			
Aire esperado o planificado 1% = 10 l en 1 m ³		% 3.0	—	→	30
Agua de amasado a/c = (incluyendo contenido de agua de los áridos)		Kg 155	1.0	→	155*
Volumen total en litros sin áridos y arena					297 ↓
Áridos y arena (en estado seco)		kg 1863 ↓	2.65 (comprobar localmente)	←	703 (=Δ hasta 1000 l)
Hormigón total		Kg 2362 (para 1 m ³) →	2362 Kg/l (densidad espec. del hormigón fresco)	←	1000 l (=1 m³)

*Debe añadirse teóricamente aproximadamente 1 litro de agua.

2. Norma EHE-08

La Norma Española del Hormigón EHE-08 es el marco reglamentario por el que se establecen las exigencias que deben cumplir las estructuras de hormigón para satisfacer los requisitos de seguridad estructural y seguridad en caso de incendio, además de la protección del medio ambiente, proporcionando procedimientos que permiten demostrar su cumplimiento con suficientes garantías técnicas.

Esta Instrucción es de aplicación a todas las estructuras y elementos de hormigón estructural, de edificación o de ingeniería civil, con las excepciones marcadas en el Artículo 2 de la EHE-08.

Con el fin de garantizar la seguridad de las personas, los animales y los bienes, el bienestar de la sociedad y la protección del medio ambiente, las estructuras de hormigón deberán ser idóneas para su uso, durante la totalidad del periodo de vida útil para la que se construye.

La Propiedad deberá fijar previamente al inicio de proyecto, la vida útil nominal de la estructura, que no podrá ser inferior a lo indicado en las correspondientes reglamentaciones específicas o, en su defecto, a los valores recogidos en la tabla 5.1 de la Instrucción.

Tabla 5.1. Vida útil nominal de los diferentes tipos de estructura ⁽¹⁾

Tipo de estructura	Vida útil nominal
Estructuras de carácter temporal ⁽²⁾	Entre 3 y 10 años
Elementos reemplazables que no forman parte de la estructura principal (por ejemplo, barandillas, apoyos de tuberías)	Entre 10 y 25 años
Edificios (o instalaciones) agrícolas o industriales y obras marítimas	Entre 15 y 50 años
Edificios de viviendas u oficinas, puentes u obras de paso de longitud total inferior a 10 metros y estructuras de ingeniería civil (excepto obras marítimas) de repercusión económica baja o media	50 años
Edificios de carácter monumental o de importancia especial	100 años
Puentes de longitud total igual o superior a 10 metros y otras estructuras de ingeniería civil de repercusión económica alta	100 años

⁽¹⁾ Cuando una estructura esté constituida por diferentes partes, podrá adoptarse para tales partes diferentes

2.1 Definiciones

Propiedades del hormigón, exposición

■ *Hormigón diseñado*

Es el hormigón en el cual se especifica la prestación que se requiere y las características adicionales y el fabricante se responsabiliza de conseguir una mezcla que cumpla con la prestación requerida y con las características adicionales.

■ *Hormigón prescrito*

Es el hormigón en el que se especifica la composición de la mezcla y los materiales a emplear al fabricante, el cual se responsabiliza de conseguir la mezcla especificada.

■ *Acciones ambientales (→ clases de exposición)*

Aquellas acciones químicas y físicas a las que se expone el hormigón y que tienen efectos en el hormigón o en la armadura o en el metal embebido que no se consideren como cargas en un diseño estructural

■ *Especificación*

Compilación última de los requisitos técnicos documentados dados al fabricante en términos de prestaciones de la composición

■ *Hormigón prescrito estandarizado*

Hormigón prescrito para el que se especifica la composición de la mezcla de acuerdo con un estándar válido en el lugar de uso del hormigón

■ *Especificador*

Persona o entidad que establece la especificación del hormigón fresco y endurecido

■ *Fabricante*

Persona o entidad que fabrica el hormigón fresco

■ *Usuario*

Persona o entidad que emplea hormigón fresco en la ejecución de una construcción o de un elemento.

Balance de agua del hormigón

■ *Contenido total de agua*

Está formado por el agua de amasado, más el agua ya presente en los áridos o en su superficie, más el agua de los aditivos o adiciones líquidas (cuando el contenido de aditivo es > 3 litros/m³) y el agua procedente del hielo o del vapor en los procesos de enfriamiento o calentamiento.

■ *Contenido efectivo de agua*

La diferencia entre el agua total presente en el hormigón fresco y el agua absorbida por los áridos.

■ *Relación agua/cemento*

La razón entre el contenido efectivo de agua y el contenido de cemento en masa del hormigón fresco.

Carga, entrega, lugar de utilización

■ *Hormigón fabricado en obra*

Hormigón fabricado a pie de obra por el usuario del hormigón para su propio uso.

■ *Hormigón preparado*

Hormigón entregado en estado fresco por la persona o entidad que no es el usuario. El hormigón preparado se considera también:

- El hormigón fabricado por el usuario fuera de la obra
- El hormigón fabricado a pie de obra pero no por el usuario

■ *Carga*

Cantidad de hormigón fresco transportado en un vehículo compuesto por una o más amasadas.

■ *Amasada*

Cantidad de hormigón fresco fabricado en un ciclo de operación de una amasadora o la cantidad descargada durante 1 minuto desde una amasadora de ciclo continuo.

2.2 Clases de exposición según las Condiciones Ambientales

Uno de los requisitos básicos para proyectar una estructura de hormigón es el lugar donde va a estar situada y por lo tanto el tipo de ambiente al cual va a estar sometida.

El tipo de ambiente al que está sometido un elemento estructural viene definido por el conjunto de condiciones físicas o químicas a las que está expuesto, y que puede llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a los de las cargas y solicitaciones consideradas en el análisis estructural.

El tipo de ambiente viene definido por la combinación de:

- una de las clases generales de exposición, frente a la corrosión de las armaduras, de acuerdo con la tabla 8.2.2.
- las clases específicas de exposición relativas a los otros procesos de degradación que procedan para cada caso, de entre las definidas 8.2.3

En el caso de que un elemento estructural esté sometido a alguna clase específica de exposición, en la designación del tipo de ambiente se deberán reflejar todas las clases, unidas mediante el signo de adición "+".

Cuando una estructura contenga elementos con diferentes tipos de ambiente, el Autor del Proyecto deberá definir algunos grupos con los elementos estructurales que presenten características similares de exposición ambiental. Para ello, siempre que sea posible, se agruparán elementos del mismo tipo (por ejemplo, pilares, vigas de cubierta, cimentación, etc.), cuidando además que los criterios seguidos sean congruentes con los aspectos propios de la fase de ejecución.

La durabilidad del hormigón es la capacidad de comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas o químicas agresivas y proteger adecuadamente las armaduras y demás elementos metálicos embebidos en el hormigón durante la vida de servicio de la estructura.

Para satisfacer los requisitos establecidos para conseguir una estructura durable será necesario seguir una estrategia que considere todos los posibles mecanismos de degradación, adoptando medidas específicas en función de la agresividad a la que se encuentre sometido cada elemento.

Esta estrategia incluirá, al menos, los siguientes aspectos:

a) Selección de formas estructurales adecuadas.

b) Consecución de una calidad adecuada del hormigón y, en especial en las zonas más superficiales donde se pueden producir los procesos de deterioro, adoptando un espesor de recubrimiento adecuado para la protección de las armaduras.

El recubrimiento de hormigón es la distancia entre la superficie exterior de la armadura (incluyendo cercos y estribos) y la superficie del hormigón más cercana.

A los efectos de esta Instrucción, se define como recubrimiento mínimo de una armadura pasiva aquel que debe cumplirse en cualquier punto de la misma.

Para garantizar estos valores mínimos, se prescribirá en el proyecto un valor nominal del recubrimiento r_{nom} definido como:

$$r_{nom} = r_{min} + \Delta r$$

donde:

r_{nom} Recubrimiento nominal

r_{min} Recubrimiento mínimo

Δr Margen de recubrimiento, en función del nivel de control de ejecución, y cuyo valor será:

0 mm en elementos prefabricados con control intenso de ejecución
5 mm en el caso de elementos ejecutados *in situ* con nivel intenso de control de ejecución, y 10 mm en el resto de los casos

El r_{nom} es el valor que debe reflejarse en planos. Los r_{min} vienen expresados en las tablas:

37.2.4.1.a; 37.2.4.1.b; 37.2.4.1.c y 37.2.4.2

c) Control del valor máximo de abertura de fisura, tal y como se refleja en la tabla 5.1.1.2

d) Adopción de sistemas especiales de protección cuando las medidas normales de protección no se consideren suficientes ante casos de especial agresividad; como por ejemplo:

-Aplicación de revestimientos superficiales con productos específicos para la protección del hormigón (pinturas o revestimientos) como el **Sikaguard® 700 S** o el **Sikagard® 670 W Elastocolor**, conformes con las normas de la serie UNE EN 1504 que les sean de aplicación.

-Protección de las armaduras mediante revestimientos (por ejemplo, armaduras galvanizadas o pasivadores de armaduras como el **Sika® Monotop 910** o el **Sika® Top Armatec 110 Epocem**).

-Protección catódica de las armaduras, mediante ánodos de sacrificio o por corriente impresa, según UNE-EN 12696.

-Armaduras de acero inoxidable, según UNE 36067.

-Aditivos inhibidores de la corrosión como el **Sika® Ferrogard 901** o **Sika® Ferrogard 903**.

Las protecciones adicionales pueden ser susceptibles de tener una vida útil incluso más pequeña que la del propio elemento estructural. En estos casos, el proyecto deberá contemplar la planificación de un mantenimiento adecuado del sistema de protección.

Tabla 8.2.2 Clases generales de exposición relativas a la corrosión de las armaduras

CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso		
No agresiva		I	Ninguno	-Interiores de edificios, no sometidos a condensaciones -Elementos de hormigón en masa	-Elementos estructurales de edificios, incluido los forjados, que estén protegidos de la intemperie
Normal	Humedad alta	Ila	Corrosión de origen diferente de los cloruros	-Interiores sometidos a humedades relativas medias altas (<65%) o a condensaciones -Exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm -Elementos enterrados o sumergidos	-Elementos estructurales en sótanos no ventilados -Cimentaciones -Estribos, pies y tableros de puentes en zonas, sin impermeabilizar con precipitación media anual superior a 600 mm -Tableros de puentes impermeabilizados en zonas con sales de deshielo y precipitación media anual superior a 600 mm -Elementos de hormigón, que se encuentren a la intemperie o en las cubiertas de edificios en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm -Forjados en cámara sanitaria, o en interiores en cocina y baños, o en cubierta no protegida
	Humedad media	Ilb	Corrosión de origen diferente de los cloruros	-Exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600 mm	-Elementos estructurales en construcciones exteriores protegidas de la lluvia -Tableros y pilas de puentes, en zonas de precipitación media anual inferior a 600 mm
Marina	Aérea	Illa	Corrosión por cloruros	-Elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar -Elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km)	-Elementos estructurales de edificaciones en las proximidades de la costa -Puentes en las proximidades de la costa -Zonas aéreas de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral -Instalaciones portuarias
	Sumergida	IIlb	Corrosión por cloruros	-Elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente por debajo del nivel mínimo de bajamar	-Zonas sumergidas de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral -Cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar
	En zona de carrera de mareas y en zonas de salpicaduras	IIlc	Corrosión por cloruros	-Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de salpicadura zona de carrera de mareas	-Zonas situadas en el recorrido de marea de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral -Zonas de pilas de puentes sobre el mar, situadas en el recorrido de marea
Con cloruros de origen diferente de medio marino		IV	Corrosión por cloruros	-Instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino -Superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas	-Piscinas e interiores de los edificios que las albergan -Pilas de pasos superiores o pasarelas en zonas de nieve -Estaciones de tratamiento de agua

Tabla 8.2.3a Clases específicas de exposición relativas a otros procesos de deterioro distintos de la corrosión

CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso		
Química no agresiva	Débil	Qa	Ataque químico	-Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad lenta (ver tabla 8.2.3.b)	-Instalaciones industriales, con sustancias débilmente agresivas según tabla 8.2.3.b -Construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad débil según tabla 8.2.3.b
	Media	Qb	Ataque químico	-Elementos en contacto con agua de mar -Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media (ver tabla 8.2.3.b)	-Dolos, bloques y otros elementos para diques -Estructuras marinas, en general -Instalaciones industriales con sustancias de agresividad media según tabla 8.2.3.b -Construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad media según tabla 8.2.3b -Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales con sustancias de agresividad media según tabla 8.2.3.b
	Fuerte	Qc	Ataque químico	-Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida (ver tabla 8.2.3.b)	-Instalaciones industriales con sustancias de agresividad alta de acuerdo con tabla 8.2.3.b -Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales, con sustancias de agresividad alta de acuerdo con tabla 8.2.3.b. -Construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad fuerte según tabla 8.2.3b
Con	Sin sales fundentes	H	Ataque hielo-deshielo	-Elementos situados en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa media ambiental en invierno superior al 75%, y que tengan una probabilidad anual superior al 50% de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5°C	-Construcciones en zonas de alta montaña -Estaciones invernales
	Con sales	F	Ataque por sales fundentes	-Elementos destinados al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con valor medio de la temperatura mínima en los meses de invierno inferior a 0°C	-Tableros de puentes o pasarelas en zonas de alta montaña, en las que se utilizan sales fundentes
Erosión		E	Abrasión cavitación	-Elementos sometidos a desgaste superficial -Elementos de estructuras hidráulicas en los que la cota piezométrica pueda descender por debajo de la presión de vapor del agua	-Pilas de puente en cauces muy torrenciales -Elementos de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral que se encuentren sometidos a fuertes oleajes -Pavimentos de hormigón -Tuberías de alta presión

**Tabla 37.2.4.1.a Recubrimientos mínimos (mm)
para las clases generales de exposición I y II**

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [N/mm²]	Vida útil de proyecto (t_g), (años)	
			50	100
I	Cualquiera	$f_{ck} \geq 25$	15	25
II a	CEM I	$25 \leq f_{ck} < 40$ $f_{ck} \geq 40$	15 10	25 20
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} < 40$ $f_{ck} \geq 40$	20 15	30 25
II b	CEM I	$25 \leq f_{ck} < 40$ $f_{ck} \geq 40$	20 15	30 25
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} < 40$ $f_{ck} \geq 40$	25 20	35 30

**Tabla 37.2.4.1.b Recubrimiento mínimo (mm)
para las clases generales de exposición III y IV**

Hormigón	Cemento	Vida útil de proyecto (t_g), (años)	Clase general de exposición			
			IIIa	IIIb	IIIc	IV
Armado	CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición	50	25	30	35	35
		100	30	35	40	40
	Cenizas volantes de microsilice superior al 6% o de resto de cementos utilizables	50	45	40	*	*
		100	65	*	*	*
Pretensado	CEM II/A-D o bien con adición de humo de silice superior al 6%	50	30	35	40	40
		100	35	40	45	45
	Resto de cementos utilizables, según el Artículo 26*	50	65	45	*	*
		100	*	*	*	*

*Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos, desaconsejables desde el punto de vista de la ejecución del elemento. En estos casos, se recomienda comprobar el Estado Límite de Durabilidad según lo indicado en el Anejo nº 9 de la EHE-08, a partir de las características del hormigón prescrito en el Pliego de las prescripciones técnicas del proyecto.

**Tabla 37.2.4.1.c Recubrimientos mínimos
para las clases generales de exposición**

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [N/mm²]	Vida útil de proyecto (t _g), (años)	
			50	100
I	CEM III	$25 \leq f_{ck} < 40$	25	50
		$f_{ck} \geq 40$	15	25
F	Otros tipos de cemento	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	35
		$f_{ck} \geq 40$	10	20
	CEM II/A/D	$25 \leq f_{ck} < 40$	25	50
		$f_{ck} \geq 40$	15	35
	CEM III	$25 \leq f_{ck} < 40$	40	75
		$f_{ck} \geq 40$	20	40
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	40
		$f_{ck} \geq 40$	10	20
E ⁽¹⁾	Cualquiera	$25 \leq f_{ck} < 40$	40	80
		$f_{ck} \geq 40$	20	35
Qa	CEM III, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsilice superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%		40	55
	Resto de cementos utilizables	-	*	*
Qb, Qc	Cualquiera	-	(2)	(2)

(*) Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos

(1) Estos valores corresponden a condiciones moderadamente duras de abrasión. En el caso de que se prevea una fuerte abrasión, será necesario realizar un estudio detallado.

(2) El Autor del proyecto deberá fijar estos valores de recubrimiento mínimo y, en su caso, medidas adicionales, al objeto de que se garantice adecuadamente la protección del hormigón y de las armaduras frente a la agresión química concreta de que se trate.

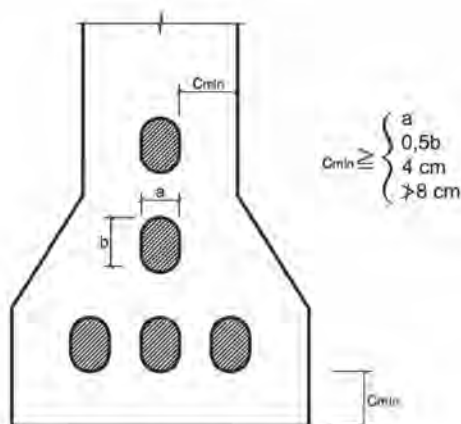


Figura 37.2.4.2

Clase de exposición, según artículo 8º	w _{máx} [mm]	
	Hormigón armado (para la combinación cuasipermanente de acciones)	Hormigón pretensado (para la combinación frecuente de acciones)
I	0,4	0,2
IIa, IIb, H	0,3	0,2 ⁽¹⁾
IIIa, IIIb, IV, F, Qa ⁽²⁾	0,2	Descompresión
IIIc, Qb ⁽²⁾ , Qc ⁽²⁾	0,1	

- (1) Adicionalmente deberá comprobarse que las armaduras activas se encuentran en la zona comprimida de la sección, bajo la combinación cuasipermanente de acciones.
- (2) La limitación relativa a la clase Q sólo será de aplicación en el caso de que el ataque químico pueda afectar a la armadura. En otros casos, se aplicará la limitación correspondiente a la clase general correspondiente.

2.3 Clasificación según la Consistencia

La composición elegida para la preparación de las mezclas destinadas a la construcción de estructuras o elementos estructurales deberá estudiarse previamente, con el fin de asegurarse de que es capaz de proporcionar hormigones cuyas características mecánicas, reológicas y de durabilidad satisfagan las exigencias del proyecto. Estos estudios se realizarán teniendo en cuenta, en todo lo posible, las condiciones de la obra real (diámetros, características superficiales y distribución de armaduras, modo de compactación, dimensiones de las piezas, etc.).

La docilidad del hormigón será la necesaria para que, con los métodos previstos de puesta en obra y compactación, el hormigón rodee las armaduras sin solución de continuidad con los recubrimientos exigibles y rellene completamente los encofrados sin que se produzcan coqueas.

La docilidad del hormigón se valorará determinando su consistencia por medio del ensayo de asentamiento, según UNE-EN 12350-2.
 Las distintas consistencias y los valores límite del asentamiento del cono, serán los siguientes:

Tipo de consistencia	Asentamiento en cm
Seca (S)	0-2
Plástica (P)	3-5
Blanda (B)	6-9
Fluida (F)	10-15
Líquida (L)	16-20

Salvo en aplicaciones específicas que así lo requieran, se evitará el empleo de las consistencias seca y plástica. No podrá emplearse la consistencia líquida, salvo que se consiga mediante el empleo de aditivos superplastificantes.
 En todo caso, la consistencia del hormigón que se utilice será la especificada en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, definiendo aquella por su tipo o por el valor numérico de su asentamiento en cm.

2.4 Clases según la Resistencia a Compresión

A los efectos de esta Instrucción, la resistencia del hormigón a compresión se refiere a los resultados obtenidos en ensayos de rotura a compresión a 28 días, efectuados sobre probetas fabricadas y curadas según UNE-EN 12390-2.
 Todos los métodos de cálculo y las especificaciones de esta Instrucción se refieren a características del hormigón endurecido obtenidas mediante ensayos sobre probetas cilíndricas de 15x30cm. No obstante, para la determinación de la resistencia a compresión, podrán emplearse también:

- probetas cúbicas de 15 cm de arista, o
- probetas cúbicas de 10 cm de arista, en el caso de hormigones con $f_{ck} \geq 50$ N/mm² y siempre que el tamaño máximo del árido sea inferior a 12 mm. en cuyo caso los resultados deberán afectarse del correspondiente factor de conversión, de acuerdo con:

$$f_c = \lambda_{cil,cub15} \cdot f_{c,cúbica}$$

- donde:
- f_c Resistencia a compresión, en N/mm², referida a probeta cilíndrica de 15x30cm.
 - $f_{c,cúbica}$ Resistencia a compresión, en N/mm², obtenida a partir de ensayos realizados en probetas cúbicas de 15cm de arista.
 - $\lambda_{cil,cub15}$ Coeficiente de conversión, obtenido de la Tabla 86.3.2.a

Tabla 86.3.2.a Coeficiente de conversión

Resistencia en probeta cúbica, f_{cc} , (N/mm ²)	$\lambda_{cil,cub15}$
$f_c < 60$	0.90
$60 \leq f_c < 80$	0.95
$f_c \geq 80$	1.00

En el caso de probetas cilíndricas, sólo será necesario refrentar aquellas caras cuyas irregularidades superficiales sean superiores a 0,1 mm o que presenten desviaciones respecto al eje de la probeta que sean mayores de 0,5°, por lo que, generalmente será suficiente refrentar sólo la cara de acabado.

Una vez fabricadas las probetas, se mantendrán en el molde, convenientemente protegidas, durante al menos 16 horas y nunca más de tres días. Durante su permanencia en la obra no deberán ser golpeadas ni movidas de su posición y se mantendrán a resguardo del viento y del asoleo directo

Denominamos:

- Resistencia característica de proyecto, f_{ck} , al valor que se adopta en el proyecto para la resistencia a compresión, como base de los cálculos. Se denomina también resistencia característica especificada o resistencia de proyecto.
- Resistencia característica real de obra, f_{real} es el valor que corresponde al cuantil del 5 por 100 en la distribución de resistencia a compresión del hormigón suministrado a la obra.
- Resistencia característica estimada, f_{est} , es el valor que estima o cuantifica la resistencia característica real de obra a partir de un número finito de resultados de ensayos normalizados de resistencia a compresión, sobre probetas tomadas en obra. Abreviadamente se puede denominar resistencia característica.

En cuanto a la resistencia característica especificada, se recomienda utilizar la siguiente serie:

20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100

donde las cifras indican la resistencia característica especificada del hormigón a compresión a 28 días, expresada en N/mm².

Datos a tener en cuenta:

- La resistencia de 20 N/mm² se limita en su utilización a hormigones en masa.
- En los hormigones estructurales, la resistencia de proyecto f_{ck} no será inferior a 20 N/mm² en hormigones en masa, ni a 25 N/mm² en hormigones armados o pretensados.
- Los hormigones con resistencia característica de proyecto f_{ck} superior a 50 N/mm², se denominan hormigones de alta resistencia.

- Se consideran hormigones de endurecimiento rápido los hormigones fabricados con cemento de clase resistente 42,5R, 52,5 ó 52,5R siempre que su relación agua/cemento sea menor o igual que 0,60, los fabricados con cemento de clase resistente 32,5R ó 42,5 siempre que su relación agua/cemento sea menor o igual que 0,50 o bien aquellos en los que se utilice acelerante de fraguado.
- El resto de los casos se consideran hormigones de endurecimiento normal.

2.5 El valor k (según EHE-08)

En el caso particular de que se utilicen adiciones en la fabricación del hormigón, se podrá tener en cuenta su empleo a los efectos del cálculo del contenido de cemento y de la relación agua/cemento.

A tales efectos, se sustituirá para entrar en la tabla 37.3.2.a:

- el contenido de cemento C (kg/m^3) por $C+KF$, así como
- la relación A/C por $A/(C+KF)$

siendo:

- F (kg/m^3) el contenido de adición, y
- K el coeficiente de eficacia de la misma.

En el caso de las cenizas volantes, se tomará un valor de K no superior a 0,20 si se emplea un cemento CEM I 32,5, ni superior a 0,40 en el caso de cementos CEM I con otras categorías resistentes superiores. La Dirección Facultativa podrá admitir, bajo su responsabilidad, valores superiores del coeficiente de eficacia pero no mayores de 0,65.

En el caso del humo de sílice, se tomará un valor de K no superior a 2, excepto en el caso de hormigones con relación agua/cemento mayor que 0,45 que vayan a estar sometidos a clases de exposición H ó F en cuyo caso para K se tomará un valor igual a 1.

En el caso de utilización de adiciones, los contenidos de cemento no podrán ser inferiores a 200, 250 ó 275 kg/m^3 , según se trate de hormigón en masa, armado o pretensado.

2.6 Contenido en Cloruros en el hormigón

Los componentes del hormigón deberán cumplir las prescripciones incluidas en los Artículos 26º, 27º, 28º, 29º y 30º de la EHE-08. Además, el ión cloruro total aportado por los componentes no excederá de los siguientes límites:

- Obras de hormigón pretensado..... 0,2% del peso del cemento
- Obras de hormigón armado u hormigón en masa que contenga armaduras para reducir la fisuración..... 0,4% del peso del cemento

2.7 Especificación del Hormigón

Los hormigones se tipificarán de acuerdo con el siguiente formato lo que deberá reflejarse en los planos de proyecto y en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto:

T - R / C / TM / A

donde:

T. - Indicativo que será:

- HM en el caso de hormigón en masa,
- HA en el caso de hormigón armado, y
- HP en el de pretensado.

R. - Resistencia característica especificada, en N/mm².

C. - Letra inicial del tipo de consistencia, tal y como se define en 31.5.

TM. - Tamaño máximo del árido en milímetros, definido en 28.3.

A. - Designación del ambiente, de acuerdo con 8.2.1.

En cuanto a la resistencia característica especificada, se recomienda utilizar la siguiente serie:

20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100

En la cual las cifras indican la resistencia característica especificada del hormigón a compresión a 28 días, expresada en N/mm².

2.8 Control de Conformidad

La conformidad de un hormigón con lo establecido en el proyecto se comprobará durante su recepción en la obra, e incluirá su comportamiento en relación con la docilidad, la resistencia y la durabilidad, además de cualquier otra característica que, en su caso, establezca el pliego de prescripciones técnicas particulares.

El control de recepción se aplicará tanto al hormigón preparado, como al fabricado en central de obra.

La toma de muestras se realizará de acuerdo con lo indicado en UNE EN 12350-1, pudiendo estar presentes en la misma los representantes de la Dirección Facultativa, del Constructor y del Suministrador del hormigón.

Salvo en los ensayos previos, la toma de muestras se realizará en el punto de vertido del hormigón (obra o instalación de prefabricación), a la salida de éste del correspondiente elemento de transporte y entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ de la descarga.

El representante del laboratorio levantará un acta para cada toma de muestras, que deberá estar suscrita por todas las partes presentes, quedándose cada uno con una copia de la misma.

El Constructor o el Suministrador de hormigón podrán requerir la realización, a su costa, de una toma de contraste.

El control de la resistencia del hormigón tiene la finalidad de comprobar que la resistencia del hormigón realmente suministrado a la obra es conforme a la resistencia característica especificada en el proyecto, de acuerdo con los criterios de seguridad y garantía para el usuario definidos por esta Instrucción. Los ensayos de resistencia a compresión se realizarán sobre probetas fabricadas y curadas según UNE-EN 12390-2.

Su frecuencia y los criterios de aceptación aplicables serán función de:

- a) la posesión de un distintivo de calidad y el nivel de garantía para el que se haya efectuado el reconocimiento oficial del mismo, y
- b) la modalidad de control que se adopte en el proyecto, y que podrán ser:
 - Modalidad 1. Control estadístico, según tabla 86.5.4,
 - Modalidad 2. Control al 100 por 100, según 86.5.5, y
 - Modalidad 3. Control indirecto, según 86.5.6.

Tabla 86.5.4.1

Tamaño máximo de los lotes de control de la resistencia, para hormigones sin distintivo de calidad oficialmente reconocido

Límite superior	TIPO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES		
	Elementos o grupos de elementos que funcionan fundamentalmente a compresión (pilares, pilas, muros portantes, pilotes, etc.)	Elementos o grupos de elementos que funcionan fundamentalmente a flexión (vigas, forjados de hormigón, tableros de puente, muros de contención, etc.)	Macizos (zapatas, estribos de puente, bloques, etc.)
Volumen de hormigón	100 m ³	100 m ³	100 m ³
Tiempo de hormigonado	2 semanas	2 semanas	1 semana
Superficie construida	500 m ²	1000 m ²	--
Número de plantas	2	2	--

Cuando un lote esté constituido por amasadas de hormigones en posesión de un distintivo oficialmente reconocido, podrá aumentarse su tamaño multiplicando los valores de la tabla 86.5.4.1 por cinco o por dos, en función de que el nivel de garantía para el que se ha efectuado el reconocimiento se a conforme con el apartado 5.1 o con el apartado 6 del Anejo nº 19 de la EHE-08, respectivamente. En estos casos de tamaño ampliado del lote, el número mínimo de lotes será de tres correspondiendo, si es posible, cada lote a elementos incluidos en cada columna de la tabla 86.5.4.1. En ningún caso, un lote podrá estar formado por amasadas suministradas a la obra durante un periodo de tiempo superior a seis semanas.

Antes de iniciar el suministro del hormigón, la Dirección Facultativa comunicará al Constructor, y éste al Suministrador, el criterio de aceptación aplicable.

La conformidad del lote en relación con la resistencia se comprobará a partir de los valores medios de los resultados obtenidos sobre dos probetas tomadas para cada una de las N amasadas controladas, de acuerdo con la tabla 86.5.4.2.

Tabla 86.5.4.2

Resistencia característica especificada en proyecto f_{ck} (N/mm²)	Hormigones con distintivos de calidad oficialmente reconocido con nivel de garantía conforme con el apartado 5.1 del Anejo 19	Otros casos
$f_{ck} \leq 30$	$N \geq 1$	$N \geq 3$
$35 \leq f_{ck} \leq 50$	$N \geq 1$	$N \geq 4$
$f_{ck} > 50$	$N \geq 2$	$N \geq 6$

2.9 Control de conformidad para otras Propiedades del Hormigón

Se deben suministrar los certificados de conformidad de acuerdo con la norma EHE-08 sobre otras propiedades del hormigón fresco y endurecido además de la resistencia a compresión.

Se especifica un plan de muestreo y ensayos y de criterios de conformidad para resistencia a la tracción, consistencia, densidad, contenido de cemento, contenido de aire, contenido en cloruros y relación a/c (ver las secciones relevantes en la norma EHE-08).

Los detalles sobre cada método de ensayo se exponen en el capítulo 4 y en el capítulo 5.

3. Hormigón



3.1 Usos principales del hormigón

Tiene sentido clasificar los usos del hormigón sobre la base de cuándo y cómo es producido, junto con su método de aplicación, ya que éstos tienen distintos requisitos y propiedades. Las ventas de cemento en dos países europeos en el año 2002 se muestran como ejemplo de cómo el porcentaje varía para los distintos canales de distribución y uso para la totalidad de los métodos de utilización:

Suiza	España
■ Aprox. 72% a plantas de hormigón preparado	■ Aprox. 70% a plantas de hormigón preparado
■ Aprox. 17% a Distribuidores	■ Aprox. 3% a Distribuidores
■ Aprox. 7% a prefabricados	■ Aprox. 23% a fabricantes de elementos prefabricados de hormigón
■ Aprox. 4% a otros mercados	■ Aprox. 4% a otros mercados

3.1.1 Fabricación de hormigón in situ

La fabricación de hormigón in situ es, o bien mezclado en la obra u hormigón elaborado, que permanece en su posición final en la estructura después de haber sido colocado en el encofrado.

Las instalaciones de plantas de hormigón preparado desde donde se distribuye el hormigón se han extendido tanto en muchos mercados que el contratista puede ser suministrado de forma rápida y fiable.

Una instalación en la propia obra ofrece aún ventajas económicas y logísticas en grandes obras donde se requiere hormigón de modo ininterrumpido.

La fabricación de hormigón in situ se puede llevar a cabo de distintas maneras y debe cumplir una serie de especificaciones. Su aplicación se puede dividir según las siguientes etapas:

1. Preparación del diseño del hormigón

Cuando se prepara el diseño, la fabricación del hormigón debe definirse de acuerdo con los requisitos específicos del proyecto. Deberían definirse los siguientes parámetros:

- Requisitos de resistencia
- Requisitos de durabilidad
- Requisitos estéticos
- Diámetro máximo de partícula
- Método de colocación
- Velocidad de colocación
- Consistencia del hormigón
- Condiciones generales del entorno(temperatura etc....)
- Método y tiempo de entrega
- Tiempo de espera / curado
- Definición de los requisitos para los ensayos
- Diseño y especificación de la mezcla
- Ensayos preliminares
- Ajuste del diseño de la mezcla cuando proceda

Los hormigones obtenidos de estos parámetros se detallan en la sección 3.2. Las propiedades del hormigón fresco se tratan detalladamente en el capítulo 4 y las propiedades del hormigón endurecido en el capítulo 5. Los ensayos del hormigón fresco se discuten en el capítulo 4 y los del hormigón endurecido en el capítulo 5.

2. Producción

La producción es un factor crítico del hormigón resultante y consiste básicamente en la dosificación y mezcla de las materias primas. Los siguientes parámetros pueden afectar las propiedades del hormigón durante su mezcla:

- | | |
|---------------------------|---|
| – Tipo de amasadora | – Añadido de materias primas |
| – Tamaño de la amasadora | – Control de calidad de la planta |
| – Intensidad de la mezcla | – Operario de la amasadora de hormigón |
| – Tiempo de mezclado | – Limpieza /mantenimiento de la amasadora |

Los superplastificantes deberían generalmente ser mezclados con el agua de amasado o añadidos a la amasadora con ésta (al comienzo). Se puede encontrar información más completa en las Fichas Técnicas de los productos de Sika.

■ Preparación in situ

- Instalación de los sistemas de manejo/colocación del hormigón
 - Preparación del encofrado (incluyendo aplicación del desencofrante)
- Control de las armaduras
Control del encofrado (fijación, integridad, presión del encofrado)
Suministro de herramientas de compactado (vibradores... etc.) y herramientas de acabado (fratasadoras, llanas etc.)

■ Entrega

Si el hormigón se distribuye en camiones hormigonera, se deben tener en cuenta los siguientes factores adicionales:

- Tiempo de transporte (condiciones del tráfico, retrasos potenciales etc.)
- Definir las revoluciones necesarias del tambor durante el trayecto.
- No dejar el camion-hormigonera esperando al sol durante los tiempos de espera.
- Para una consistencia fluida (HAC), definir la capacidad máxima que se puede llevar
- No añadir agua o dosis extra de aditivos (a menos que esté especificado)
- Mezclar de nuevo completamente antes de descargar (1 minuto por m³)

■ Colocación del hormigón

El hormigón es por lo general colocado dentro de un período de tiempo definido y limitado. Los siguientes factores contribuyen al éxito de este proceso, que es crucial para la calidad del hormigón

- Verificación de la documentación de la entrega
- Uso del equipo apropiado (vibradores etc.)
- Evitar una manipulación excesiva del hormigón
- Colocación y compactado continuos
- Re-compactación en grandes vertidos
- Tomar las apropiadas medidas de mantenimiento durante las interrupciones del hormigonado
- Llevar a cabo el acabado necesario (inspección final)

■ Curado

Para lograr una calidad constante y consistente en el hormigón es fundamental lograr un curado apropiado y correcto. Las siguientes medidas de curado contribuyen a ello:

- Proteger habitualmente de las influencias climáticas adversas (incidencia directa del sol, viento, lluvia, heladas etc.)
- Prevenir vibración (después del acabado)
- Usar un agente de curado
- Cubrir con telas / mantas térmicas
- Mantener húmedo/empañado o rociar con agua sin es necesario
- Mantener el tiempo de curado necesario a la temperatura correspondiente

Se da una información detallada sobre el curado en el capítulo 8.

3.1.2 Hormigón para Estructuras Prefabricadas

El hormigón prefabricado se usa para formar estructuras que se transportan después del endurecimiento. Desaparecen los largos viajes del hormigón en estado fresco, lo cual significa un cambio en todo el proceso de producción. El hormigón usado para la producción de estructuras prefabricadas requiere un proceso de producción industrializado, y también resulta fundamental un buen diseño de la mezcla del hormigón con una continua optimización. Los siguientes puntos son importantes a lo largo de las distintas etapas del proceso:

■ Preparación del diseño del hormigón

Cuando se prepara el diseño, se deben definir los requisitos del hormigón de acuerdo con los elementos específicos, el uso pretendido y las condiciones de exposición. Deberían ser definidos habitualmente los siguientes parámetros:

- Requisitos de resistencia
- Requisitos de durabilidad
- Requisitos estéticos
- Diámetro máximo de partícula
- Método de colocación
- Velocidad de colocación
- Consistencia del hormigón
- Condiciones generales del entorno (temperatura etc.)
- Manipulación del hormigón y su colocación
- Definición de los requisitos de ensayo
- Consideración de los parámetros específicos de los elementos del hormigón
- Especificación del curado
- Diseño y especificaciones de la mezcla
- Ensayos preliminares
- Ajuste del diseño de la mezcla si fuera necesario

El hormigón obtenido a partir de estos parámetros se detalla en la sección 3.2. Las propiedades del hormigón fresco se estudian detalladamente en el capítulo 4 y las propiedades del hormigón endurecido en el capítulo 5. Los ensayos del hormigón fresco son tratados en la sección 4.2 y los del hormigón endurecido en la sección 5.2.

Producción

La producción es un factor crítico para el hormigón resultante y consiste básicamente en la dosificación y amasado de las materias primas. Los siguientes parámetros pueden afectar a las propiedades del hormigón durante el amasado:

- Tipo de amasadora
- Tamaño de la amasadora
- Intensidad del amasado
- Tiempo de amasado
- Adición de materias primas
- Control de calidad de la planta
- Operario de la amasadora
- Limpieza/mantenimiento de la amasadora

Los superplastificantes deberían mezclarse generalmente con el agua de amasado o ser añadidos a la amasadora con ésta (al comienzo). Se puede encontrar una información más detallada en las correspondientes Hojas de Productos de Sika.

■ Preparación

Los preparativos en la planta de prefabricado incluyen lo siguiente:

- Suministro del encofrado y equipo para la manipulación
- Preparación del encofrado (incluyendo la aplicación de un desencofrante)
- Comprobación de la armadura
- Comprobación del encofrado (fijación, integridad)
- Suministro de las herramientas de colocación y acabado del hormigón

■ Colocación del hormigón

El hormigón se coloca generalmente dentro de unos límites cortos y definidos de tiempo. Los siguientes factores contribuyen al éxito de esta operación que resulta crucial para la calidad del hormigón:

- Inspección del hormigón que se va a colocar
- Uso del equipo apropiado (vibradores)
- Evitar una manipulación excesiva del hormigón
- Colocación y compactación continuas
- Acabado muy cuidado
- Comprobación final

■ Curado

Puesto que la fabricación previa lleva consigo generalmente una producción en proceso continuo, se requieren intervalos cortos de tiempo en todas y cada una de las etapas de la producción, por lo que el curado es particularmente importante debido a sus limitaciones en cuanto a tiempo:

- Incluir el curado en el diseño del hormigón
- Usar vapor de agua para el curado si fuera necesario
- Prevenir la vibración (después del acabado)
- Usar un desencofrante
- Cubrir con lonas o mantas térmicas
- Mantener humedecido o rociar con agua si fuera necesario
- Guardar un tiempo de curado de acuerdo con la temperatura

Se proporciona una información más detallada sobre el curado en el capítulo 8.

3.2 Hormigones especiales

3.2.1 Hormigón bombeado

El hormigón bombeado se utiliza hoy en día para aplicaciones muy distintas. Resulta esencial un diseño apropiado de la mezcla, de modo que el hormigón pueda ser bombeado sin que se produzca segregación o bloqueo de las conducciones.

Composición

■ Árido

- $\varnothing$ máximo de partícula < 1/3 del calibre del tubo
- El mortero fino de la mezcla de bombeo debe tener una buena cohesión para prevenir la segregación durante el bombeo

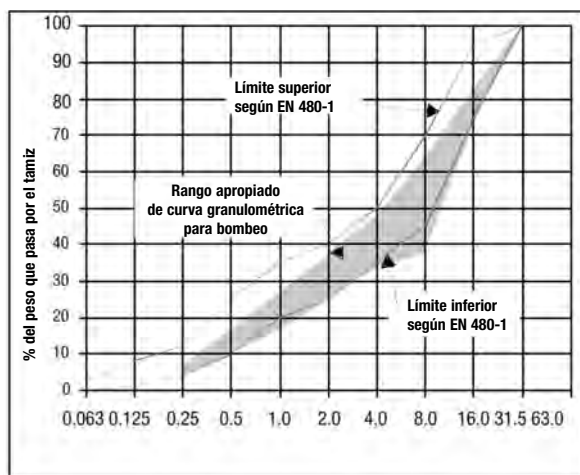
Valores estándar para el contenido de grano fino (contenido ≤ 0.125 mm)

Partícula $\varnothing$ 8mm	Partícula $\varnothing$ 16 mm	Partícula $\varnothing$ 32 mm
450 kg/m ³	400 kg/m ³	350 kg/m ³

Dosificación recomendable:

Máx. partícula $\varnothing$	Árido redondeado	Árido de machaqueo
8 mm	500 kg/m ³	525 kg/m ³
16 mm	425 kg/m ³	450 kg/m ³
32 mm	375 kg/m ³	400 kg/m ³

Curva granulométrica: el hormigón bombeado debería estar formado por componentes individuales diferentes si ello fuera posible. Es importante una curva granulométrica con una gradación continua. El contenido de 4 a 8 mm debería ser mantenido a un valor bajo, pero no debería haber una graduación discontinua.



■ Cemento

Mínimo contenido en cemento recomendado

$\varnothing$ max. de partícula	Árido rodado	Árido de machaqueo
8 mm	380 kg/m ³	420 kg/m ³
16 mm	330 kg/m ³	360 kg/m ³
32 mm	300 kg/m ³	330 kg/m ³

■ Relación agua/conglomerante

Si el contenido de agua es demasiado alto, se produce segregación y exudación durante el bombeo y esto puede llevar a una obstrucción del tubo. El contenido de agua debería ser siempre reducido por medio del uso de superplastificantes. Una manera de mantener la reología del hormigón en estado fresco impidiendo la segregación es la utilización de aditivos cohesionantes como la gama **Sika Stabilizer**.

■ Manejabilidad

El hormigón fresco debería tener una consistencia suave con una buena cohesión interna. A ser posible, la consistencia del hormigón bombeado debería estar fijada por el grado de compactabilidad.

■ Consistencia del hormigón fresco

La docilidad del hormigón se valorará determinando su consistencia por medio del ensayo de asentamiento, según UNE-EN 12350-2.

Las distintas consistencias y los valores límite del asentamiento del cono, serán los siguientes:

Tipo de consistencia	Asentamiento en cm
Seca (S)	0-2
Plástica (P)	3-5
Blanda (B)	6-9
Fluida(F)	10-15
Líquida (L)	16-20

Agentes de bombeo

Áridos inapropiados, materias primas que varían, largas distancias en la transporte o altas velocidades de colocación de volúmenes muy grandes de hormigón requieren el uso de un agente de bombeo. Esto reduce la fricción y la resistencia en el tubo, así como el desgaste de la bomba y las conducciones y aumenta el volumen de salida.

■ Conducciones

- Ø de 80 a 200 mm (normalmente Ø 100, 125 mm)
- Cuanto más pequeño el Ø más complicado es el bombeo (superficie/sección)
- Los acoplamientos deben ajustar firmemente para prevenir la pérdida de presión y de finos
- Los primeros metros deberían ser lo más horizontales posible y sin curvas. (Esto es especialmente importante antes de la aparición de un tramo ascendente)
- Proteger los conductos de la acción intensa y directa del sol en verano

■ Mezclas lubricantes

La mezcla lubricante tiene como misión recubrir las paredes internas de las conducciones por medio de una capa con alto contenido en finos para permitir un bombeo fácil desde el principio.

- Mezcla convencional: mortero 0-4 mm, contenido en cemento el mismo o ligeramente superior al del hormigón a bombear. La cantidad en función del Ø y longitud del tubo.
- Utilización de aun aditivo mejorador del bombeo como **Sika Pump** al comienzo del bombeo.

■ Efecto del contenido en aire en el hormigón bombeado

Un hormigón que contiene microporos resistente al hielo/deshielo, puede bombearse si el contenido de aire ocluido permanece < 5%, ya que un mayor contenido puede producir un aumento de la resiliencia.

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® Sika® Viscocrete® SikaPlast®	Superplastificante	Reducción de agua. Resistencia e impermeabilidad mejoradas con una consistencia (trabajabilidad) y bombeabilidad garantizadas
Sika® Fume®	Humo de Sílice	Alta resistencia, mayor impermeabilidad, bombeabilidad mejorada.
SikaPump®	Mejorador de bombeo	Lleva a cabo el bombeo de áridos inapropiados y protege el equipo de un desgaste excesivo
Sika® Stabilizer®	Estabilizante	Mantiene la cohesión interna. Lleva a cabo el bombeo de áridos inapropiados y protege el equipo de un desgaste excesivo

3.2.2 Hormigón para Superficies con Tráfico

El hormigón para superficies que soportan tráfico tiene muchas aplicaciones y se usa frecuentemente como alternativa al asfalto debido a su durabilidad y por otras ventajas.

Usos del hormigón para carreteras:

- Construcción de carreteras convencionales
- Glorietas de hormigón
- Pistas de aeródromos
- Pavimentaciones industriales

Cuando el hormigón es utilizado en este tipo de aplicaciones, la capa de hormigón actúa a la vez como capa base portante y capa de rodadura. Para cumplir los requisitos de ambas capas el hormigón debe tener las propiedades siguientes:

- Alta resistencia a flexión
- Resistencia a la acción del ciclo hielo/deshielo
- Buena resistencia al deslizamiento
- Baja abrasión

La composición es un factor vital para lograr las características deseadas. Los criterios de selección de los distintos componentes son:

■ Áridos

- Uso de mezclas con bajo contenido en finos
- Uso de una curva granulométrica equilibrada
- El uso exclusivo o parcial de áridos de machaqueo aumenta la resistencia al deslizamiento y la resistencia a flexión

■ Cemento

Dosificación 300 – 350 kg/m³, normalmente CEM I 42.5

■ Adiciones

- Humo de sílice en áreas de gran densidad de tráfico o de modo general para aumentar la durabilidad
- Incremento de la resistencia al deslizamiento esparciendo carburo de silicio o granalla sobre la superficie

El hormigón para carreteras es un hormigón especial y requieren una atención especial los siguientes puntos:

- Las grandes superficies son instaladas frecuentemente con maquinaria de pavimentación. La consistencia debe ser apropiada al tipo de maquinaria.
- Mejora en las propiedades antideslizantes por medio de un acabado estriado o con cepillo.
- Es fundamental un curado total.

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® Sika® Viscocrete® SikaPlast®	Superplastificante	Reducción de agua. Aumento de las resistencias a compresión y flexión. Consistencia mejorada
Sika® Fume®	Humo de Sílice	Alta resistencia, mayor impermeabilidad
Sika Aer®	Aireante	Oclusión del aire que incrementa la resistencia al hielo/deshielo
Sika Rapid®	Acelerante de endurecimiento	Desarrollo de resistencia más rápidamente
Sika Retarder®	Retardante de fraguado	Retraso en el fraguado inicial
Sika® Antisol®	Agente curado	Protección de un secado prematuro

3.2.3 Hormigón Autocompactante (HAC)

El hormigón autocompactante tiene un contenido en finos mayor que el hormigón convencional debido a un mayor contenido en cemento y a una curva de tamaños de partículas diferente. Estos ajustes, combinados con unos superplastificantes especialmente diseñados, producen una fluidez única y poseen una trabajabilidad inherente. El hormigón autocompactante abre un nuevo potencial más allá de las aplicaciones convencionales del hormigón:

- Uso con armaduras densas
- Para formas geométricas complejas
- Para componentes esbeltos
- De modo general donde la compactación del hormigón es compleja
- Para velocidades altas de colocación del hormigón
- Para especificaciones que requieran una estructura homogénea del hormigón
- Para reducir el ruido (eliminar o reducir la vibración)
- Para reducir el daño a la salud (síndrome de los “nudillos blancos”)

Composición

■ Áridos

Son preferibles tamaños máximos de partículas más pequeños de aprox. 12 a 20 mm, aunque en principio todos los tamaños de áridos son válidos.

Ejemplo de granulometría 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	-	-	30%

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

HAC 0 / 4 mm	$\geq 650 \text{ kg/m}^3$
HAC 0 / 8 mm	$\geq 550 \text{ kg/m}^3$
HAC 0 / 16 mm	$\geq 500 \text{ kg/m}^3$
HAC 0 / 32 mm	$\geq 475 \text{ kg/m}^3$

■ Contenido en aglomerante

Teniendo en cuenta el contenido en finos, se pueden determinar los siguientes contenidos en cemento y áridos, dependiendo de los requisitos de calidad del hormigón y las arenas utilizadas:

Contenido en cemento y adiciones (total)

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

■ Contenido en agua

El contenido en agua del HAC depende de los requisitos de calidad del hormigón y se pueden definir de la siguiente manera:

Contenido en agua

$>200 \text{ l / m}^3$	Baja calidad del hormigón
180 a 200 l / m^3	Calidad estándar del hormigón
$< 180 \text{ l / m}^3$	Alta calidad del hormigón

Aditivos del hormigón

Para ajustar estos contenidos en agua y asegurar la homogeneidad y el ajuste de la viscosidad, deberían especificarse los superplastificantes de 3ª generación de la gama **Sika® Viscocrete®**

Colocación del HAC

Encofrado

Las piezas que forman el encofrado del HAC deben estar limpias y encajar perfectamente. Las presiones en el encofrado pueden ser mayores que la que se produce en el hormigón vibrado habitual. La presión en el encofrado depende de la viscosidad del hormigón, la velocidad de llenado el lugar por donde se añade el hormigón. Se debería tener en cuenta en el diseño del encofrado la presión hidrostática total potencial.

Método de colocación

El hormigón autocompactante se coloca del mismo modo que el hormigón convencional. El HAC no se debe vaciar libremente desde una gran altura. El flujo óptimo así como la apariencia óptima de la superficie se obtienen llenando el encofrado desde abajo. Esto se puede lograr usando tuberías tremie etc.

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sika® Viscocrete®	Superplastificante (producto para el verano)	Resistencia e impermeabilidad mejoradas Alta reducción de agua
Sika® Viscocrete®	Superplastificante (producto para el invierno)	Ayuda a la propiedad de autocompactación Potencia la cohesión interna
Sika® Viscocrete®	Superplastificante (productos para prefabricado)	Resistencia e impermeabilidad mejoradas
Sika® Fume®	Humo de Sílice	Alta resistencia, mayor impermeabilidad Mantiene la estabilidad del aire ocluido
Sika® Aer®	Aireante	Oclusión de aire para la producción de HAC resistente al hielo/deshielo
Sika® Rapid®	Acelerante	Control del fraguado y endurecimiento

3.2.4 Hormigón resistente al hielo/deshielo

El hormigón resistente al hielo/deshielo se debe usar siempre para superficies que van a quedar expuestas al exterior (humedad) y donde las temperaturas en la superficie pueden descender hasta temperaturas de congelación.

- Fachadas de hormigón visto
- Estructuras de puentes
- Portales de túneles
- Carreteras
- Muros de contención

Añadiendo agentes aireantes, se generan burbujas de aire pequeñas, esféricas y cerradas durante el proceso de amasado en la zona ultra-fina del mortero (cemento, el grano más fino, y agua) del hormigón. El objetivo es asegurar que el hormigón endurecido sea resistente al ciclo de hielo/deshielo (por medio de la creación de un espacio para la expansión de cualquier resto de agua mientras duren las condiciones de congelación).

Tipo, tamaño y distribución de los huecos de aire

Los huecos de aire contenidos en un hormigón estándar son habitualmente demasiado grandes (>0.3 mm) para que puedan incrementar la resistencia al hielo/deshielo. **Las burbujas de aire efectivas** se generan a través de agentes aireantes. Las burbujas de aire se generan físicamente durante el proceso de amasado. Para desarrollarse de un modo totalmente efectivo no deben estar muy separadas unas de otras. El “efecto espaciador” está definido a través del así llamado factor espacial FE.

Producción / tiempo de amasado

Para asegurar una alta resistencia al ciclo de hielo/deshielo, el tiempo de la mezcla húmeda debe ser mayor que el de un hormigón estándar y continuar después de haber añadido el agente aireante. Un aumento del tiempo de amasado de 60 a 90 segundos mejora el contenido de burbujas de aire hasta un 100%.

Cantidad de burbujas de aire requeridas

Para asegurar una alta resistencia a la congelación y al ciclo hielo/deshielo, la matriz del cemento debe tener contener un 15% de burbujas de aire apropiadas. Una larga experiencia confirma que hay suficientes burbujas de aire efectivas en un hormigón si los resultados del ensayo (recipiente de aire) muestran los siguientes contenidos en aire:

Hormigón con tamaño máximo de partícula de 32 mm 3% al 5%

Hormigón con tamaño máximo de partícula de 16 mm 4% al 6%

El hormigón fresco con un contenido de aire ocluido de un 7% o mayor sólo debería colocarse después de una investigación y ensayos detallados.

Factores que influyen en la oclusión del aire

■ Granulometría

Las burbujas de aire se forman principalmente alrededor de la arena de fracción 0.25-0.5 mm. Las partículas de mayor tamaño no tienen efecto en la oclusión del aire. Los ultra-finos procedentes de la arena o del cemento y algunos aditivos pueden inhibir la oclusión del aire.

■ Consistencia

Una oclusión de aire óptima se logra en un rango de consistencia de plástica a plástica/blanda. Un hormigón que se ha aligerado por una adición extra de agua no debería retener las burbujas de aire tan bien o tanto tiempo como el del hormigón original.

■ Temperatura

La capacidad para ocluir aire decrece en la medida en que aumenta la temperatura del hormigón y viceversa.

■ Entrega

Se puede esperar un cambio del contenido en aire durante su entrega. Dependiendo del modo de transporte y la vibración sufrida durante el viaje, pueden tener lugar en el hormigón procesos de amasado o desamasado. El hormigón aireado debe ser amasado de nuevo antes de su colocación y sólo entonces se determina el contenido crítico en aire.

■ Compactación del hormigón aireado

Una vibración correcta expulsa principalmente el aire “atrapado” durante su colocación, incluyendo las burbujas de mayor tamaño en el hormigón. Una sobrevibración pronunciada puede también reducir el aire ocluido entre un 10 y un 30%. Un hormigón proclive a la segregación puede entonces perder casi todo el aire ocluido o producir espuma en la superficie.

■ Sustitución del grano más fino

Un 1 % de aire ocluido puede reemplazar aproximadamente a 10 kg de materia ultra-fina (<0.2 mm) por m³ de hormigón. Las burbujas de aire pueden mejorar la trabajabilidad de mezclas ásperas con contenidos bajos en finos.

Diseño del hormigón aireado

Se deben suministrar especificaciones detalladas para la resistencia, contenido de aire y métodos de ensayo. Para grandes proyectos, se deberían llevar a cabo ensayos preliminares bajo las condiciones reales. Durante los trabajos de hormigonado, controlar el contenido en aire en la planta de hormigón y antes de su colocación.

Características de las burbujas de aire	Forma: esférica y cerrada Tamaño: 0.02 a 0.30 mm Factores espaciadores: ≤ 0.20 mm resistente a la congelación ≤ 0.15mm resistente al ciclo hielo/deshielo
Efectos secundarios positivos	Mejora de la trabajabilidad Bloqueo de los poros capilares (resistencia al agua) Cohesión mejorada del hormigón fresco
Efectos negativos	Reducción de las resistencias mecánicas (resistencia a compresión)

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® Sika® Viscocrete® SikaPlast®	Superplastificante	Para reducir la porosidad capilar y por lo tanto introducir menor cantidad de agua
Sika® Aer®	Aireante	Oclusión del aire para asegurar la resistencia al ciclo hielo/deshielo
Sika® Fume®	Humo de Sílice	Para una mayor compactación de la pasta de cemento endurecida y mejora de la unión entre el árido y la pasta de cemento endurecida

3.2.5 Hormigón de alta resistencia

Alta resistencia a compresión

Los hormigones con altas resistencias a compresión ($> 60\text{MPa}$) son clasificados dentro del grupo de hormigones de altas prestaciones y se usan en estructuras muy distintas. Se usan a menudo en la construcción de columnas portantes de grandes cargas y para muchos productos en las plantas de prefabricados.

Mezclas de hormigón convencional de altas resistencias

- En la producción del hormigón convencional de alta resistencia, el amasado y los componentes requieren una atención especial, así como su colocación.
- Áridos de alta resistencia con un tipo de superficie apropiada (angulosa) y tamaño de partícula reducido ($<32\text{ mm}$)
- Una matriz de cemento de alta impermeabilidad y por lo tanto un cemento de alta resistencia debido a una reducción sustancial del contenido en agua
- Aglomerantes especiales que desarrollen altas resistencias y una buena adherencia a los áridos (humo de sílice)
- Uso de una consistencia blanda en el hormigón, utilizando aditivos de hormigón para asegurar una desaireación máxima.

Mezcla de muestra

CEM I 52.5	450 kg/m ³
Humo de sílice	45 kg/m ³
Áridos	Calizas silíceas de machaqueo 0-16 mm
Relación a/c eq.	0.28
Resistencia a los 7 días	95 MPa
Resistencia a los 28 días	110 MPa
Resistencia a los 90 días	115 Mpa

Mezclas de hormigón innovadoras de altas resistencias

Se están desarrollando distintas mezclas alternativas para el hormigón (y mortero) de alta resistencia conjuntamente con las mezclas de hormigón convencionales. La búsqueda de componentes para altas resistencias y mínimo contenido en agua es común en todos ellos.

Para lograrlo se usan áridos y granulometrías especiales con superplastificantes. El desarrollo de resistencias se impulsa también a través de nuevas técnicas de secado y endurecido (tales como el endurecimiento por compresión). Los hormigones producidos de este modo, que habitualmente son morteros, pueden alcanzar resistencias de 150 a 200 MPa más.

En particular notar que:

- Un hormigón de alta resistencia es siempre un hormigón altamente impermeable.
- Por lo tanto el curado del hormigón de alta resistencia es incluso más importante que el que se aplica habitualmente (suministro de humedad inadecuado desde dentro del hormigón)

- El hormigón de alta resistencia es también frágil debido a su resistencia y firmeza incrementadas (impacto sobre las propiedades de corte.)
- Reduciendo el contenido en agua por debajo de 0.38 parte de las partículas de cemento actúan como áridos, ya que no todo el cemento puede ser hidratado.
- Aparte del cemento Portland, el hormigón de alta resistencia utiliza grandes cantidades de materiales latentes hidráulicos y puzolánicos, que tienen excelentes propiedades de desarrollo de resistencias a largo plazo.

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sika® Viscocrete®	Superplastificante	Para la reducción máxima de contenido en agua, y por lo tanto una mejora en la resistencia de la pasta de cemento endurecida
Sika® Fume®	Humo de Sílice	Para una mayor compactación de la pasta de cemento endurecida y mejora de la unión entre el árido y la pasta de cemento endurecida

3.2.6 Hormigón para encofrados deslizantes

En el método de encofrados deslizantes, el encofrado se mueve continuamente en sincronía con el proceso de hormigonado en una operación que dura 24 horas. El encofrado, incluida la plataforma de trabajo y el andamio volante montado en la parte interna o a ambos lados, se fija a las barras de acero (que incorporan gatos hidráulicos) en el centro del muro. Dichos gatos oleohidráulicos levantan el encofrado de 15 a 30 cm por hora dependiendo de la temperatura. Las barras metálicas con los gatos hidráulicos se localizan en la parte superior y se soportan sobre el hormigón que ya ha endurecido. Las barras y acoples se van también elevando de modo continuo. Estos trabajos se llevan a cabo de modo casi exclusivo por contratistas especializados.

El encofrado deslizante es rápido y eficiente. El método es particularmente apropiado para suelos, planos sencillos y consistentes, y estructuras altas tales como:

- Naves industriales de gran altura, silos
- Estructuras de torre y chimenea
- Estructuras de pozos

Debido a que la altura del encofrado es habitualmente sólo de alrededor de 1.20 m y a que la velocidad de producción por hora es de 20 a 30 cm, el hormigón de la parte de abajo tiene de 4 a 6 horas de antigüedad, y debe ser lo suficientemente firme para soportar su propio peso (resistencia en "verde"). Sin embargo, no debe haber fraguado tanto como para que se adhiera parte de él al encofrado que se va elevando (fenómeno conocido como "desconchado"). El principal requisito para aplicar el encofrado deslizante sin problemas es hormigonar todas las zonas al mismo nivel al mismo tiempo, y a continuación un fraguado simultáneo de dichas capas. Por lo tanto, la temperatura influye de modo crítico, conjuntamente con el requisito de una relación a/c óptima.

Composición

■ Árido

- 0-32 mm, ó 0-16 mm para armaduras densas
- Aunque el hormigón para encofrados deslizantes es fundamentalmente hormigón manejado con grúa, el contenido en finos debería ser el adecuado para un hormigón bombeado

■ Cemento

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

Trabajabilidad

La mejor trabajabilidad ha resultado ser un hormigón plástico rígido, con un diámetro de flujo de 35-40 cm y bajo contenido en agua.

Notar en particular que

Un espesor de muro de menos de 14 cm puede ser un problema (desconchamiento, anclaje de las barras de sujeción etc.)

Las superficies recién desencofradas deberían protegerse tanto como sea posible del viento, la luz directa del sol etc.

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament®	Superplastificante /Plastificante	Resistencia e impermeabilidad mejoradas
Sika Viscocrete®	Superplastificante con propiedad de flujo mejorada	Desarrollo de buenas resistencias
SikaPlast®	Superplastificante con propiedades mejoradas de bombeo, consistencia y manejabilidad	
Sika® Fume®	Humo de Silíce	Alta resistencia, mayor impermeabilidad Enriquecimiento de finos
Sika® Stabilizer®	Estabilizante	Potencia la cohesión Reemplaza a los finos
Sika® Aer®	Aireante	Introducción de burbujas de aire Producción de hormigón; para encofrados deslizantes; resistente a las heladas y al ciclo hielo/deshielo
Sika® Rapid® Sika® Retarder®	Acelerante endurecimiento Retardante	Control de procesos de fraguado y endurecido del hormigón para encofrados deslizantes

3.2.7 Hormigón impermeable

El hormigón resistente al agua es normalmente un hormigón impermeable. Para obtener un hormigón impermeable se debe generar una curva granulométrica apropiada y se debe reducir también la porosidad capilar. Los ensayos de resistencia al agua se tratarán en la sección 5.1.3

Las medidas que se deben tomar para reducir la porosidad son las siguientes:

- Reducción de la relación agua / cemento
- Sellado adicional de los huecos con sustancias puzolánicas reactivas.
- El proceso de curado del hormigón es otro parámetro que afecta a la resistencia al agua.

Composición

■ Áridos

- Una curva granulométrica correcta
- Un bajo contenido en finos
- Normalmente se necesita ajustar la cantidad de cemento para obtener un contenido en finos satisfactorio

■ Cemento

En conformidad con el contenido mínimo de cemento según EHE-08

■ Adiciones

Uso de adiciones puzolánicas o hidráulicas latentes

■ Relación agua / cemento

Relación agua / cemento baja para reducir la porosidad capilar

Colocación

- Se recomienda el uso de un hormigón de consistencia plástica a blanda para producir hormigón resistente al agua
- Es importante también una compactación del hormigón cuidadosa y correcta

Curado

- Es crucial un curado inmediato y completo; ver capítulo 8

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament®	Superplastificante	Resistencia e impermeabilidad mejoradas
Sika Viscocrete® SikaPlast®		Reducción sustancial de agua Reducción de la porosidad capilar
Sika® -1	Bloqueador de poros	Reducción de la porosidad capilar
Sika® Aer®	Aireante	inclusor de aire Interrupción de los poros capilares Reducción de la absorción de agua

3.2.8 Hormigón Visto

El hormigón se usa cada vez más en la arquitectura moderna como elemento de diseño, además de su uso por sus propiedades mecánicas. Esto significa unas especificaciones mayores en el acabado (superficies expuestas). Hay muchas maneras de producir efectos especiales sobre estas superficies expuestas:

- Selección de una mezcla de hormigón adecuada
- Especificar el material de que está hecho y tipo de encofrado (¡el encofrado debe ser totalmente impermeable!)
- Uso de una cantidad correcta y adecuada de desencofrante
- Selección de un método de colocación adecuado
- Uso de alineadores de encofrado si fuera necesario
- Consideración de cualquier retoque necesario
- Uso de pigmentos para colorear
- Instalación correcta (compactación, colocación etc.)
- Curado total

Además de todos estos factores, también se deben tener en cuenta otros puntos para un amasado correcto del hormigón:

■ Áridos

- Uso de mezclas con alto contenido en finos
- Contenido en finos mínimo como para el hormigón bombeado
- Seleccionar una curva granulométrica compensada
- Uso de áridos rodados si es posible
- Tener en cuenta diferencias de color en los áridos

■ Cemento

- Puede ser usado en cualquier cantidad
- Tener en cuenta el efecto del cemento en la superficie expuesta
- Generalmente $> 300 \text{ kg/m}^3$

■ Adiciones

- Uso de adiciones específicas para una mejora sistemática de las propiedades del hormigón requeridas

■ Agua

- El contenido en agua en un hormigón de cara vista requiere un gran cuidado y una gran consistencia (evitar fluctuaciones)
- Prevenir la exudación

Colocación

- Colocar el hormigón en capas uniformes de 300 a 500 mm. Cada capa debería ser vibrada con la anterior (marcar el vibrador).
- Usar un tamaño apropiado de vibrador

Pared de espesor hasta 20 cm	Aguja $\varnothing \leq 40$ mm
Pared de espesor de 20 a 40 cm	Aguja $\varnothing 60$ mm
Pared de espesor mayor de 50 cm	Aguja $\varnothing 80$ mm

- Consistencia blanda en la instalación
- Para un mayor control de calidad: considera el uso de hormigón autocompactante (HAC)
- Seleccionar un método y velocidad apropiados de llenado

Curado

- Especificar un curado completo (como el descrito en el capítulo 8)
- Tener en cuenta las condiciones climáticas

Precauciones

- Puede retardar de modo considerable con un encofrado de madera nueva no tratada debido a la presión de la xilosa en la superficie, llevando a una decoloración y formación de polvo
- Si el hormigón está demasiado “húmedo” al colocarlo, pueden aparecer poros de agua con una fina película de cemento o sin ella (coqueras).
- Una vibración inadecuada del hormigón puede dar lugar a poros de vibración con una película gruesa de cemento
- Si las capas de hormigón son demasiado gruesas, existe el riesgo de una pérdida de aire insuficiente durante el vibrado.
- La aplicación de una cantidad excesiva de desencofrante evita que las burbujas de aire (creadas por la vibración) escapen

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® Sika Viscocrete® SikaPlast®	Superplastificante	Mejora la consistencia
Sika® Separol®	Desencofrante	Limpieza y desencofrado más sencillo
Sika® Rugasol®	Retardante superficial	Producción de superficies de hormigón de árido expuesto

3.2.9 Hormigón en masa

El hormigón en masa se refiere a estructuras muy gruesas ($> 80\text{cm}$). Estas estructuras suelen tener un volumen grande, lo que generalmente significa que grandes volúmenes de hormigón deben ser instalados en poco tiempo. Para ello se requiere una planificación excepcional y procesos eficientes.

El Hormigón en masa se usa para:

- Cimentaciones portantes de grandes cargas
- Cimentaciones para el control de la sustentación
- Muros sólidos (por ejemplo para la protección frente a la radiación)
- Hormigón de relleno

Estas estructuras masivas crean problemas fundamentales como:

- Variaciones importantes de las temperaturas internas y externas durante el fraguado y el endurecido
- Temperaturas máximas muy altas
- Variaciones importantes de las temperaturas internas y externas y por lo tanto una retracción mayor
- Consolidación secundaria (reajuste) del hormigón y por lo tanto fisuración de las armaduras de las capas superiores así como asentamiento bajo las barras de las armaduras.

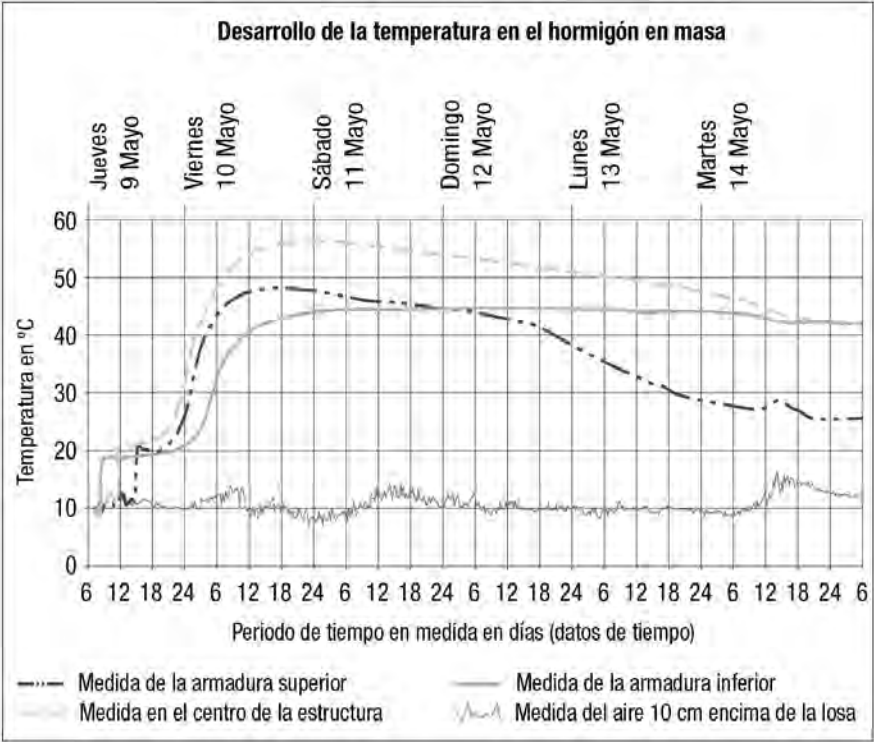
Riesgos:

- Todos estos problemas pueden causar fisuración y defectos en la matriz de cemento. Las denominadas fisuras de superficie o de “piel de cocodrilo” pueden aparecer si la diferencia entre las temperaturas interna y externa excede los 15° o pueden suceder que las capas de hormigón se contraigan debido un secado más rápido de las capas superficiales. Las fisuraciones superficiales tienen generalmente solo unos centímetros de profundidad y pueden cerrarse de nuevo posteriormente.

Medidas a adoptar:

- Uso de cementos de bajo calor de hidratación
- Bajo contenido en agua (reducción de la relación agua/cemento)
- Tamaño de partícula lo mayor posible (por ejemplo 0-50 en vez de 0-32)
- Si fuera necesario, enfriar los áridos con el fin de obtener una temperatura inicial baja del hormigón fresco
- Colocar el hormigón en capas (espesor de capa $< 80\text{ cm}$)
- Retardar las capas inferiores hasta asegurarse de que toda la sección puede ser recompatada después de colocar la capa superior.
- Aplicar un proceso de curado con métodos de aislamiento térmico
- Asegurar un diseño y distribución de juntas y secciones del hormigón para permitir la disipación del calor y para acomodar los distintos desarrollos y diferencias de temperatura

Medida del calor de hidratación en un losa de hormigón de 160 cm. de espesor a tres niveles



Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® Sika Viscocrete® SikaPlast®	Superplastificante	Reducción sustancial de agua
Sika® Retarder®	Retardante	Control del proceso de fraguado

3.2.10 Hormigón armado con fibras

La adición de fibras puede influir de un modo efectivo en muchas propiedades del hormigón fresco y el endurecido. Existen innumerables tipos de fibras con distintas características y formas materiales. Resulta fundamental una selección adecuada según los distintos usos. Además del propio material, la forma de las fibras constituye un factor crítico

El hormigón armado con fibras se usa para:

- Suelos industriales
- Hormigón proyectado
- Estructuras esbeltas (normalmente en plantas de prefabricados)
- Estructuras resistentes al fuego

Propiedades del hormigón armado con fibras:

- Para mejorar la durabilidad de la estructura
- Para mejorar la resistencia a tracción y flexión
- Para conseguir una resistencia a una posterior fisuración
- Para mejorar la distribución de fisuras
- Para reducir la retracción del hormigón en estadios tempranos
- Para incrementar la resistencia al fuego
- Para influir en la trabajabilidad

Producción de hormigón

Se deben seguir las instrucciones del fabricante cuando se fabrica hormigón con fibras. Si se añaden las fibras en el momento equivocado o un amasado incorrecto puede provocar problemas serios e incluso conseguir que las fibras no sirvan para nada.

- Cumplir las instrucciones del fabricante respecto a los tiempos y métodos de añadido (por ejemplo en la planta de hormigón o en el camión hormigonera)
- Cumplir los tiempos de amasado (aglomeración / destrucción de fibras)
- No exceder el contenido máximo en fibra recomendado (se produciría una reducción considerable en la trabajabilidad)
- Las fibras incrementan habitualmente la demanda de agua de la mezcla (compensarlo con el uso de superplastificantes)

Tipos de fibras

- Fibras de acero
- Fibras de plástico
- Fibras de vidrio
- Fibras de carbono
- Fibras naturales

3.2.11 Hormigón pesado

El hormigón pesado se usa fundamentalmente para el blindaje frente a la radiación. Las propiedades clave del hormigón pesado son:

- Una densidad homogénea y compacta del hormigón
- Sin fisuras ni formación de nidos de abeja
- La resistencia a compresión suele ser un criterio secundario debido al enorme tamaño de la estructura
- Tan libre de huecos de aire como sea posible
- Mantener la retracción en niveles bajos

Composición

■ Áridos

- Uso de baritas, minerales de hierro, escorias de metales pesados, ferro-silíceos férreas, granalla de acero o granalla metálica

■ Cemento

- Tener en cuenta el desarrollo de calor de hidratación al seleccionar el tipo de cemento y su contenido.

■ Agua

- Apuntar hacia un contenido bajo en la relación agua / cemento

Trabajabilidad

Para asegurar que la matriz del hormigón quede bien sellada, se debe tener un cuidado especial en su colocación (compactación)

Curado

Debe tenerse en cuenta en el método de curado el desarrollo de gran cantidad de calor debido al probable gran tamaño de la estructura. No obstante el curado se debe realizar de acuerdo con la descripción que se hace en el capítulo 8.

Tener en cuenta el desarrollo de calor de hidratación al seleccionar el tipo de cemento y su contenido.

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® Sika Viscocrete® SikaPlast®	Superplastificante	Reducción sustancial de agua Mejoran la colocación (trabajabilidad y compactación)
SikaFume®	Humo de sílice	Reducción de la permeabilidad
Sika® Control® -40	Regulador de la fisuración	Reducción sustancial de la fisuración por retracción

3.2.12 Hormigón sumergido

Como el propio nombre indica, el hormigón sumergido se coloca bajo el agua por ejemplo:

- Instalaciones portuarias
- Pilastras de puente en los ríos
- Estructuras en la industria del agua
- Sistemas para el Metro
- Pozos profundos en suelos inestables, donde una caída interna en el nivel de agua puede llevar a una dislocación del terreno

Composición ($\varnothing$ 0-32 mm)

■ Áridos

- Usar un árido adecuado para mezclas de bombeo
- Los finos incluido el cemento $>400 \text{ kg/m}^3$

■ Cemento

- Contenido mínimo de cemento 350 kg/m^3

Requisitos especiales

Un método fiable de colocar hormigón bajo el agua con una pérdida mínima es el método tremie (método Contractor). El hormigón se coloca directamente a través de un tubo de $\varnothing$ 20-40 cm que está inmerso en el hormigón ya colocado. El tubo se va elevando constantemente, pero la boca del tubo debe estar suficientemente sumergida dentro del hormigón para evitar que el agua se introduzca por el tubo.

Otro método que también se usa hoy en día es el bombeo de una mezcla modificada a través de una bomba de hormigón estándar. De nuevo aquí, el final del tubo que distribuye el hormigón debe mantenerse inmerso en el hormigón.

Otras consideraciones importantes:

- Si aumenta el flujo de agua, es más probable que se produzca segregación. Lo mejor es usar un flujo lo más bajo posible
- Evitar diferencias de presión en las conducciones (tales como diferencias en el nivel de agua en los pozos)

Hormigón sumergido especial

Sacos de piedra o “gaviones” colocados previamente pueden ser posteriormente rellenos con lechadas de cemento modificadas (método del hormigón ensacado).

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® Sika Viscocrete® SikaPlast®	Superplastificante	Mejoran la consistencia Reducen el contenido en agua
Sika® Stabilizer	Estabilizante	Mejora la cohesión Previene la segregación de los finos Para uso en condiciones de flujo estático y especial
Sika® Fume	Humo de sílice	Mejora la cohesión Previene la segregación de los finos. Para uso en aguas con flujos de agua importantes (mareas)

3.2.13 Hormigón Ligero

Hormigón ligero significa hormigón y mortero con una densidad baja. Esto se lleva a cabo bien usando áridos más ligeros o por medio de la creación artificial de huecos para reducir el peso. El método utilizado depende de la aplicación que se va a dar al hormigón ligero y de las propiedades requeridas.

El hormigón ligero se usa para

- Aislamiento térmico
- Construcciones ligeras (forjados, paredes, cubiertas de puentes, baldosas)
- Productos prefabricados
- Hormigón nivelante
- Hormigón de relleno

Características de los hormigones ligeros

- Reducción de la densidad del hormigón fresco
- Reducción de la densidad del hormigón endurecido
- Si el hormigón ligero se usa como hormigón de relleno con requisitos de carga bajos, por ejemplo para estabilidad dimensional, se producen generalmente hormigones y morteros de porosidad alta (hormigón ligero aireado)
- Si se requiere un hormigón ligero con buenas propiedades mecánicas (por ejemplo resistencia a compresión), se deben usar áridos especiales (con alta porosidad natural pero también estables dimensionalmente)

Producción de hormigón ligero

- Los materiales ligeros porosos tales como las arcillas expandidas deben ser humedecidas previamente con el fin evitar una disminución posterior excesiva de la cantidad de agua de amasado
- No ajustar a una consistencia demasiado fluida debido al riesgo de segregación
- Los hormigones ligeros con un peso específico $<1600 \text{ kg/m}^3$ pueden ser difíciles de bombear.
- Es esencial un manejo adecuado de los vibradores (introducción rápida y retirada lenta) para evitar que quede aire atrapado.

- Curado inmediato y total. Se recomiendan métodos como una humidificación constante y el recubrimiento con lonas, o la pulverización con agentes de curado. Sin un curado apropiado se produce un riesgo elevado de fisuración debido a las diferencias significativas en el proceso de secado.
- Los hormigones espumados se fisuran frecuentemente de un modo considerable y tienen poca estabilidad dimensional.

Compuestos para la producción de hormigones ligeros

- Arcillas expandidas
- Bolas de poliestireno expandido
- Virutas de madera, serrín
- Aditivos especiales generadores de poros para producir grandes cantidades determinadas estables de aire ocluido
- Espumantes

Densidad

Basándonos en la mezcla y los compuestos usados, se pueden obtener los siguientes tipos de densidad y propiedades:

Árido	Densidad superior a 1800 kg/m ³	Propiedades mecánicas altas
Arcillas expandidas	Densidad superior a 1500 kg/m ³	Propiedades mecánicas limitadas
Generadores de Huecos	Densidad superior a 1200 kg/m ³	Sin propiedades mecánicas (hormigón ligero poroso fácil de producir)
	Densidad superior a 1500 kg/m ³	Hormigón ligero poroso con propiedades mecánicas bajas
Espumantes	Densidad superior a 800 kg/m ³	Sin propiedades mecánicas como el mortero de relleno
Poliestireno expandido	Densidad superior a 800 kg/m ³	Propiedades mecánicas bajas

3.2.14 Hormigón Poroso

Los aditivos que producen expansión (por ejemplo el aluminio en polvo) se mezclan con el mortero para un hormigón poroso. El hormigón poroso es normalmente un proceso industrial. El hormigón poroso no se considera realmente como un hormigón, sino como un mortero poroso.

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sika Aer®	Generador de huecos	Para producir hormigón ligero poroso con un contenido en aire de hasta un 40%
Sika Pump®	Estabilizante	Para mejorar la bombeabilidad y cohesión del hormigón ligero
Sikament®	Superplastificante	Para reducir la permeabilidad y mejorar la trabajabilidad del hormigón ligero

3.2.15 Hormigón Compactado a Rodillo

El hormigón compactado con rodillo es un hormigón que se coloca con pavimentadoras estándar de carreteras (de asfalto) y después es nivelado y compactado con rodillos vibrantes con un revestimiento suave. El hormigón compactado a rodillo se usa fundamentalmente en los Estados Unidos (aunque también en Alemania) para la construcción de grandes superficies (aparcamientos) y firmes para carreteras que deben soportar condiciones duras. La composición del hormigón es similar al hormigón estándar. La consistencia semiseca: el material de machaqueo es preferible para una buena resistencia en “verde”.

Los áridos, la arena, el aglomerante (cemento estándar) y el contenido en agua debe coordinarse. Particularmente, el contenido en agua debe mantenerse de manera constante y precisa para permitir que los huecos sean rellenados lo máximo posible por el paso del rodillo.

3.2.16 Hormigón Coloreado

El hormigón coloreado se fabrica por medio de la adición de óxidos metálicos pigmentados (fundamentalmente óxido de hierro). Los pigmentos están en forma de polvo, granulado o líquido.

La dosificación es normalmente 0.5-5% del peso del cemento. Dosis más altas no tienen un efecto de una mayor coloración y sin embargo sí que pueden tener un efecto adverso en la calidad del hormigón.

Los colores típicos son:

- Óxido de hierro amarillo
- Óxido de hierro rojo / marrón
- Óxido de cromo verde
- Blanco (dióxido de titanio; tiene un efecto clareador).
- Negro (óxido de hierro negro; nota: el carbono negro puede tener un efecto adverso en la formación de huecos de aire).

La coloración puede ser reforzada

- Usando áridos ligeramente coloreados
- Usando cemento blanco

El color real de un hormigón “coloreado” sólo puede ser valorado de un modo fiable cuando ya ha endurecido y depende de los siguientes factores:

- Tipo, cantidad y finura del colorante
- Tipo de cemento
- Los áridos
- Composición de la mezcla del amasado del hormigón

Para más información sobre el uso de hormigón coloreado consultar en la sección 3.2.8 Hormigón Visto.

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® Sika® Viscocrete® SikaPlast®	Superplastificante	Aumento de resistencia e impermeabilidad Reducción sustancial del agua Distribución óptima del pigmento (especialmente en las superficies)
Sika® Colorcrete®	Pasta de pigmento con superplastificante integrado	Coloración del hormigón visto Mejora de la trabajabilidad

3.2.17 Hormigón Semiseco para la Industria de Productos de Hormigón Prefabricados

General:

El hormigón semiseco se usa para la producción de pequeños elementos prefabricados de hormigón.

- Losas de hormigón para pavimentos
- Bordillos
- Baldosas y adoquines
- Productos de jardinería
- Tubos

La aplicación más importante actualmente son las losas de hormigón para pavimentos.

Las características específicas del hormigón semiseco son:

- Desmoldables de modo instantáneo
- Estabilidad del hormigón no hidratado
- Precisión dimensional inmediatamente después de la compactación (resistencia en “verde”)

Las ventajas de este proceso son:

- Un molde por forma de producto (inversión pequeña)
- Una instalación compactadora única para todos los productos
- Flexibilidad en la producción debido a los cambios rápidos en el mercado del encofrado para un tipo de producto nuevo

Tecnología del hormigón semiseco

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

- Curva granulométrica fina (tamaño máximo de partícula 8mm, requisitos de agua altos)
- Baja relación agua/cemento (0.35 a 0.40)
- Contenido en aglomerante bajo
- Cemento de alta resistencia (42.5 R)
- Sustitutos del cemento (cenizas volantes, polvo de arcilla)

Esto da como resultado una matriz de cemento de baja adherencia y por lo tanto una consistencia granular en el estado fresco. Los resultados:

- Difícil de compactar
- Poco aire ocluido
- Susceptible a una desaparición prematura del agua por secado

La resistencia se desarrolla de acuerdo con las leyes generales de la tecnología del hormigón y por lo tanto es similar a los hormigones de altas resistencias.

Comparación con el hormigón de alta resistencia

Material/m²	C 45/55	Testigo del hormigón semiseco
Consistencia (no compactado)	Fluidez (a:56cm)	Granular, vertible
Árido	1860 kg	1920 kg
Arena 0/2	38%	55%
Grava 2/8	18%	45%
Grava 8/16	44%	-
Valor de k	4.14	3.10
Aglomerante total (cemento y sustitutos)	360 kg	320 kg
Cemento	100%	75%
Cenizas volantes	-	25%
Agua	162 kg	120 kg
Relación a/c	0.45	0.38
Aditivos de hormigón	1.5% del cemento(SP)	0.4% del cemento (WR)
Volumen de poro	1.5%	3.9%
Densidad del hormigón fresco	2.38 kg/dm³	2.36 kg/dm³
Resistencia a compresión 1 día	~33 N/mm²	~33 N/mm²
Resistencia a compresión 28 días	~68 N/mm²	~68 N/mm²

La comparación con el hormigón estándar señala la razón de la consistencia semiseca:

- Más viscoso debido a la menor relación agua/cemento (rígido)
- Aproximadamente 40-50% de menor humectación de la pasta de cemento sobre la superficie del árido debido a la menor cantidad de aglomerante, menor relación a/c y un árido más fino.

Proceso de producción de adoquines de hormigón y otros elementos de hormigón

Elementos de hormigón:

Este hormigón granular no se puede compactar con los sistemas estándar de vibrado. Requiere una maquinaria especial que opera por medio del proceso de vibrado a compresión: vibración del hormigón bajo una carga superpuesta.

- Producción en sistema ponedora (la compactación se lleva a cabo directamente en la planta de producción)
- Producción superpuesta (producción en masa antigua, los productos recién hechos se apilan directamente unos sobre otros (riesgo de colapso de todo el pallet))
- Maquinaria de prensa fija (producción en masa actual, las máquinas estáticas de proceso continuo, donde los productos son compactados, manejados y almacenados en bandejas de madera o acero)

Las losas se producen a menudo en dos capas:

- Hormigón base= hormigón sin acabado que tiene que soportar la carga estática
- Hormigón visto= el hormigón de acabado fino que da al bloque una apariencia atractiva y es el principal responsable de la durabilidad (desgaste, hielo etc.)
- En algunos sitios los bloques se producen como hormigón monolítico en cuyo caso se usa un hormigón ligeramente más fino.

Calidad del producto de hormigón

Requisitos del producto de hormigón

- Economía
- Superficies selladas y aristas vivas
- Resistencia en “verde” adecuada
- Impermeabilidad alta
- Resistencias iniciales y finales altas
- Resistencia adecuada al ciclo de hielo/deshielo
- Tendencia mínima a eflorescencia o decoloración
- Coloración homogénea y uniforme

Factores que influyen en la calidad del producto de hormigón

La calidad del hormigón semiseco depende en gran manera del diseño y proceso de producción del hormigón. La compactación es de vital importancia y depende del proceso de producción y del diseño de la mezcla de hormigón.

Factores propios del proceso

- Condiciones de los moldes
- Condiciones del compactado
- Método de llenado
- Tiempo de la compactación e intensidad de la misma
- Condiciones climáticas de almacenaje de los productos que forman parte del hormigón fresco
- Condiciones climáticas del almacenaje al aire libre

Factores propios de la tecnología del hormigón

- Tipo, cantidad y curva granulométrica de los áridos
- Tipo, cantidad y finura del cemento
- Contenido en agua del hormigón fresco
- Dosificación de las adiciones
- Dosificación de los aditivos
- Proceso de amasado

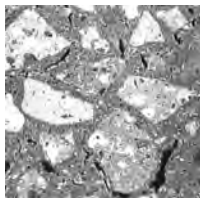
Para obtener una calidad en la consistencia, se deben mantener constantes todos los factores.

Compactación

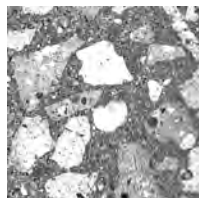
La calidad de la compactación depende de los factores mencionados anteriormente. La compactabilidad aumenta generalmente con:

- aumento en la energía de compactación (duración, frecuencia etc.)
- aumento en el contenido de agua
- aumento en la cantidad de aglomerante
- el añadido de aditivos (mejoradores de la compactabilidad)

Debería asumirse en el cálculo de la mezcla del 3.5 al 5% del volumen de poros remanentes.



Sin aditivos



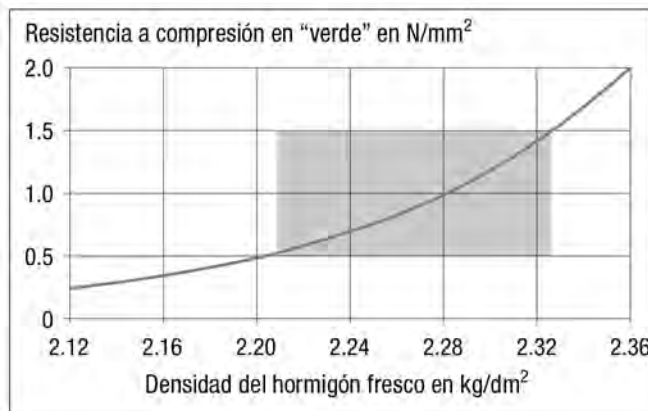
Con 0.4% **Sika Paver® H C - 1**

Los aditivos permiten una compactación más rápida e intensiva. Es por tanto posible mantener el tiempo de compactación y producir un hormigón más homogéneo.

Resistencia en “verde”

Los hormigones semisecos pueden desmoldarse inmediatamente después de la compactación. Los productos recién formados de hormigón tienen buena resistencia en “verde” y por lo tanto mantienen su forma. En los adoquines esta resistencia en “verde” está dentro del rango aproximadamente 0.5-1.5 N/mm²

En este momento generalmente el cemento no ha empezado aún a hidratarse (desarrollo de la resistencia). Este efecto se deduce de las leyes de la mecánica del suelo (cohesión aparente).



Calidad de la superficie

Una compactación incompleta causa el efecto de nido de abeja y aristas irregulares. Los aditivos mejoran la compactabilidad. Una compactación intensiva empuja a los áridos unos con otros. La pasta de cemento es forzada a salir a la superficie y posteriormente se distribuye verticalmente sobre los bordes durante el desmoldado (levantamiento del molde) y esto contribuye a la formación de superficies lisas. Los aditivos especiales causan también la formación de más cantidad de lechada y ayudan a este proceso.



Arista irregular
sin aditivo

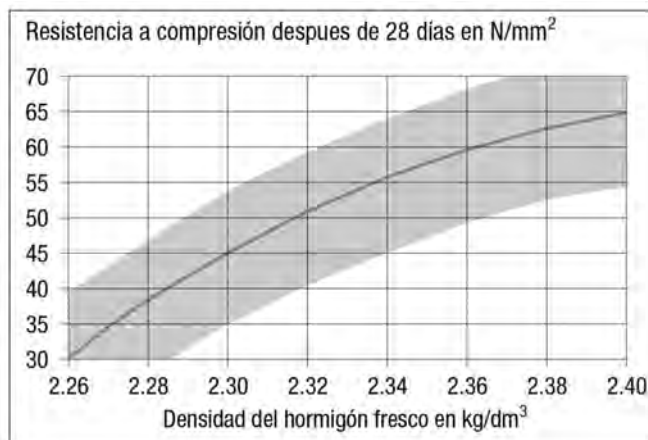


Aristas y lados suaves con
0.25% **Sika Paver® HC-1**

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

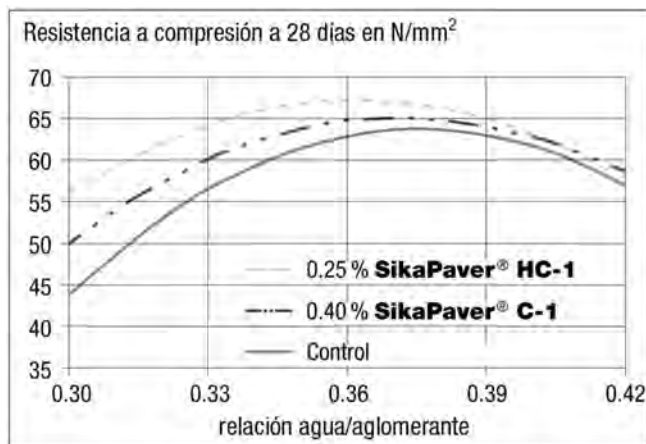
Resistencia en “verde”

Los adoquines de hormigón semiseco son almacenados después de su fabricación durante alrededor de 24 horas sobre rejillas en una cámara de curado. Después de esto, tienen que hacer frente a las tensiones que soportan en los pallets. Por lo tanto las resistencias tempranas son un elemento crucial. En general la resistencia mejora si aumenta la densidad.



No obstante, si se excede el contenido óptimo de agua, la resistencia cae aunque se incremente la densidad. Esto sucede debido a la porosidad capilar reductora de la resistencia, fenómeno que aparece como resultado del exceso de agua y anula el efecto del incremento de la densidad. Cuanto mayor es la cantidad de sustitutos de cemento usado, y menor por tanto el contenido en cemento, más pronto y más a menudo se produce este efecto, incluso con una relación a/c relativamente baja.

Por lo tanto es muy importante encontrar y mantener después el mejor contenido en agua para las materias primas y el diseño de mezcla usados realmente.



Con los aditivos de tecnología **Sika Paver®**, el rango de variación en los resultados se puede minimizar a la vez que se puede todavía seguir incrementando la resistencia. Las mezclas de hormigón son más robustas, permitiendo cumplir con las especificaciones del producto final, a pesar de la inevitable variación que se produce en los materiales base, por ejemplo en su contenido en agua. Las mezclas de hormigón se pueden optimizar entonces.

Hormigón coloreado

Hoy en día, cerca del 80% de los productos de hormigón prefabricado son coloreados. Es importante considerar el hecho de que la matriz de cemento en sí misma varía en brillo dependiendo de la relación a/c. Un cambio en la relación a/c de tan sólo 0.02 es perfectamente visible a simple vista. El color se acentúa a medida que la matriz de cemento se suaviza.



a/c 0.30



a/c 0.35



a/c 0.40

Eflorescencia

El problema de la eflorescencia es bien conocido; esos depósitos de "sal" estropean particularmente la apariencia de los productos coloreados de tonalidades oscuras. Los peores casos se dan cuando la eflorescencia varía en intensidad, que viene a ser lo habitual. Incluso ahora no existe un modo de coste efectivo de prevenir este fenómeno de modo infalible. ¿Cuáles son las causas de la eflorescencia?

- Dihidróxido de calcio Ca(OH)_2 suelto
- Poros capilares llenos de agua (hasta la superficie del hormigón)
- Agua sobre la superficie del hormigón
- Bajas velocidades de evaporación (particularmente cuando hace más frío, otoño-invierno)
- Hidratación incompleta

Por ejemplo la eflorescencia generalmente sucede durante el almacenamiento al aire libre de productos apilados.

El hidróxido de calcio se traslada a la superficie del hormigón debido al gradiente en la concentración de iones de calcio en la humedad del hormigón. El agua es el primer portador. Cuanta más agua tenga la posibilidad de infiltrarse en el hormigón endurecido, mayor es la probabilidad de un suministro de exceso de iones de calcio que da como resultado una mayor tendencia a la eflorescencia.

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

- Baja velocidad de evaporación durante el almacenamiento (ausencia de corrientes de aire)
- Circulación del aire restringida (dióxido de carbono) durante el endurecimiento inicial
- Uso del cemento CEM III
- Estructura del hormigón densa (contenido de la matriz del cemento + compactación)
- Proteger de la lluvia y de la condensación
- Mantener la circulación del aire por medio de una ventilación adecuada



Aditivos hidrófugos tanto en la base como en las caras del hormigón

Con la tecnología de aditivos hidrófugos **Sika Paver®**, la reducidísima absorción capilar de agua de los adoquines es totalmente obvia, dando como resultado una reducción potencial de la eflorescencia.



Estándares / regulaciones.

- EN 1338 Adoquines de hormigón
- EN 1339 Baldosas de hormigón
- EN 1440 Bordillos de hormigón
- DIN 1115 Tejas de hormigón
- DIN 4032 Tubos de hormigón y acoplamientos

- DIN 4034 Pozos de registro y cámaras de inspección
- DIN 4035 Tubos de hormigón armado y tuberías de presión
- Regulación de la producción y monitorización de la calidad de las losetas de hormigón impermeable en hormigón sin finos

Producto Sika

	Sika Paver® HC-1	Sika Paver® AE-1
Buenas propiedades granulares de relleno	○ ○	○
Compactabilidad/densidad	○ ○ ○	○ ○
Trabajabilidad extendida		
Sellado de aristas / formación de lechada	○ ○	○ ○
Efecto no-pegajoso	○	○ ○
Resistencias iniciales incrementadas (24 horas)	○ ○	○
Resistencias finales incrementadas (28 días)	○ ○ ○	○ ○
Eflorescencia reducida / corta la absorción de agua		○ ○ ○
Coloreado		○ ○

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto
Sika Paver® HC-1	Compactación de alto rendimiento y también ayuda a la formación de lechada y máximas resistencias
Sika Paver® AE-1	Ayuda a la compactación / reductor de la eflorescencia con propiedades de potencia e intensificación del color

3.2.18 Hormigón con resistencia mejorada al fuego

El hormigón con resistencias mejoradas o alta resistencia al fuego se refiere a un hormigón que es mejorado de tal modo que puede soportar unas determinadas condiciones altas de calor. El hormigón en sí mismo no puede arder, pero por encima de ciertas temperaturas pierde en primer lugar sus propiedades mecánicas y después su forma. Si no se toman medidas especiales, el hormigón resiste al calor hasta una temperatura de 750-800°C durante 30 minutos.

El hormigón altamente resistente al fuego se usa para:

- Áreas de emergencia en estructuras cerradas (salidas de emergencia de túneles
- Resistencia general mejorada al fuego para infraestructuras
- Revestimientos ignifugos para miembros estructurales

Propiedades del hormigón de alta resistencia al fuego

- El hormigón fresco se comporta, de modo general, como el hormigón estándar durante su colocación
- El hormigón endurecido tiene de algún modo un desarrollo de la resistencia más bajo de lo normal, pero de nuevo las propiedades son semejantes

Producción de hormigón de alta resistencia al fuego

- La producción de hormigón no se diferencia del hormigón estándar
- El proceso de amasado debe ser monitorizado debido a la habitual inclusión de fibras
- Para la futura resistencia de este hormigón resulta beneficioso si se puede secar tanto como sea posible

Componentes para la producción de hormigón de alta resistencia al fuego

- El logro de una resistencia máxima al fuego se basa en la composición de los áridos utilizados
- Se puede incrementar sustancialmente la resistencia utilizando áridos especiales
- El uso de fibras de plástico especiales (PP) incrementa la resistencia considerablemente
- El uso de arenas seleccionadas mejora la resistencia de la matriz del cemento

Mecanismos de comportamiento frente al fuego

El agua capilar e intersticial empieza a evaporarse a temperaturas cercanas al punto de ebullición del agua (100°C). El vapor ocupa más espacio y por lo tanto ejerce una presión de expansión sobre la estructura de hormigón. La matriz del cemento empieza a cambiar a temperaturas cercanas a los 700°C. El efecto sobre los áridos depende fundamentalmente de su origen y comienza a una temperatura cercana a los 600°C. El hormigón comienza a “fundirse” a una temperatura de alrededor de 1200°C.

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® Sika® Viscocrete®	Superplastificantes	Debido a la sustancial reducción de agua, existe un exceso de agua menor en el hormigón

3.2.19 Dovelas de hormigón para túneles

Los métodos modernos de tunelación sobre rocas inestables usan dovelas de hormigón que van a soportar cargas de modo inmediato como revestimiento de la sección del túnel ya excavada.

Los elementos prefabricados de hormigón, denominados dovelas llevan a cabo esta función.

Producción

Debido a las grandes cantidades requeridas y el enorme peso (de hasta varias toneladas cada elemento), las dovelas se producen casi siempre cerca de la boca del túnel en unas instalaciones especiales adaptadas para prefabrica-

dos. Deben cumplir especificaciones muy rigurosas con gran exactitud. La norma habitual es el uso de encofrados de acero pesado.

Debido a que el desmoldado tiene lugar después de tan sólo 5 a 6 horas y que por tanto el hormigón debe tener ya una resistencia a compresión mayor de 15 N/mm², se hace imprescindible un desarrollo acelerado de las resistencias.

Existen diversos métodos para ello. En el proceso del autoclave (reflujo de calor), el hormigón se calienta a 28-30°C durante el amasado (con agua caliente o vapor), colocado en el molde y acabado. Se calienta entonces en un autoclave a 50-60°C para lograr la suficiente resistencia para ser desmoldado.

Composición

■ Árido

- Normalmente de 0-32 mm en una grading range de acuerdo con la norma EN-480-1

■ Cemento

- El contenido en cemento de 325 o 350 kg/m³
- CEM I 42.5 o 52.5

Colocación

- El hormigón fresco tiende a ponerse rígido rápidamente debido a la alta temperatura, dificultando una correcta compactación y acabado de la superficie
- Debido al proceso industrializado de producción rápida, se puede utilizar una consistencia plástica en el hormigón fresco. La resistencia inicial deseada sólo puede lograrse por medio de una relación agua/cemento baja, que debería por tanto estar siempre por debajo de 0.48.

Requisitos especiales

Las dovelas recién desmoldadas deberían curarse cubriéndolas o por medio del rociado con un agente de curado como **Sika® Antisol®**.

No obstante, para obtener una combinación de máxima durabilidad en condiciones cambiantes del suelo y un curado óptimo, las superficies de las dovelas se tratan más frecuentemente con un revestimiento protector especial de **Sikagard®** inmediatamente después del desmoldado. Con esta protección adicional frente a un ataque químico, se consiguen superficies de hormigón de gran durabilidad en estas dovelas.

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sika® Viscocrete®	Superplastificante	Resistencias iniciales e impermeabilidad incrementadas Mejora de la consistencia
SikaFume®	Humo de sílice	Alta resistencia, impermeabilidad incrementada Mejora de la resistencia a sulfatos
SikaAer®	Aireante	Producción de hormigón resistente al hielo/deshielo

3.2.20 Hormigón Monolítico

Suelos de hormigón nivelados o cubiertas, resistentes al desgaste para uso inmediato. El hormigón monolítico tiene la misma alta calidad y estos diseños de suelos son extremadamente económicos.

Composición

La mezcla del hormigón debe adaptarse a cualquier requisito especial (hormigón impermeable hormigón resistente a las heladas etc.).

Colocación

Colocación y compactación estándar con vibradores de inmersión. Alisado con regla vibradora. Una vez que comienza el proceso en que el hormigón se va volviendo rígido, la superficie se procede al acabado con fratasadoras.

Curado

Comenzar tan pronto como sea posible, rociando con **Sika® Antisol®** y cubrir con lonas.

Notas

- Comprobar el posible uso de fibras de acero al formar las baldosas de hormigón monolítico
- Para mejorar el acabado de la superficie, recomendamos el uso de **Sikafloor- Proseal y Sikafloor® -2 Syntop o Sikafloor-3 Quartz Top**, los cuales se extienden por la superficie durante la operación del acabado
- Los aditivos del hormigón que aumentan la trabajabilidad no son generalmente apropiados para el hormigón monolítico

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament® Sika Viscocrete® SikaPlast®	Plastificante/Superplastificante	Resistencia e impermeabilidad aumentadas Buena trabajabilidad Buena resistencia en “verde”
SikaRapid®	Acelerante de endurecimiento	Control del proceso de endurecimiento a temperaturas bajas
Sikafloor® -2 Syntop Sikafloor-3 Quartz Top	Endurecedores minerales en polvo	Abrasión mejorada Opción de coloración.
Sikafloor® -ProSeal	Sellador de superficie con efecto de curado y endurecimiento	Reducción de pérdida de agua Lleva a cabo el endurecido y curado, sella la superficie
Sika® Antisol®	Agente de curado	Reducción de pérdida de agua

3.2.21 Hormigón Granolítico

Las pavimentaciones de hormigón granolítico son suelos industriales y firmes para el tráfico de origen cementoso que presentan una resistencia alta a la abrasión y con un espesor mínimo de 20 mm. Son aplicados sobre un soporte cementoso (por ejemplo hormigón viejo) con una capa de adherencia y tienen una densidad mayor de 2100 kg/m³. Si el espesor de capa supera los 50 mm se le suele dotar de una armadura ligera (como mínimo de 100x100x4x4).

Composición

■ **Áridos**

- 0-4 mm para un espesor de capa de hasta 30mm
- 0-8 mm para un espesor de capa de 30-100 mm

■ **Cemento**

- 400-500 kg/m³

Soporte/adhesión

Antes de colocarlo se aplica una capa de adherencia con cepillo sobre el soporte que habrá sido previamente humedecido.

El hormigón granolítico se coloca “fresco sobre fresco” sobre la capa de adherencia, se compacta cuidadosamente, se nivela y finalmente se le aplica un acabado con una fratasadora. La resistencia a la abrasión se mejora aún más si se aplica la mezcla para espolvorear en seco durante la operación de frata-sado. El uso de fibras de polipropileno en el amasado contrarresta la fisura-ción por retracción.

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament®	Plastificante	Resistencia e impermeabilidad aumentadas
SikaPlast®	/Superplastificante	Buena trabajabilidad
Sika Viscocrete®		Buena resistencia en “verde”
Sika Rapid®	Acelerante de endurecimiento	Control del proceso de endurecimiento a temperaturas bajas
Sikafloor® -2 Syntop	Endurecedores minerales	Abrasión reducida.
Sikafloor-3 Quartz Top	en polvo	Opción de coloración.
Sikafloor® -ProSeal	Sellador de superficie con efecto de curado y endurecimiento	Reducción de pérdida de agua. Lleva a cabo el endurecido y curado, sella la superficie
Sika® Antisol®	Agente de curado	Reducción de pérdida de agua

4. Hormigón Fresco

4.1 Propiedades del Hormigón Fresco

4.1.1 Trabajabilidad

La consistencia define el comportamiento del hormigón fresco durante el amasado, manipulación, transporte y colocación y también durante la compactación y fratasado de la superficie. La trabajabilidad es por tanto un parámetro relativo y se define fundamentalmente a través de la consistencia.

Requisitos de trabajabilidad

Coste efectivo de la manipulación, transporte/colocación del hormigón fresco

■ Plasticidad máxima (“fluidez”) con el uso de superplastificantes	
■ Buena cohesión	
■ Riesgo bajo de segregación, buen alisado de la superficie (“propiedades del acabado”)	
■ Trabajabilidad prolongada	Retardo/hormigón para tiempo caluroso
■ Procesos de fraguado y endurecimiento acelerados	→ Aceleración del fraguado y endurecimiento/hormigón hormigón para tiempo frío

4.1.2 Retardo del hormigón en tiempo caluroso

El hormigón debería protegerse de un secado rápido durante su manipulación.

El hormigonado a temperaturas altas sólo es posible llevarlo a cabo si se prevén medidas protectoras especiales. Éstas deben tener lugar desde el comienzo de la producción hasta el final del curado. Dichas medidas dependen de la temperatura exterior, humedad del aire, condiciones del aire, temperatura del hormigón fresco, desarrollo y del calor y las dimensiones del hormigonado.

El hormigón fresco no debe estar a una temperatura mayor de 30°C durante su colocación e instalación sin las necesarias medidas de protección.

Problemas posibles

El trabajo con hormigón no retardado puede ser problemático con temperaturas del aire superiores a 25°C.

- La hidratación es la reacción química del cemento con el agua. Comienza inmediatamente al contacto, continúa desde la aparición de rigidez hasta el fraguado (fraguado inicial) y finaliza con el endurecimiento de la pasta de cemento.
- Cada reacción química se acelera a medida que aumenta la temperatura.

Condiciones del retardo y tablas de dosificación

Propósito del retardo: aumentar el tiempo de trabajo a una temperatura específica.

Tiempo de trabajo: el tiempo que transcurre después del amasado durante el cual puede ser vibrado correctamente.

Retardo libre: El comienzo del fraguado comienza sólo después de un tiempo determinado.

Retardo ajustado: El comienzo del fraguado tiene lugar a un tiempo determinado

¡La certeza sólo se obtiene realmente a partir de ensayos preliminares!

Elemento estructural y retardo	Temperatura crítica
Secciones transversales de elementos medianos de hormigón	Temperatura del hormigón fresco
Secciones transversales de elementos pequeños de hormigón	Temperatura del aire en el lugar de colocación

La mayor temperatura (la del hormigón fresco o la de la temperatura ambiental) es la temperatura crítica para las secciones transversales de elementos medianos de hormigón con retardo largo, y para las secciones transversales de elementos pequeños de hormigón con retardo corto.

Tabla de dosificación para hormigón con retardo libre

El retardo depende en gran manera del tipo de cemento.

Dosificación de **SikaRetarder®** en % de la masa de cemento

Tiempo de retardo en horas	Temperatura crítica					
	10°C	5°C	20°C	25°C	0°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	1.5					

Las dosificaciones se refieren a un hormigón con 300 kg de CEM I 42.5 y a/c=0.5.

Las dosificaciones deberían incrementarse alrededor de un 20% para un hormigón semiseco. Las cifras de esta tabla son resultados de laboratorio. Siempre son necesarios ensayos preliminares apropiados.

Factores que influyen

Varios factores influyen en el retardo:

Influencia de la temperatura (ver “Temperatura crítica”)

- Un aumento de la temperatura acorta el retardo y una reducción de temperatura lo incrementa.

Una regla empírica aproximada:

Cada grado por debajo de los 20°C alarga el tiempo de retardo aproximadamente una hora.

Cada grado por encima de los 20°C acorta el tiempo de retardo aproximadamente media hora.

Por seguridad: **¡Ensayos preliminares!**

Influencia de la relación agua/cemento

Un contenido de cemento de 300 kg/m³ y una dosificación de **SikaRetarder®** del 1% muestra que:

- Un incremento de la relación a/c de 0.01 causa un retardo adicional de aproximadamente media hora

Combinación de Sikament® / Sika Viscocrete®

- Con un superplastificante no retardante, **SikaRetarder®** incrementa ligeramente el retardo
- Con un superplastificante retardante, **SikaRetarder®** incrementa (efecto acumulativo) aún más el retardo

Siempre se deberían llevar a cabo ensayos preliminares en grandes proyectos.

Influencia del cemento

El proceso de hidratación de los diferentes tipos de cemento puede variar debido a las diferentes materias primas y los procesos de molienda. El efecto del retardo es susceptible también a estas variaciones, que puede ser considerable con dosificaciones superiores al 1%.

La tendencia:

- Cementos Portland puros y finos: efecto de retardo reducido
- Cementos con adiciones sobre todo de cenizas: efecto de retardo aumentado.

Por seguridad

- Ensayos preliminares!
- Ensayos preliminares en cualquier caso a dosificaciones mayores del 1%!

Influencia del volumen de hormigón

Si se retrasa todo un vertido de hormigón, el volumen de hormigón no tiene influencia en el efecto de retardo.

Durante el fraguado inicial de un elemento adyacente (por ejemplo en el retardo nocturno en el hormigonado de una placa), la “temperatura crítica” cambia en la zona de contacto con la sección contigua retardada (dicha temperatura aumenta), y esto originará que el efecto retardante disminuya.

Características de un hormigón retardado

- Endurecimiento

Si el endurecimiento comienza después de que el retardo haya finalizado, éste se produce más rápidamente que en un hormigón no retardado

- Retracción / fluencia

La retracción final o fluencia es menor que en un hormigón no retardado

- Retracción inicial

Las fisuras causadas por una retracción temprana se pueden originar por la deshidratación durante el período de retardo (evaporación superficial)

¡Es extremadamente importante una prevención de la deshidratación para el hormigón retardado!

¡Es crucial un curado correcto!

Ejemplos de las etapas de hormigonado con retardo

1. Retardo nocturno

- Losas de cimentación
- Placas, vigas etc.

Hacia el final del hormigonado en un día normal, se colocan 3 bandas de 1.20 m de ancho con un retardo aumentado.

Primera banda: 1/3 de la dosificación principal

Segunda banda: 2/3 de la dosificación principal

Tercera banda: la dosificación principal a partir de la tabla o de ensayos preliminares

Suspensión de los trabajos nocturnos.

Reanudación de los trabajos a la mañana siguiente:

La primera banda (contigua a la tercera banda colocada el día anterior) se retarda usando 1/3 de la dosificación principal.

2. Retardo con fraguado inicial simultáneo

Esto sucede con grandes tramos de puentes, losas para suelos etc...

Una preparación adecuada supone:

- Establecer un programa preciso de hormigonado con el ingeniero y el contratista
- Sobre esa base, efectuar una división en tramos y establecer un calendario de actuación
- Objetivo: todos los tramos deben fraguar conjuntamente

Cuando se ha determinado el calendario; se dosificará cada tramo sobre la base de ensayos preliminares y a partir de una información precisa de la temperatura.

Ensayos preliminares

Los ensayos preliminares se refieren sólo a la composición del hormigón específica en la etapa retardada.

- Por ejemplo, con la misma relación a/c y el mismo tipo de cemento con idéntica dosificación

Los límites de la capacidad de vibrado deberían ser sometidos a ensayo en obra con varias muestras de hormigón por dosificación, y con unas condiciones de temperatura lo más parecidas posible a las condiciones durante el hormigonado.

Procedimiento:

- Determinar la dosificación del retardante a partir de la tabla
- Llenar al menos 5 probetas con la mezcla de hormigón establecida
- Vibrar el contenido de la primera probeta 2 horas antes del comienzo del fraguado previsto
- Vibrar la siguiente probeta una hora después y así sucesivamente (el contenido de cada probeta sólo se vibra una vez)
- Cuando el contenido de la siguiente probeta no puede ya vibrarse, se considera que el hormigón ha empezado a fraguar
- Anotar los tiempos obtenidos y comprobar si se corresponden con los previstos (en la tabla)
- Si las diferencias son demasiado grandes, repetir los ensayos con una dosificación corregida.

Medidas a tomar para el hormigón retardado

El encofrado

Los encofrados de madera utilizados por primera vez pueden originar manchas antiestéticas, enharinado etc., particularmente alrededor de los nudos, debido a la presencia de xilosa en la superficie.

Los encofrados de madera, que presenta una absorción alta, y que no han sido humedecidos suficientemente o que no han sido tratados de forma adecuada, absorben una cantidad excesiva de agua de la superficie del hormigón. El resultado son un desmenuzamiento del hormigón y la aparición de polvo. Este daño es mayor en el hormigón retardado debido a que los efectos negativos continúan durante más tiempo.

Un encofrado de madera que haya sido preparado y tratado adecuadamente con **Sika® Desencofrante** producirá superficies estéticas y limpias en un hormigón retardado.

Compactación y curado

El hormigón retardado debe ser compactado. En la siguiente etapa (por ejemplo a la mañana siguiente) se debe vibrar conjuntamente con la “capa anti-gua”. Las zonas retardadas se compactan y se procede a su acabado conjuntamente.

El curado es crucial, de tal manera que el hormigón retardado, compactado y finalmente endurecido debería perder tan poca humedad como sea posible.

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

- Cubrir con láminas de plástico o telas aislantes.

Sobre las superficies retardadas que han de ser vibradas de nuevo más tarde:

- Cubrir totalmente con láminas de plástico o tela de yute húmeda. Proteger de las corrientes de aire. Un exceso adicional de humectación (por ejemplo el rociado) puede originar un deslavado en el hormigón retardado.

4.1.3. Aceleración del fraguado / Hormigón en invierno

El hormigón debería protegerse de la lluvia y las heladas durante su manipulación. El hormigonado a temperaturas de congelación sólo es posible si se toman una serie de medidas de precaución especiales. Deben estar disponibles en el lugar desde el comienzo de la producción del hormigón hasta el final del curado.

Dichas medidas dependen de la temperatura exterior, humedad del aire, condiciones del aire, temperatura del hormigón fresco, desarrollo y disipación del calor y las dimensiones del hormigonado.

El hormigón fresco no debe estar a una temperatura inferior a 5°C durante su colocación sin medidas adicionales de protección. El agua de amasado y los áridos deberían precalentarse si fuera necesario.

Problema

Las temperaturas bajas retrasan el fraguado del cemento. A temperaturas por debajo de -10°C se paralizan los procesos químicos que tienen lugar en el cemento (aunque prosiguen si se produce un calentamiento posterior). Se originan situaciones peligrosas para el hormigón si éste se hiela durante el proceso de fraguado, como por ejemplo que no alcance cierta resistencia mínima. Se produce además una disgregación estructural, con la correspondiente

pérdida de resistencia y calidad. La resistencia mínima que un hormigón debe mostrar después de superar una helada proceso de congelación para considerar que no se ha producido un daño estructural, es el denominado umbral de resistencia a heladas de 10 N/mm². El objetivo principal debe ser alcanzar este umbral de resistencia a heladas tan pronto como sea posible.

Se puede hacer una estimación de la temperatura del hormigón fresco por medio de la siguiente ecuación:

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

Medidas

1. Temperatura mínima

De acuerdo con la norma EHE-08, la temperatura del hormigón fresco en la entrega no debe estar por debajo de los 5°C. (Para elementos estructurales pequeños y de poco grosor y temperatura ambiente de -3°C o inferior. Se recomienda mantener una temperatura del hormigón fresco de +10°C ¡durante 3días! Dichas temperaturas mínimas son muy importantes para que el fraguado tenga lugar de un modo adecuado. El hormigón debería protegerse de cualquier pérdida de calor durante su manipulación y puesta en obra.

2. Reducción de la relación a/c

Una cantidad mínima de contenido en agua proporciona un incremento rápido en las resistencias iniciales. Generalmente la humedad presente que es por tanto susceptible de helarse también es menor. Los superplastificantes permiten una relación a/c baja, a la vez que mantienen una buena trabajabilidad.

3. Aceleración del endurecimiento

El uso de **SikaRapid® -1** produce una aceleración máxima del endurecimiento cuando existen unos requisitos de resistencias iniciales altas.

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

(Sika MPL)

4. Utilización del CEM I 52.5

Los cementos de alta calidad (generalmente con mayores finuras de molido) se sabe que desarrollan más rápidamente un aumento en las resistencias iniciales. Los superplastificantes garantizan una trabajabilidad óptima con una baja relación a/c.

Medidas de protección en obra

1. No hormigonar sobre o contra un hormigón helado
2. La temperatura de la armadura de acero debe estar por encima de 0°C
3. Poner el hormigón en obra rápidamente y protegerlo inmediatamente de posibles pérdidas de calor y de la evaporación (¡tan importante como lo es en verano!). La medida óptima consiste en el uso de esteras aislantes.

Ejemplo para una temperatura ambiente de -5°C y una temperatura del hormigón de 11°C

Elemento estructural	Enfriamiento de la temperatura interior del hormigón a +5°C	
Espesor de placa de hormigón d=12cm con encofrado de madera	~ 4 horas sin mantas térmicas aislantes	~ 16 horas con mantas térmicas aislantes

Para cubiertas: calentar el encofrado desde la parte inferior si fuera necesario
Controlar regularmente las temperatura del aire y del hormigón y la evolución de la resistencia

Prolongar los tiempos de desmontaje y desencofrado

Conclusión: las medidas que se van a tomar para el invierno deben planificarse y organizarse con tiempo con la participación de las partes implicadas.

Producto Sika

Nombre de producto	Tipo de producto	Uso del producto
Sikament®	Superplastificante /Plastificante	Rápido alcance del umbral de resistencia a heladas debido a la reducción de agua
Sika Viscocrete® SikaPlast®	Superplastificante Superplastificante	
Sikament® 500 HE/ Sika® Viscocrete® 20 HE	Superplastificante que acelera el endurecimiento	Resistencias iniciales muy altas en un corto período de tiempo
SikaRapid® 1	Acelerante del endurecimiento	Resistencias iniciales muy altas en un corto período de tiempo

4.1.4 Consistencia

A diferencia de la “trabajabilidad”, la consistencia -o deformabilidad- del hormigón fresco se puede medir. Las distintas consistencias y los valores límite del asentamiento del cono, según EHE-08, serán los siguientes:

Tipo de consistencia	Asentamiento en cm
Seca (S)	0-2
Plástica (P)	3-5
Blanda (B)	6-9
Fluida (F)	10-15
Líquida (L)	16-20

Los ensayos de consistencia se encuentran generalmente entre los parámetros de control del hormigón que se establecen para los ensayos preliminares en las aplicaciones de las que son objeto.

Factores con influencia en la consistencia

- Composición / forma de las partículas
- Tipo / contenido en cemento
- Contenido en agua
- Uso de adiciones
- Uso de aditivos de hormigón
- Condiciones de temperatura
- Tiempo / intensidad de amasado

Tiempo y lugar de los ensayos

La consistencia del hormigón debería determinarse en el momento de la entrega, por ejemplo en la obra antes de su colocación (monitorización de la trabajabilidad).

Si la consistencia se controla tanto después del proceso de amasado (control de la consistencia durante su producción) como antes de su puesta en obra, es posible una comparación directa del cambio producido en la consistencia como un factor de la edad del hormigón fresco.

Si el hormigón se pone en obra desde un camión hormigonera, la consistencia puede medirse sobre una muestra tomada al azar después de que se hayan descargado alrededor de 0,3 m³.

4.1.5 Exudación

Se trata de la afloración de agua a la superficie causada por la separación del hormigón. La exudación se produce a menudo como consecuencia de deficiencias en los finos, en los áridos y en unas mezclas de hormigón pobres en cemento o con excesiva cantidad de agua.

Consecuencias

- Superficies irregulares, porosas o pulverulentas
- La superficie del hormigón presenta una resistencia inadecuada a la acción medioambiental y al desgaste mecánico
- “Floración” o eflorescencia en la superficie

Para reducir la exudación

- Reducir el contenido en agua
- Monitorizar el contenido en finos
- Emplear un cohesionante de la mezcla, **SikaStabilizer**
- Optimizar la curva granulométrica

4.1.6 Acabado

Durante la puesta en obra, asegurarse que el hormigón no se compacta durante un tiempo excesivo, para prevenir la aparición en la superficie de agua y lechada.

No debería llevarse a cabo el acabado de la superficie (alisado) demasiado pronto. Esperar hasta que la superficie esté sólo ligeramente húmeda.

La resistencia al desgaste de la superficie puede mejorarse generalmente si el fratasado de la misma por medio de la llana/fratás se repite una segunda o incluso una tercera vez.

4.1.7 Densidad del hormigón fresco

La densidad del hormigón fresco se refiere a la masa en kg por m³ de hormigón fresco, compactado normalmente, incluyendo sus huecos.

Dada una misma cantidad de cemento y árido, una densidad menor del hormigón fresco es indicativo de unas resistencias mecánicas más bajas debido a que la densidad disminuye en la medida en que aumenta el contenido en agua y los huecos.

La densidad del hormigón fresco desciende

- si el contenido en agua aumenta
- si el contenido de huecos aumenta

La densidad del hormigón fresco aumenta

- si se aumenta el contenido en cemento
- si disminuye la relación agua/cemento
- si disminuye el contenido de huecos

Para la determinación de la densidad del hormigón fresco según norma EN 12350-6, consultar la sección 4.2.6.

4.1.8 Contenido en aire ocluido

Todos los hormigones contienen huecos. Incluso después de una compactación cuidadosa, el contenido en aire remanente, por ejemplo con un tamaño máximo de partícula de 32 mm, es del 1-2% del volumen, y este contenido en aire ocluido residual puede incrementarse hasta un 4% del volumen en un hormigón con alto contenido en finos.

Diferentes tipos de huecos

- Burbujas originadas por la compactación
- Poros capilares abiertos y cerrados
- Poros de gel
- Burbujas de aire ocluido producidas artificialmente para mejorar la resistencia al hielo/deshielo

El contenido en aire ocluido en el hormigón o mortero puede ser incrementado artificialmente con aditivos aireantes. Productos para la generación artificial de aire ocluido:

- **SikaAer®**
- Generación artificial de aire ocluido para la producción de hormigón ligero: **SikaPaver®**

Para la determinación del contenido en aire ocluido según norma UNE EN 12350-7, consultar la sección 4.2.7.

4.1.9 Bombeabilidad

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

En lo que concierne a la entrega e instalación del hormigón bombeado se puede obtener una reducción significativa de las presiones de bombeo y un incremento del rendimiento por medio de la adición sistemática de agentes de bombeo, particularmente para el caso de uso de áridos de machaqueo, otras materias primas, áridos con alta capacidad de absorción etc.

Ajustes al diseño de la mezcla (sección 3.2.1) y el uso de un agente bombeante como el **SikaPump®** pueden reducir la resistencia debida a la fricción con las paredes de la tubería, dando como resultado presiones más bajas además de un rendimiento mayor y un desgaste menor.

4.1.10 Cohesión

La cohesión de una mezcla se refiere a la homogeneidad en la consistencia de una amasada de hormigón fresco durante su colocación. La ausencia de cohesión da lugar a segregación, separación y por tanto problemas durante su colocación.

Modos de aumentar la cohesión

- Aumentar de la cantidad de finos (polvo + arena fina)
- Reducir el contenido de agua → uso de un superplastificante
→ **Sikament®** / **Sika® Viscocrete®** / **Sikaplast®**
- Uso de un cohesionante → **Sika® Stabilizer®**
- Empleo de un aireante → **SikaAer®**

4.1.11 Temperatura del hormigón fresco

La temperatura del hormigón fresco no debería ser demasiado baja, de modo que el hormigón adquiera con suficiente rapidez la resistencia necesaria y no pueda sufrir daño por las heladas en una fase temprana.

- La temperatura del hormigón fresco no debería caer por debajo de +5°C durante su colocación e instalación.
- El hormigón recién colocado debería protegerse de la acción de las heladas. La resistencia al hielo se logra cuando la resistencia a compresión alcanza un valor aproximado de 10N/mm².
- Por otro lado, unas temperaturas demasiado altas en el hormigón pueden originar problemas de colocación y la disminución en ciertas propiedades del hormigón endurecido. Para evitarlo, la temperatura del hormigón fresco no debería sobrepasar los 30°C durante su colocación e instalación.

Medidas de precaución a temperaturas bajas

→ Ver Hormigón a Temperaturas Bajas (sección 4.1.3)

Medidas de precaución a temperaturas altas

→ Ver Hormigón a Temperaturas Altas (sección 4.1.2)

4.1.12 Relación agua/cemento

La relación agua/cemento (a/c) es la razón agua: cemento en el hormigón fresco.

Se calcula dividiendo el peso de la cantidad total de agua A entre el peso de cemento añadido C.

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

$$a/c = \frac{A}{C} \circ \frac{A}{C_{eq}} = \frac{A}{C + (K \times \text{adiciones} \cdot \text{tipoll})}$$

El contenido efectivo de agua de una mezcla se calcula a partir de la diferencia entre la cantidad total de agua A_0 en el hormigón fresco y la cantidad de agua absorbida por el árido (A_G , determinada según norma UNE EN 1097-6)

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

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

La relación a/c requerida viene influenciada fundamentalmente por los áridos empleados, rodados o de machaqueo así como su composición.

La elección de la relación a/c se determina principalmente a partir de las acciones medioambientales (nuevas clases de exposición) de acuerdo con la norma EHE-08

4.2 Ensayos de hormigón fresco



4.2.1 Trabajabilidad

La “trabajabilidad” hace referencia al comportamiento del hormigón fresco durante su amasado, manipulación, entrega y colocación en obra, y posteriormente, también durante su compactación y acabado superficial. Es una medida de la deformabilidad del hormigón fresco. Se puede cuantificar por medio de cifras.

El estándar EHE-08 divide la consistencia en 5 clases en relación al método de ensayo empleado. Se pueden utilizar para especificar y someter a ensayo desde un hormigón que presenta rigidez hasta el que presenta una consistencia prácticamente líquida. (Ver sección 2.3, Clasificación según la consistencia)

Los ensayos de consistencia se emplean para monitorizar de modo regular el hormigón fresco. La frecuencia de los ensayos debería basarse en la importancia de la estructura, y organizados de tal modo que se pueda obtener de manera consistente un hormigón de una determinada calidad.

El capítulo 14 de la norma EHE-08 ofrece información detallada sobre dichos controles de conformidad.

4.2.2 Muestreo

El muestreo para los subsiguientes ensayos de hormigón fresco están tratados en:

Norma EN 12350-1 para muestras compuestas y aleatorias

- **Muestras compuestas:**
Cantidades de hormigón que consisten en un cierto número de muestras individuales tomadas de modo uniforme alrededor de la amasadora o de una amasada y que son a continuación perfectamente homogeneizadas.
- **Muestras aleatorias:**
Muestras puntuales que tienen su origen en sólo una parte de la amasadora o de la amasada y que son a continuación perfectamente homogeneizadas.
- **Muestras puntuales:**
Muestras tomadas en un único punto adecuado y a continuación amasado totalmente.

La decisión sobre si realizar un muestreo compuesto o aleatorio depende del objeto de la misma. La cantidad total de muestra debe representar al menos **1.5 veces** la cantidad de hormigón requerida para los ensayos (normalmente basta con una carretilla de 60 litros de capacidad).

4.2.3 Medición de la Consistencia por medio del Ensayo de Asentamiento

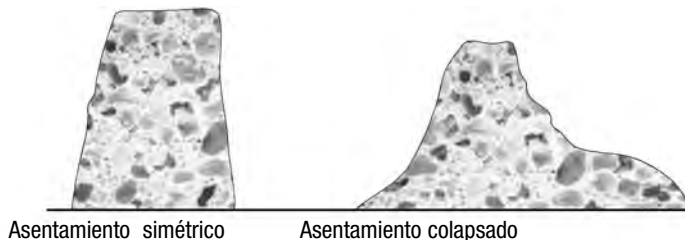
Fundamento:

El hormigón fresco se coloca en un recipiente en forma de tronco de cono y compactado. Cuando se levanta el recipiente, el asentamiento da una medida de la consistencia del hormigón. El asentamiento es la diferencia en mm entre la altura del recipiente y la altura del cono de hormigón fresco que ha salido del recipiente.

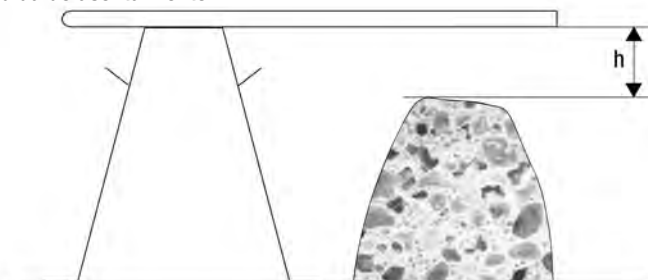
Norma: EN 12350-2

Todo el proceso, desde que se comienza el vertido hasta que se levanta el recipiente debe llevarse a cabo en un tiempo máximo de 150 segundos. El ensayo sólo es válido si se produce un asentamiento correcto de la masa de hormigón, es decir, un asentamiento en el cual el hormigón permanece sustancialmente intacto y de forma simétrica después que se ha quitado el recipiente (es decir, el hormigón permanece asentado con la forma de un cono o como una figura que se asemeja a un cono). Si el hormigón se colapsa (ver figuras de “formas de asentamiento”), se debe tomar otra muestra. Si el hormigón se colapsa en dos ensayos consecutivos, significa que no tiene la plasticidad y cohesión necesarias para que el ensayo de asentamiento sea adecuado.

Formas de asentamiento



Medida de asentamiento



Clases de asentamiento: consultar sección 2.3, Clasificación por la consistencia, página 25

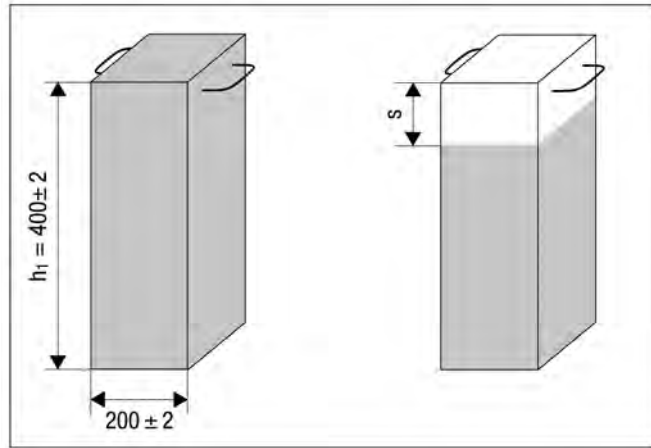
4.2.4 Ensayo de la Consistencia por el Grado de Compactabilidad

Fundamento:

El hormigón fresco se coloca cuidadosamente en el recipiente de acero para el ensayo. Se debe evitar todo tipo de compactación. Cuando el recipiente se ha llenado completamente, se enrasa la superficie con la parte superior del recipiente sin vibración. El hormigón se compacta entonces, por ejemplo con una aguja vibradora (diámetro máximo de tubo 50mm). Después de la compactación, se mide la distancia entre la superficie del hormigón y el borde superior del recipiente al centro de los cuatro lados. La cifra principal se utiliza para calcular el grado de compactabilidad.

Norma EN 12350-4

Dimensiones del recipiente	Base	200 x 200 mm (± 2)
	Altura	400 mm (± 2)



Hormigón en el recipiente antes de la compactación

Hormigón en el recipiente después de la compactación

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

Grado de las clases de compactabilidad: ver sección 2.3, Clasificación según consistencia.

4.2.5 Ensayo de Consistencia por la Mesa de Sacudidas

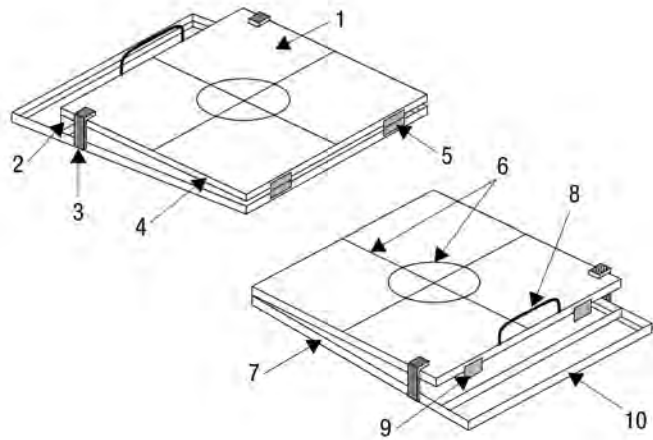
Fundamento:

Este ensayo determina la consistencia del hormigón fresco mediante la medida del esparcimiento del hormigón sobre la mesa de sacudidas. El hormigón fresco se vierte en primer lugar dentro de un recipiente en forma de cono (en 2 capas), se compacta y se enrasa la superficie con la parte superior del recipiente. El recipiente se retira entonces cuidadosamente manteniendo la verticalidad en todo momento. Antes del colapso del hormigón se levanta la tapa manual o mecánicamente 15 veces hasta el tope superior y se deja caer libremente hasta que da con el tope inferior. Finalmente se mide la dimensión máxima del hormigón esparcido en las dos dimensiones paralelas a los bordes de la mesa, pasando a

través del centro.

Estándar EN 12350-5

Clases de Diámetro de flujo: ver la sección 2.3, Clasificación de la consistencia página 25



1. Plato metálico

2. Movimiento vertical (limitado a 40 ± 1 mm)

3. Tope superior

4. Tapa o parte superior de la mesa

5. Bisagras exteriores

6. Marcas

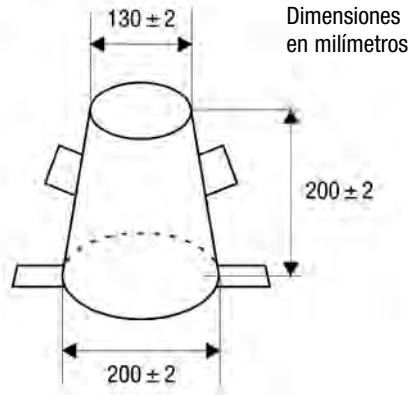
7. Marco de la base

8. Asa para levantar

9. Tope inferior

10. Tabla de pie

Recipiente de acero,
espesor de chapa
min. 1.5 mm



4.2.6 Determinación de la Densidad del Hormigón Fresco

Fundamento:

El hormigón fresco se compacta en un recipiente rígido y estanco al agua y una vez compactado se pesa.

Norma EN 12350-6

Las dimensiones mínimas del recipiente deber ser al menos 4 veces el tamaño nominal del árido grueso del hormigón y nunca menor de 150 mm. La capacidad del recipiente no debe ser inferior a 5 litros. La boca y la base deben ser paralelas.

(Los recipientes para ensayos de medida del contenido de aire, con una capacidad de 8 litros también han mostrados ser muy apropiados).

El hormigón se compacta mecánicamente con aguja vibradora o mesa vibrante o también manualmente con una barra compactadota.

4.2.7 Determinación del Contenido de Aire

Existen dos métodos de ensayo que emplean un equipo basado en el mismo principio (la ley de Boyle-Marriottte): se designan como método de la columna de agua y método del manómetro. La descripción que se ofrece a continuación se refiere al **método de la compensación de las presiones**, que es el más comúnmente empleado.

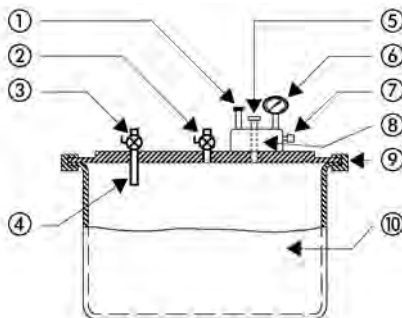
Fundamento:

Se introduce una muestra de hormigón cuyo volumen de aire es desconocido, en una cámara de aire sellada, a la que se aplica un volumen de aire conocido a una presión también conocida. El dial del manómetro estará calibrado en términos de porcentaje de aire en la muestra de hormigón.

Norma EN 12350-7

Esquema del aparato de ensayo para el método del manómetro

- 1 Bomba
- 2 Válvula B
- 3 Válvula A
- 4 Refrigerante de aire para comprobar la calibración
- 5 Válvula de aire principal
- 6 Manómetro
- 7 Válvula de purga de aire
- 8 Cámara de aire
- 9 Abrazadera
- 10 Recipiente



Los recipientes para los ensayos de contenido en aire para el hormigón estándar tienen una capacidad de 8 litros. La compactación puede llevarse a cabo con aguja o mesa vibrantes. Si se usan agujas vibrantes, hay que asegurarse de que el aire ocluido no se expulsa por una vibración excesiva.

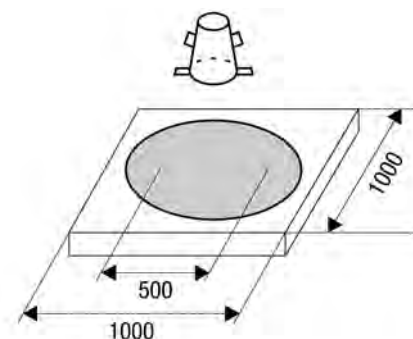
Ninguno de los dos métodos es aplicable a hormigones fabricados con áridos ligeros, escorias de alto horno o áridos de alta porosidad.

4.2.8 Otros Métodos de Ensayo para la Consistencia del Hormigón Fresco

Se han desarrollado en estos últimos años otros métodos de ensayo distintos que los que ya han sido descritos, particularmente para el hormigón autocompactable. Aún no se encuentran recogidos en normas pero ya han demostrado su efectividad en la práctica. Los métodos de ensayo más comunes son los que desarrollamos a continuación.

El método del Cono de Abrams

Es realmente una combinación de los métodos de Asentamiento (se usa el mismo recipiente) y de la Mesa de Sacudidas. El cono se llena con hormigón sobre el plato de la base, enrasado, y finalmente levantado lentamente. La medida que se toma normalmente es la del tiempo en segundos que tarda en alcanzar un diámetro de esparcimiento de 50 cm, y posteriormente el diámetro de esparcimiento máximo que alcanza cuando se para.



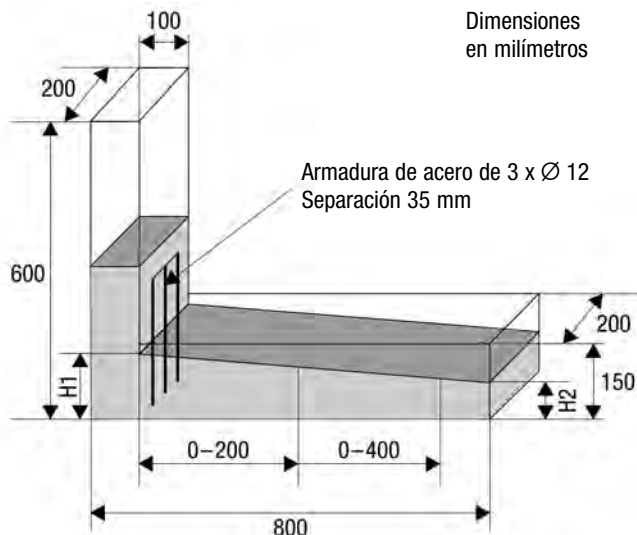
Un método alternativo que puede encontrarse a veces es invertir el cono de Abrams. Esto facilita el trabajo, ya que no es necesario sujetar el recipiente mientras se vierte el hormigón.

Este método es apropiado para uso tanto en obra como en laboratorio.

Se puede añadir una mayor dificultad colocando un anillo de acero con acero serrado en el medio, para simular el comportamiento del flujo alrededor de la armadura.

La Caja en L

La L box es adecuada para el análisis del comportamiento de la fluidez del hormigón en un movimiento de origen vertical a horizontal. Aquí, de nuevo, las medidas que habitualmente se toman es el tiempo que tarda en alcanzar horizontalmente los primeros 50 cm, así como el tiempo en alcanzar la cara al final de la canaleta, y la profundidad del hormigón en la salida y en el final de la canaleta. La velocidad de en dos puntos de medida distintos, puede por



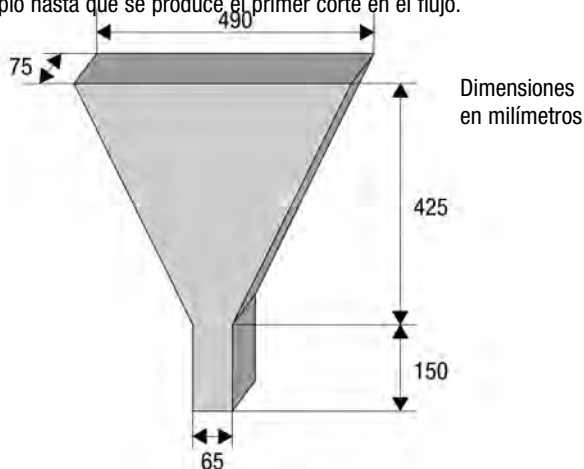
ejemplo medirse electrónicamente.

Los canales de descarga llevan a menudo una armadura de acero en la salida.

Este método es adecuado tanto en laboratorio como en obra.

El Embudo en V

El hormigón se vierte en el interior con la trampilla de la base cerrada, a continuación se abre la trampilla y se mide el tiempo de flujo al exterior, por ejemplo hasta que se produce el primer corte en el flujo.



Debido a que el cono se fija normalmente a un soporte este método es más apropiado para su utilización en laboratorio que para su uso en obra.

5.- Hormigón endurecido

5.1. Propiedades del hormigón endurecido

5.1.1. Resistencia a la compresión

**Clases de resistencia a la compresión según norma EHE-08.
Ver sección 2.4.**

Una propiedad importante del hormigón endurecido es la resistencia a la compresión. Se determina por un ensayo a compresión con probetas especialmente fabricadas (cúbicas o cilíndricas) o con testigos extraídos de la estructura.

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

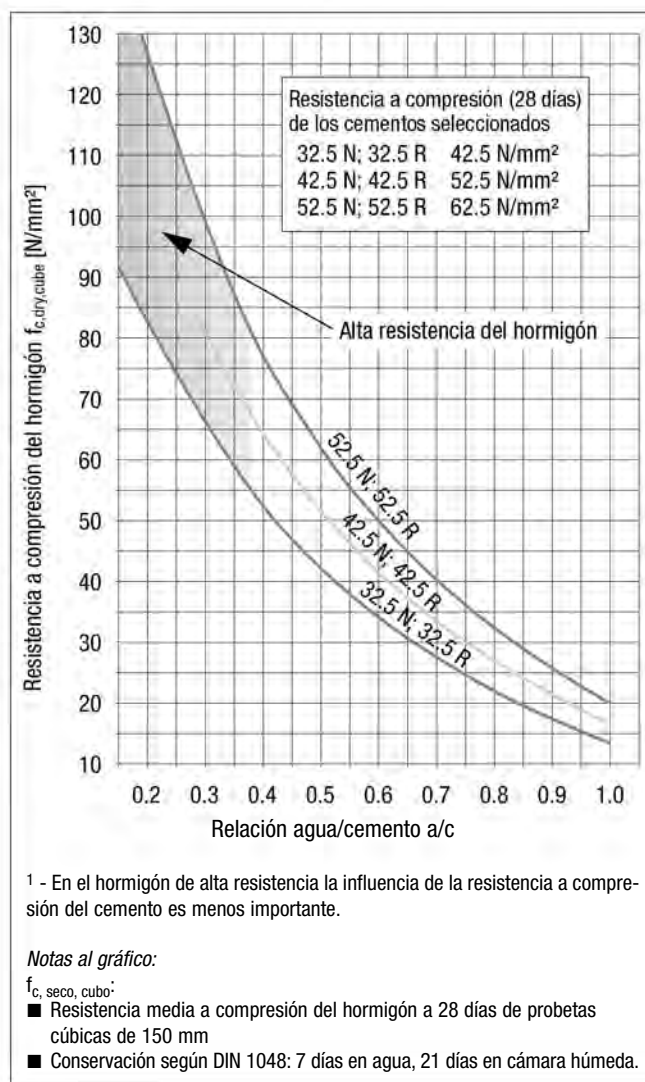
La resistencia del hormigón resulta por tanto de la resistencia del cemento hidratado, la resistencia de los áridos, la unión entre los dos componentes y el curado. En la tabla inferior se dan valores para el desarrollo de la resistencia a compresión.

Desarrollo de la resistencia del hormigón (guía de valores¹)

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

¹ Resistencia a la compresión a 28 días en almacenamiento continuo a 20°C corresponde al 100%

Correlación entre la resistencia a compresión del hormigón, la resistencia estándar del cemento y la relación agua/cemento



Efecto del curado sobre la resistencia a compresión, ver capítulo 8

5.1.2. Alta resistencia inicial del hormigón

Alta resistencia inicial significa la resistencia a compresión del hormigón en las primeras 24 horas tras su producción.

Alta resistencia inicial del hormigón para prefabricados

La alta resistencia inicial es a menudo muy importante para los prefabricados

Alta resistencia inicial significa:

- Rápida rotación de moldes
- Menor número de moldes por unidades producidas
- Adelantar la manipulación y el transporte de elementos
- Uso más económico del cemento
- Reducir costes de energía

Alta resistencia inicial del hormigón preparado

En este tipo de hormigón se requieren a veces especificaciones diametralmente opuestas. Por un lado, normalmente se precisa de un tiempo largo de trabajabilidad (para manipulación/instalación), pero por otro lado, se requieren resistencias iniciales a las 6 horas. Estos requisitos solo pueden cumplirse usando superplastificantes modernos, acelerantes de endurecimiento y mezclas especialmente adaptadas.

Usos del hormigón preparado con altas resistencias iniciales

Algunas aplicaciones del hormigón preparado en las que se requieran altas resistencias iniciales, son:

- Periodos cortos de desencofrado, especialmente en invierno
- Situaciones que requieren que el hormigón entre rápidamente en carga. Ej. (zonas con tráfico)
- Encofrados deslizantes
- Reducción del tiempo de curado

Parámetros que influyen en la alta resistencia inicial del hormigón

La resistencia inicial depende de los siguientes parámetros:

- Contenido y tipo de cemento
- Temperatura ambiente, del hormigón y del soporte
- Relación agua/cemento
- Dimensiones del elemento
- Curado
- Composición de los áridos
- Aditivos del hormigón

Producto Sika utilizado

Productos	5°C h: N/mm ²	10°C h: N/mm ²	20°C h: N/mm ²	30°C h: N/mm ²
Hormigón sin aditivo	CEM:350 — 18 h: 0 24 h: 2 48 h: 10	CEM:350 — 12 h: 0 18 h: 3 24 h: 14	CEM:325 — 9 h: 2 12 h: 5 18 h: 17	CEM:325 — 6 h: 5 9 h: 9 12 h: 13
Sika Antigel® Aditivo anticongelante	CEM:350 Dos: 1% 18 h: 1 48 h: 12	CEM:325 Dos: 1% 18 h: 5 24 h: 16	CEM:325 Dos: 1% 12 h: 6 18 h: 18	
SikarRapid® 1 Acelerador de endurecimiento	CEM:350 Dos: 1% 18 h: 1 24 h: 4 48 h: 16	CEM:325 Dos: 1% 12 h: 3 18 h: 7 24 h: 15	CEM:325 Dos: 1% 9 h: 4 12 h: 10 18 h: 23	CEM:300 Dos: 1% 6 h: 12 9 h: 16 12 h: 20
Sika ViscoCrete® -20 HE Superplastificante con alta esistencia inicial			CEM-325 Dos: 0.4% 24 h: 27	CEM-325 Dos: 0.8% 24 h: 34

Ensayos de resistencia

Para obtener datos relevantes sobre el desarrollo de la resistencia inicial en la estructuras, las probetas deben fabricarse cuidadosamente.

Debe tenerse en consideración lo siguiente:

- Preferentemente, producción de probetas con dimensiones de acuerdo a la estructura y testigos extraídos justo antes del ensayo.
- Fabricación de probetas con las mismas condiciones de almacenamiento. Es importante tener en cuenta que las resistencias iniciales son mucho más bajas debido a las dimensiones más pequeñas.
- Pueden utilizarse máquinas pendulares especiales para ensayar sobre la estructura. No es conveniente ensayar la resistencia inicial con ensayo de martillo.

Composición del hormigón

De forma general, (ya que la composición idónea depende del hormigón requerido), puede establecerse lo siguiente:

- Tipo de cemento: utilizar un CEM I 52.5 en vez de CEM I 42.5. El humo de sílice acelera el desarrollo de la resistencia, pero las cenizas volantes tienden a retardarla.
- Contenido de cemento: para un tamaño máximo de partícula de 32 mm., aumentar el contenido de conglomerante de 300 a 325-350 kg/m³.
- Temperatura del cemento: si es posible aumentar la temperatura para especificaciones altas.

- Curva granulométrica: seleccionar curvas con bajo contenido de finos (normalmente reduciendo el contenido de arena, para reducir la cantidad de agua).
- Relación a/c. reducir en mucha cantidad el contenido de agua con superplastificantes.
- Aceleración: acelera el desarrollo de la resistencia con un acelerante de endurecimiento (**SikaRapid® /SikaSet®**), sin reducir las resistencias finales.
- Curado: retener el calor de hidratación dentro del hormigón protegiéndolo de la pérdida de calor y la desecación.

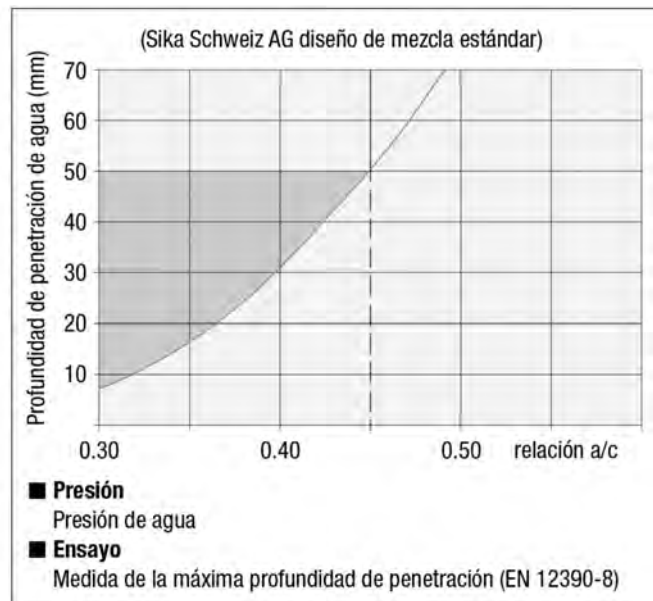
5.1.3. Impermeabilidad

La impermeabilidad define la resistencia de la estructura de hormigón a la penetración de agua.

La estanqueidad del hormigón está determinada por la impermeabilidad (porosidad capilar) del cemento hidratado.

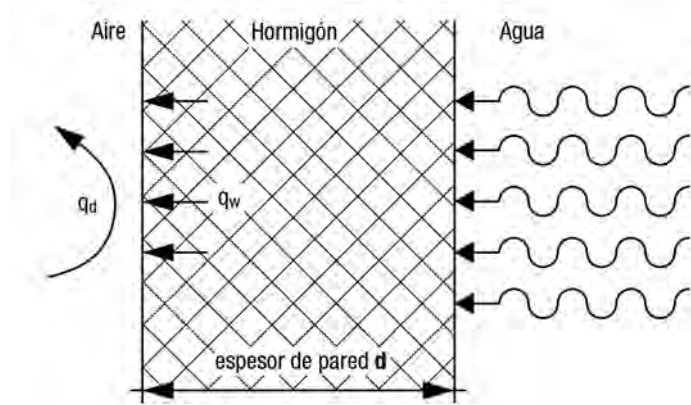
Definición de impermeabilidad según norma EN 12390-B

- Penetración máxima de agua en el hormigón ≤ 50 mm
- Requisito: buena calidad de hormigón y la solución adecuada para la construcción de juntas de trabajo

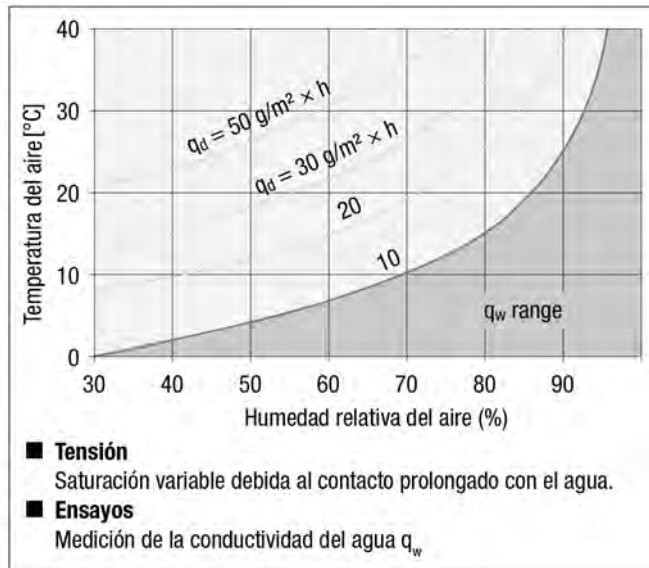


Definición de impermeabilidad al agua

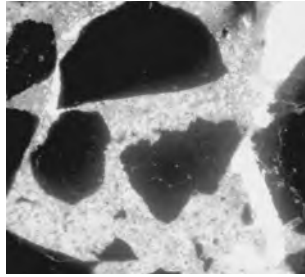
- Conductividad del agua q_w < volumen de agua evaporable q_d



- Índice recomendado para estructuras impermeables

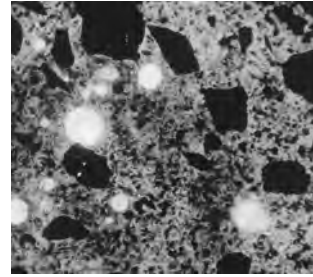


Reducción de los poros capilares y cavidades por reducción de agua



Relación a/c alta > 0.60

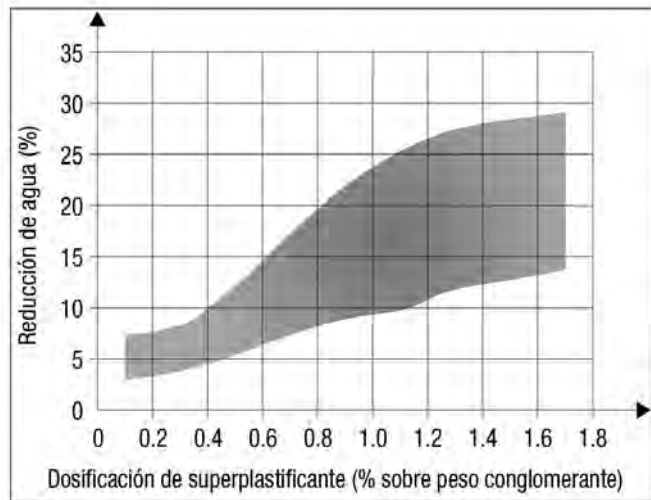
Grandes poros debido a la ausencia de finos y arena



Relación a/c baja < 0.40

Matriz del cemento muy impermeable

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



Una hidratación correcta es de vital importancia para asegurar la impermeabilidad del hormigón. Por tanto, un curado correcto es esencial (capítulo 8).

Resumiendo, la consecución de un hormigón con baja relación a/c, es la forma más eficaz de obtener un hormigón impermeable (para ello, empleo de **Sika ViscoCrete®**), unido la utilización de aditivos hidrofugantes (**Sika®1**, **Plastocrete® N**).

5.1.4 Resistencia al hielo y a las sales de deshielo

Tensión por ciclos hielo/deshielo:

Los daños en la estructura del hormigón provocados por el hielo se producen generalmente cuando la humedad ha penetrado el hormigón y éste está expuesto a ciclos frecuentes de hielo/deshielo en esas condiciones. El daño en el hormigón ocurre porque tienen lugar estos ciclos de hielo/deshielo del agua que ha penetrado el hormigón por absorción capilar. El aumento del volumen del agua (hielo) en las capas exteriores del hormigón provoca su destrucción.

Para una alta resistencia al hielo es esencial:

- Utilización de áridos resistentes al hielo
- Una estructura del hormigón impermeable y/o
- Hormigón con oclusión de microburbujas de aire
- Curado intenso y cuidadoso
- Grado de hidratación del hormigón lo más alto posible (por ejemplo no es recomendable colocar el hormigón inmediatamente antes de una helada, ya que el frío paraliza la hidratación)

Resistencia a las sales de deshielo

Debido al uso extensivo de las sales anticongelantes (generalmente cloruro de sodio NaCl, con el fin de bajar el punto de congelación del agua en las carreteras y prevenir la formación de hielo) la superficie del hormigón se enfría abruptamente debido a la extracción del calor del hormigón. Estas interacciones entre las capas heladas y no heladas causa ruptura de la estructura del hormigón.

Condiciones para la resistencia a las sales de deshielo

- Áridos resistentes al hielo
- Una estructura del hormigón impermeable con aire ocluido
- Curado intenso y cuidadoso
- Evitar la acumulación de mortero fino en la superficie
- Hormigonar con anticipación suficiente al empleo de sales de deshielo con el fin de dar tiempo a que el hormigón fragüe perfectamente.

Método de ensayo según

- EN 12390-9 (intemperie)

5.1.5. Superficie del hormigón

Los requisitos de impermeabilidad y apariencia de las superficies del hormigón pueden ser muy variados. Para cumplir estas especificaciones son necesarios un plan y una ejecución detallada de la estructura.

La impermeabilidad máxima de la superficie es esencial para los requisitos de durabilidad. El ataque viene siempre del exterior al interior. Una vibración excesiva o un curado inadecuado debilitan estas zonas. Los requisitos de una apariencia de alta calidad han llevado a la producción del llamado hormigón “visto”.

Apariencia de las superficies de hormigón

Hormigón “visto” (ver apartado 3.2.8)

Hormigón de árido expuesto

El hormigón de árido expuesto es un tipo de diseño del hormigón utilizado por ejemplo en muros de contención, paneles de fachada, elementos de jardín, etc. La estructura del árido queda expuesta en la superficie mediante lavados continuos. Esto requiere retardo en el fraguado de la superficie, que debe ser efectivo en varios mm. de espesor.

En un hormigón de árido expuesto correctamente diseñado, 2/3 del árido grueso quedan dentro de la matriz endurecida del cemento.

Producto	Tipo de producto	Uso del producto
Gama Rugasol®	Retardador de superficie	Para superficies de hormigón de árido expuesto y juntas de trabajo

Notas

- El tamaño máximo de partícula debe adaptarse a las dimensiones del elemento por razones estéticas de diseño (por ejemplo 0-16 mm para unidades ligeras)
- Contenido de cemento de 300-450 kg/m³ dependiendo de la composición de los áridos (menos finos → más cemento).
- Relación agua/cemento 0.40-0.45 (→ añadir **Sikament®/Sika Viscocrete®/Sika Plast®**)
- Normalmente, aumentar el espesor de recubrimiento de las armaduras en 1 cm

5.1.6. Retracción

Retracción significa contracción o disminución del volumen del hormigón. El proceso y el nivel de deformación por retracción están influenciados principalmente por el inicio del secado, las condiciones ambientales y la composición del hormigón.

El proceso tiene lugar del siguiente modo:

- La retracción química del hormigón nuevo se debe únicamente a la diferencia de volumen entre los reactivos y los productos. La contracción afecta solo a la matriz del cemento, no a los áridos.
- La retracción plástica del hormigón nuevo en las fases iniciales del fraguado y endurecimiento comienza cuando el agua sale del hormigón por evaporación tras el fraguado inicial. Esto hace que el volumen del hormigón se reduzca en todas las direcciones. La deformación normalmente finaliza cuando el hormigón alcanza una resistencia a la compresión de 1 N/mm².
- La retracción por secado está causada por la lenta desecación del hormigón endurecido, cuanto más rápida sea la disminución de agua en la estructura, mayor será la retracción del hormigón.

Influencias en el grado de contracción

- Planificación y especificación de las juntas de construcción y de las fases de hormigonado
- Diseño óptimo de la mezcla
- Menor contenido de agua posible → utilizar **Sikament® / Sika® Viscocrete®/ Sika Plast®**
- Utilizar aditivos reductores de la retracción → **Sika® Control 40** reducción de la retracción tras el inicio de la hidratación.
- Prevención de la evaporación de agua humedeciendo los encofrados y el soporte
- En el curado: Aplicación de un líquido de curado → **Antisol** o cubriendo con láminas de plástico o mantas aislantes, cubiertas de material absorbente (arpilleras, paños geotextiles).

Fase I	Fase II	Fase III
contracción Química influencia del calor de hidratación	contracción Térmica ó Plástica Prevenir la pérdida de agua	contracción por Secado Curado Reducción de la retracción
aprox. 4-6 horas	aprox. 1 N/mm ²	

5.1.7. Resistencia a sulfatos

La presencia de sulfatos es bastante común en el agua y en el suelo y puede atacar al hormigón endurecido.

Proceso

El agua con contenido de sulfatos se combina con el aluminato tricálcico (C_3Al) en el cemento para formar 'ettringita', lo que lleva a un aumento del volumen y a una presión interna alta en la estructura del hormigón y por tanto a fisuración y descantillado.

Medidas

- Una estructura del hormigón tan impermeable como sea posible.
- Para ello hay que bajar la porosidad → utilización de la tecnología Sika del humo de sílice → **SikaFume®/Sikacrete®**
- Una relación agua/cemento baja ($a/c \leq 0.45$) → **Sika® ViscoCrete®/ Sikament®/SikaPlast®**
- Utilización de cemento con el menor contenido posible de aluminato tricálcico (C_3Al).
- Curado correcto de la estructura

Nota: la determinación de los requisitos específicos es esencial en todo proyecto. Para valores límite en la clasificación de exposición a ataques químicos de suelos y aguas subterráneas ver las Tablas en el apartado 2.2. Acciones medioambientales

5.1.8 Resistencia Química

El hormigón puede ser atacado por sustancias nocivas que están presentes en el agua, suelo y gases (por ejemplo aire). Estas sustancias nocivas pueden encontrarse además en depósitos, suelos industriales, etc.

- Las aguas superficiales y subterráneas, los contaminantes presentes en el suelo y en el aire y sustancias vegetales y animales pueden atacar al hormigón químicamente.
- El ataque químico puede dividirse en dos tipos:
 - Efecto disolvente: producido por la acción de agua, ácidos, sales, aceites y grasas, etc.
 - Hinchamiento: producido principalmente por la acción de los sulfatos presentes en el agua (ver sección 5.1.7.).

Ver la tabla en la sección 2.2. Acciones medioambientales

Medidas

- Una estructura del hormigón tan impermeable como sea posible. Para ello hay que bajar la porosidad → utilización de la tecnología Sika del humo de sílice → **SikaFume/Sikacrete**
 - Una relación agua/cemento baja ($a/c \leq 0.45$) → **Sikament®/Sika® ViscoCrete®/Sika Plast®**
 - Aumentar el espesor de recubrimiento de las armaduras en al menos 10 mm
- El hormigón tiene únicamente una resistencia adecuada contra algunos ácidos muy débiles. Los ácidos de fuerza media degradan el hormigón. Por tanto, una protección extra del hormigón con un recubrimiento tiene que especificarse siempre para un ataque de ácidos de moderado a alto.

5.1.9. Resistencia a la abrasión

Solicitud por abrasión

Las superficies de hormigón están expuestas a tensiones por rodadura, por desgaste y/o por impacto. La matriz del cemento, los áridos y su unión se ven atacados por estas tensiones siendo este ataque por tanto 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 del cemento porosa (alto contenido en agua). Dicha porosidad disminuye proporcionalmente con la reducción del factor agua/cemento aumentando la cohesión con los áridos.

- Un factor $a/c \leq 0.45$ es ideal.
- Mejorar la impermeabilidad de la matriz del cemento hidratado y la cohesión de los áridos y el cemento hidratado (**SikaFume®/Sikacrete®/Plastocrete® N**).

- Elegir una curva granulométrica apropiada utilizando áridos de tamaños especiales si es necesario y realizando un curado cuidadoso.
- Esparcido sobre la superficie de un material duro (polvo de cuarzo).

Composición del hormigón resistente a la abrasión

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

Si el espesor de capa supera los 50 mm, puede incorporarse una malla de refuerzo ligera (min. 100 x 100 x 4 x 4 mm).

Adhesión al soporte y acabado

- Antes de la instalación, se aplica una capa de unión en el soporte ligeramente humedecido (Gama Sikadur).

Curado

Con **Sika® Antisol** (eliminado mecánicamente después, por ejemplo con cepillo de púas o por chorro de arena si luego va a aplicarse un recubrimiento), cubrir con láminas para el curado, preferentemente durante varios días.

5.1.10 Resistencia a la flexión

El hormigón se utiliza básicamente bajo tensión por compresión y las fuerzas de tracción se absorben por la armadura. El hormigón tiene en si mismo alguna resistencia a la flexión y a la tracción, que depende principalmente de la mezcla. El factor crítico es la unión entre los áridos y el cemento hidratado. El hormigón tiene una resistencia a la flexión entre 2 y 7 N/mm².

Influencias sobre la resistencia a flexión

La resistencia a la flexión aumenta

- Al aumentar la resistencia a compresión del cemento estándar (CEM 32.5; CEM 42.5; CEM 52.5)
- Al descender la relación a/c
- Utilizando áridos angulares y rotos

Aplicaciones

- Hormigón reforzado con fibras de acero
- Hormigón para carreteras, pistas de aeropuertos
- Hormigón de estructura laminar

Métodos de ensayo

- UNE EN 12390-5, ver sección 5.2.5.

5.1.11 Desarrollo del Calor de Hidratación

Al mezclarlo con agua, el cemento comienza a reaccionar químicamente. A esto se le denomina ‘reacción de hidratación del cemento’.

El proceso químico de endurecimiento es la base para la formación de la pasta de cemento endurecida y por tanto, del hormigón. La reacción química con el agua de amasado (hidratación) produce nuevos componentes de los materiales del clinker. Visto bajo un microscopio se ven las tres fases del proceso de hidratación, que es fuertemente exotérmico, es decir, que la energía se desprende en forma de calor.

Fase de hidratación 1

Generalmente hasta 4 a 6 horas después de la producción

El yeso en la pasta de cemento plástica se une al aluminato tricálcico (C_3A) para formar estrigita, una capa insoluble en agua que inicialmente inhibe el proceso de conversión de los otros componentes. La adición de yeso en un 2-5% tiene por tanto un efecto retardante.

Las “agujas” más largas, que se crean en esta fase unen las partículas sueltas del cemento haciendo que el hormigón endurezca.

Fase de hidratación 2

Generalmente entre 4 y 6 horas después de la producción y hasta 1 día

Después de algunas horas comienza el proceso de hidratación de los materiales del clinker, particularmente el silicato tricálcico (C_3S), con la formación de cristales de fibra larga de silicato de calcio hidratado entrelazados que más tarde consolidan la estructura.

Fase de hidratación 3

A partir de 1 día

La estructura y la microestructura de la matriz del cemento están todavía inicialmente abiertas. A medida que progresa la hidratación, los intersticios se rellenan con otros productos de la hidratación y aumenta la resistencia.

Proceso de hidratación

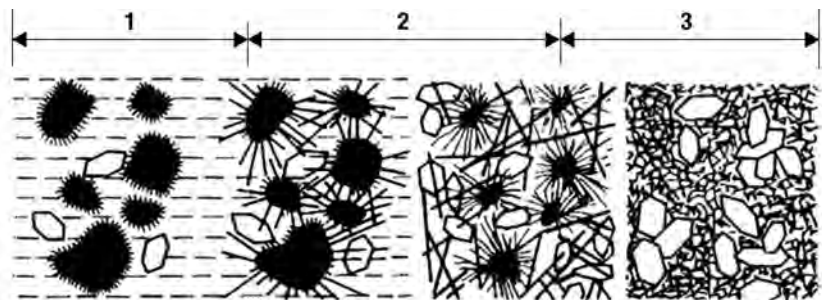


Ilustración de las fases de hidratación y del desarrollo de la estructura durante la hidratación del cemento.

5.1.12. Reactividad Árido-Álcali

La reactividad árido-álcali es la reacción que se produce entre la disolución presente en los poros del hormigón y los áridos. Esto produce un gel de sílice que se hincha debido a la absorción de agua y causa fisuras o descantillado en el hormigón.

La forma y el índice de la reacción varían según el tipo de áridos:

- Reactividad árido-álcali en áridos volcánicos
- Reactividad árido-álcali en áridos calizos
- Reactividad árido-álcali en áridos cristalinos

Reactividad árido-álcali

Existe el riesgo de que se produzca esta reacción al usar áridos sensibles a los álcalis. El problema puede obviamente evitarse no usando este tipo de áridos, pero esto es a menudo impracticable por motivos económicos y ecológicos. Usando cementos adecuados y una tecnología del hormigón de altas prestaciones, puede evitarse esta reacción o, al menos, reducirla.

Los mecanismos precisos que intervienen en esta reacción siguen siendo analizados pero, hablando en términos generales, los iones de álcali penetran en los áridos con la absorción de agua y generan presión interna que causa fisuras en los áridos y más tarde en la matriz del cemento, destruyendo el hormigón. Esto puede describirse como una presión de efecto explosivo. Su duración e intensidad depende de la reactividad del cemento, el tipo y porosidad de los áridos, la porosidad del hormigón y las medidas preventivas adoptadas.

Estas medidas son:

- Sustitución parcial del cemento Pórtland por escoria u otras adiciones (humo de sílice/cenizas volantes) con baja equivalencia Na_2O .
- Análisis de la reactividad áridos-álcali potencial y clasificación (análisis petrográficos/ensayo de comportamiento, etc.)
- Sustitución total o parcial de los áridos (mezcla de los áridos disponibles)
- Prevenir la entrada de humedad en el hormigón
- Diseño de las armaduras para una buena distribución de las fisuras (por ejemplo solo fisuras muy finas)
- Diseño de un hormigón impermeable para minimizar la penetración de la humedad.

5.2. Probetas de hormigón endurecido



Los ensayos de hormigón endurecido están regulados por la norma EN 12390

5.2.1. Requisitos para probetas y moldes

Norma EN 12390-1

Términos de la norma

■ Dimensión nominal

La dimensión común de la probeta

■ Dimensión designada

La dimensión de la probeta en mm seleccionada y declarada por el usuario dentro del rango permitido de dimensiones normales.

Tamaños nominales permitidos (en mm)

Cubos ¹	Arista	100		150	200	250	300
Cilindros ²	Diámetro	100	113 ³	150	200	250	300
Prismas ^{1,4}	Arista de cara	100		150	200	250	300

¹ Las dimensiones designadas no deben diferir de los tamaños nominales

² Las dimensiones designadas deben estar dentro del 10% de los tamaños nominales

³ Esto da una superficie de transferencia de carga de 10.000 mm²

⁴ La longitud de los prismas debe ser $L \geq 3.5 d$

Tolerancias permitidas para probetas

Tolerancias permitidas	Cubos	Cilindros	Primas
Dimensión designada	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.5\%$
Dimensión designada entre el área superior e inferior (base)	$\pm 1.0\%$		
Planeidad de las superficies de carga	$\pm 0.0006 d$, en mm	$\pm 0.0005 d$, en mm	
Perpendicularidad de las caras del cubo con referencia a la base	$\pm 0.5 \text{ mm}$	$\pm 0.5 \text{ mm}$	$\pm 0.5 \text{ mm}$
Tolerancia en la altura		$\pm 5\%$	
Tolerancia permitida en la rectitud para la línea de cilindros utilizados en los ensayos de rotura		$\pm 0.2 \text{ mm}$	
Rectitud de la superficie de los soportes, para los ensayos de flexión			$\pm 0.2 \text{ mm}$
Rectitud de la superficie de carga Para los ensayos de resistencia a la tracción por compresión			$\pm 0.2 \text{ mm}$

Moldes

Los moldes deben ser estancos y no absorbentes. Las juntas deben sellarse con materiales adecuados.

Moldes de calibración

Deben estar hechos de acero o fundición. Las tolerancias dimensionales permitidas en los moldes de calibración son estrictamente las definidas para los moldes estándar.

5.2.2. Fabricación y curado de probetas*

*Nota: se recomienda que esta norma se aplique así mismo a todos los ensayos comparativos de hormigón, no únicamente a los ensayos de resistencia.

Norma EN 12390-2

Normas para la fabricación de probetas

■ Tolva de llenado

El vertido en los moldes puede ser más sencillo con una tolva, pero su uso es opcional.

■ Compactación

Vibrador de aguja con frecuencia mínima de 120 Hz (7200 ciclos por minuto)
(El diámetro de la aguja no debe exceder de 1/4 del ancho del molde)

0

Mesa vibratoria con una frecuencia mínima de 40 Hz 82400 ciclos por minuto)

0

Barra metálica lisa y cilíndrica de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud y con punta semiesférica.

■ Desencofrantes

Deben utilizarse para evitar que el hormigón quede adherido a los moldes

Notas sobre el vertido

Las probetas deben verterse y compactarse en al menos 2 capas, pero las capas no deben tener espesores superiores a 100 mm.

Notas sobre la compactación

Al compactar por vibrado se consigue una compactación total si dejan de aparecer grandes burbujas de aire en la superficie y si esta tiene una apariencia brillante y lisa. Debe evitarse una sobrevibración (aparición de burbujas de aire).

Compactación manual con barra metálica. El número de impactos por capa dependerá de la consistencia, pero deberá haber al menos 25 impactos por capa.

Identificación de las probetas

Es importante llevar a cabo un etiquetado claro y duradero de las probetas desmoldadas, especialmente si van a estar conservarse durante bastante tiempo

Conservación de las probetas

Las probetas deben permanecer en los moldes a una temperatura de 20 (± 2) °C, o a 25 (± 5) °C en países con climas cálidos, durante al menos 16 horas pero durante no más de 3 días. Deben protegerse de la desecación y la intemperie.

Tras el desmoldado, las probetas deben conservarse hasta el inicio del ensayo a una temperatura de 20 (± 2) °C en agua o en cámara húmeda con una humedad relativa $\geq 95\%$.

5.2.3. Resistencia a la compresión de las probetas

Norma EN 12390-3

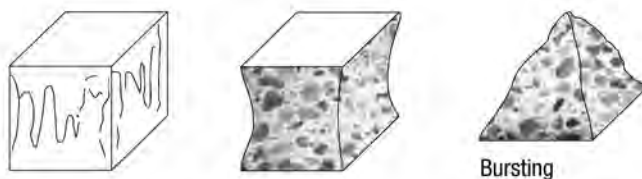
Equipo del ensayo: máquina de ensayos de compresión según norma EN 12390-4

Requisitos de las probetas

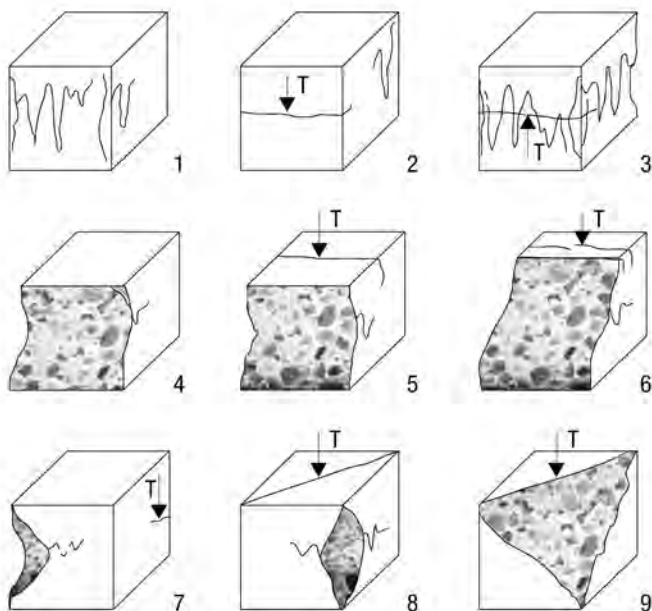
Las probetas deberán ser cúbicas o prismáticas. Deben cumplir las dimensiones especificadas en norma EN 12390-1. Si se exceden estas dimensiones, las muestras deben separarse y adaptarse según el Anexo B. Este Anexo B da detalles sobre como determinar las dimensiones geométricas.

Uno de los métodos descritos se utiliza para adaptar las probetas (cortado, limado o aplicación de material de relleno). Las probetas cúbicas deben ensayarse perpendicularmente a la dirección de vertido (cuando se fabrican los cubos). Al final del ensayo, debe evaluarse el tipo de rotura. Si no es común, debe anotarse con el número del tipo.

Modelos estándar de rotura (Ilustraciones de la Norma)



Modelos no comunes de rotura en cubos (Ilustraciones de la Norma)



T = Tensión de rotura

5.2.4. Especificaciones para las máquinas de ensayo

Norma EN 12390-4

Esta norma consiste principalmente en datos mecánicos: platos de carga / medición de la carga / regulación de la carga / transmisión de la carga. Para información más detallada, consultar la norma.

Principio

Se coloca la probeta entre un plato superior de carga movable (esférico) y un plato inferior de carga y se aplica una carga axial hasta que se produce la rotura.

Notas importantes

El plato inferior debe tener marcas que sirvan de guía para un correcto centrado de la probeta.

La máquina de ensayos debe calibrarse después del montaje inicial o al menos una vez al año. Esta calibración también será necesaria después de la sustitución de alguna pieza que afecte a las características del ensayo.

5.2.5. Resistencia de las probetas a la flexotracción

Norma EN 12390-5

Principio

Se ejerce un momento de curvatura sobre una probeta prismática por transmisión de carga a través de un rodillo superior y un rodillo inferior.

■ Dimensiones del prisma

Ancho = altura = d

Longitud $> 3.5 d$

Se utilizan dos métodos de ensayo

■ Aplicación de la carga en 2 puntos

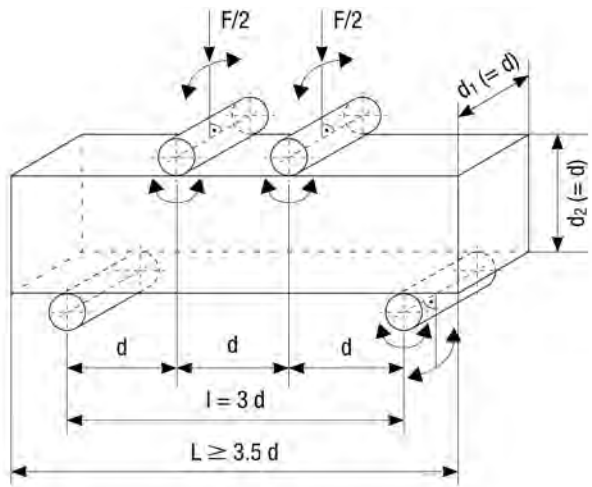
Transmisión de carga superior a través de 2 rodillos a una distancia d (cada uno $\frac{1}{2} d$ del centro del prisma)

■ Aplicación de la carga en 1 punto (central)

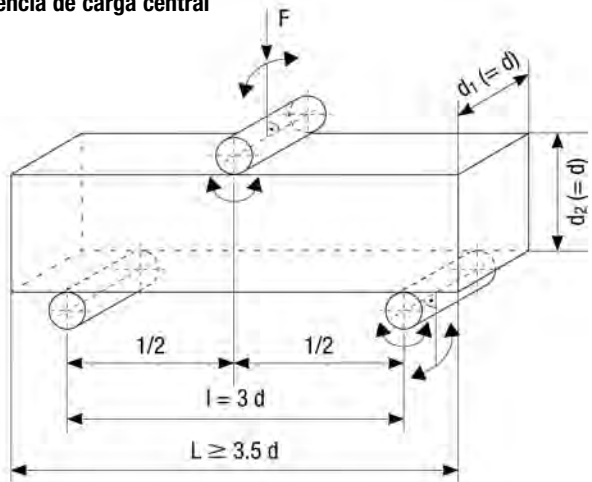
Transmisión de una carga superior a través de 1 rodillo en el centro del prisma.

En ambos métodos los rodillos inferiores están a una distancia de $3 d$ (cada uno $\frac{1}{2} d$ del el centro del prisma).

Transferencia de carga en dos puntos



Transferencia de carga central



Los análisis han demostrado que la transferencia de carga en 1 punto da unos resultados un 13% superior que la transferencia de carga en 2 puntos. La carga debe aplicarse perpendicularmente a la dirección de vertido (cuando se fabricaron las probetas)

5.2.6 Resistencia a tracción de las probetas

Norma EN 12390-6

Principio

Una probeta cilíndrica se somete a una fuerza de compresión aplicada a lo largo de su eje longitudinal. Las fuerzas de tracción resultantes provocan la ruptura del testigo.

Probetas

Cilíndricas según EN 12390-1.

Si los ensayos se llevan a cabo con testigos cúbicos o prisma, pueden utilizarse separadores convexos de acero para aplicaciones de carga (en vez de los platos convencionales).

El testigo roto debe examinarse para comprobar la apariencia del hormigón y ver si el tipo de ruptura es inusual.

5.2.7. Densidad del hormigón endurecido

Norma EN 12390-7

Principio

La norma describe un método para determinar la densidad del hormigón endurecido.

La densidad se calcula de la masa (peso) y volumen, que se obtienen de un testigo de hormigón endurecido.

Probetas

Se requieren testigos con un volumen mínimo de 1 litro. Si el tamaño nominal de la partícula máxima de árido está por encima de los 25 mm, el volumen mínimo del testigo debe estar por encima de $50 D^3$, siendo D el tamaño máximo de partícula de árido.

(Ejemplo: un tamaño máximo de partícula de 32 mm requiere un volumen mínimo de 1.64 litros).

Determinación de la masa

La norma especifica 3 condiciones bajo las cuales puede determinarse la masa del testigo:

- Muestra según se recibe
- Muestra saturada de agua
- Muestra secada en estufa

Determinación del volumen

La norma especifica 3 métodos para determinar el volumen de un testigo:

- Por desplazamiento de agua (método de referencia)
- Por cálculo a partir de las masas actuales (geométricamente)
- Por cálculo a partir de las masas específicas (para cubos)

La determinación del volumen por desplazamiento de agua es el método más exacto y el único válido para probetas con diseño irregular.

Resultado del ensayo

La densidad se calcula de la masa obtenida del testigo y su volumen

$$D = m/V$$

D = densidad en kg/m^3
 m = masa del testigo en el momento del ensayo en kg.
 V = volumen determinado por el método pertinente en m^3

El resultado debe redondearse a 10 kg/m^3

5.2.8 Profundidad de la Penetración del Agua bajo Presión

Norma EN 12390-8

Principio

El agua se aplica bajo presión en la superficie del hormigón endurecido. Al finalizar el periodo de ensayo la probeta se parte y se mide la profundidad de penetración máxima del agua.

Probetas

Las probetas son cubos, cilindros o prismas con una longitud mínima de borde o diámetro de 150 mm.

La superficie de ensayo en la probeta es un círculo con un diámetro de 75 mm (la presión de agua puede aplicarse desde arriba o desde abajo).

Condiciones durante el ensayo

- La presión de agua no debe aplicarse sobre una superficie con acabado liso de la probeta (preferentemente tomar una superficie lateral para el ensayo). El informe debe especificar la dirección del agua a presión en relación con la dirección de vertido cuando se fabricaron las probetas (en ángulo recto o en paralelo).
- La superficie del hormigón expuesta a la presión de agua debe cepillarse con un cepillo de púas (preferentemente inmediatamente después del desmoldado de la probeta).
- Los testigos deben tener al menos 28 días en el momento del ensayo

Ensayo

Durante 72 horas debe aplicarse una presión constante de agua de 5 bares. Las probetas deben inspeccionarse regularmente para verificar zonas húmedas y la pérdida de agua.

Después del ensayo las probetas deben retirarse inmediatamente y romperse en la dirección de la presión. Al romperse, la superficie expuesta a la presión de agua debe encontrarse en el la parte inferior.

Si las caras rotas están ligeramente secas, la dirección de penetración del agua debe marcarse en la probeta.

La penetración máxima por debajo de la superficie de ensayo debe medirse y redondearse a 1 mm.

5.2.9. Resistencia al ciclo de hielo/deshielo

Norma EN 12390-9 (2005: borrador)

La norma describe cómo ensayar la resistencia al hielo del hormigón con agua y la resistencia al ciclo de hielo/deshielo con una solución NaCl (“agua salada”). Se mide la cantidad de hormigón que se separa de la superficie después de un número definido de ciclos de hielo/deshielo.

Principio

Las probetas se enfrían repetidamente a temperaturas por debajo de los -20C y son recalentadas a +20C o más (en agua o en una solución de sal común). La cantidad resultante de separación de material indica la resistencia del hormigón al ciclo de hielo/deshielo.

Se describen tres métodos

- Método de ensayo con losas
- Método de ensayo con cubos
- Método de ensayo CD/CDF

El método de ensayo con losas es el método de referencia

Términos de la norma

- Resistencia al hielo

Resistencia a ciclos repetidos de hielo/deshielo en contacto con agua

- Resistencia al ciclo de hielo/deshielo:

Resistencia a ciclos repetidos de hielo/deshielo en contacto con anticongelantes

- Intemperie

Pérdida de materia en la superficie del hormigón debido a la acción de los ciclos de hielo/deshielo.

- Ruptura interna de la estructura

Fiuras dentro del hormigón que no son visibles en la superficie pero que producen un cambio en las características del hormigón como una reducción en el módulo de elasticidad dinámico.

6.- Hormigón proyectado



6.1. Definición

El hormigón proyectado es uno de los procedimientos de ejecución de sostenimientos más importante dentro del llamado Método Austríaco, por lo que será necesario definir convenientemente diferentes términos o vocablos.

“**Gunitar** se define como la puesta en obra de un mortero u hormigón a gran velocidad, que es transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente sobre un soporte”.

“El **hormigón proyectado** se define como un hormigón cuyo tamaño de áridos es superior a 8 mm e inferior a 12 mm generalmente, y que, aplicado a máquina, se proyecta a gran velocidad sobre una superficie a través de una manguera y boquilla”.

“El **mortero proyectado** se define como un mortero cuyo tamaño máximo de árido puede llegar hasta 8 mm y que, aplicado a máquina, se proyecta a gran velocidad sobre una superficie a través de una manguera y boquilla”.

Usos

El hormigón proyectado se utiliza principalmente en las siguientes aplicaciones:

- Estabilización de frentes de excavación en túneles
- Sostenimiento de rocas y taludes
- Revestimientos de alta calidad.
- Trabajos de reparación

6.2. Requisitos del hormigón proyectado de calidad

Reducción de costes debido a la reducción de pérdidas por rechazo
Incremento de la resistencia a compresión
Capas más gruesas debido al aumento de la cohesión
Mayor impermeabilidad
Aumento de la resistencia a heladas
Buena adherencia al soporte y buena resistencia al desprendimiento

Cómo pueden conseguirse estos requisitos

QUE	COMO	Producto Sika
Resistencia inicial	Acelerante	Sigunita®-L53 AFS Sigunita®-L22R/-L65
Resistencia final	Reductor de agua SiO ₂ /acelerante libre de álcalis	Sikament® Sika Viscocrete® SikaFume® S92D Sigunita®-L53 AFS
Resistencia a sulfatos	Reductor de agua + SiO ₂	SikaTard®/Sika Viscocrete® /Sikament®/ SikaFume® S92D
	Química	Sika Viscocrete®/Sikament®+
	Abrasión	SikaFume® S92D+Sikafiber®
Impermeabilidad	Reductor de agua para baja a/c	Sika Viscocrete®/ Sikament®
Bajo rebote	SiO ₂ /Mejorador de rebote	SikaFume® S92D/Sikatell
Largos tiempos de trabajo	Estabilizador de fraguado	SikaTard® 930
Alta capacidad de producción	Reductor de agua/agente de bombeo (proyección húmeda)	Sika Viscocrete®/ SikaPump®
Alta flexibilidad y retrasos/ atascos en uso	Estabilizador de fraguado	SikaTard® 930

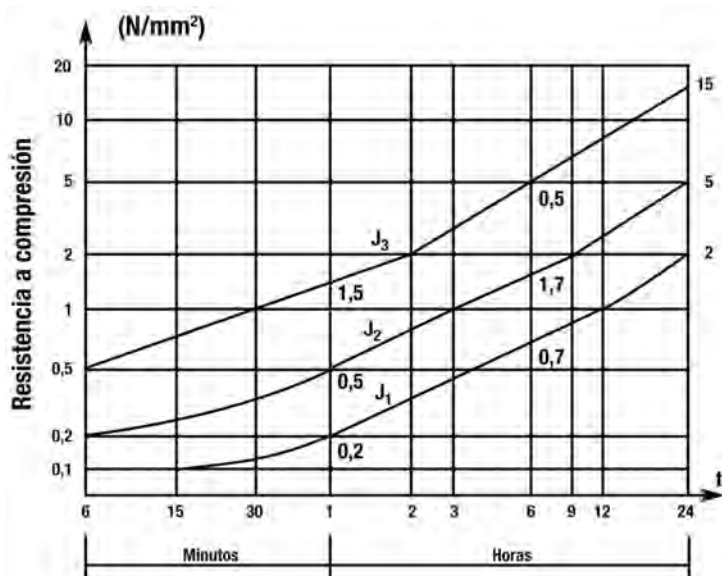
6.3. Desarrollo de la resistencia inicial

Las propiedades del hormigón proyectado son las que mejor definen su calidad. Las normas UNE 83600 a UNE 83610 deben tenerse en cuenta en la producción de este tipo de hormigón.

Los tipos de hormigón y mortero proyectados se clasifican según su función en tres categorías:

- H/MP I: Hormigón o mortero proyectados sin función estructural. Son utilizados para mejoras de superficies, pequeños rellenos de cavidades y capas de protección.
- H/MP II: Hormigón o mortero proyectados con función estructural temporal. Son utilizados para cubrir las misiones estructurales permanentes como túneles, taludes, depósitos, excavaciones, etc.
- H/MP III: Hormigón o mortero proyectados con función estructural permanente. Son utilizados para cubrir las misiones estructurales permanentes, tales como túneles, taludes, depósitos, excavaciones, etc.

Esta clasificación puede complementarse con el criterio de edad en la cual se define como un Hormigón o Mortero Proyectado joven aquel que tiene una edad inferior o igual a 24 horas. Su expresión se determina por la letra "J" y pueden ser de tres tipos (J1, J2 y J3) según evolución en resistencia (véase en la figura)



6.4. El proceso de la proyección

Existen tres procedimientos distintos de proyección, que se conocen como **Vía seca, vía húmeda y vía semihúmeda**. El sistema de proyección por vía seca resulta satisfactorio y ha sido hasta hace unos 15 años el método más empleado. El sistema de proyección por vía húmeda se ha generalizado completamente en el mercado, aunque lleva consigo una necesidad de empleo de más servicios. El sistema de proyección por vía semihúmeda, que consiste en la adición del agua a la mezcla de hormigón aproximadamente a 5 m de la boquilla de proyección, es un proceso que evita fundamentalmente que la mezcla seca (sobre todo el cemento) se disperse a la hora de realizar la proyección.

SISTEMA DE PROYECCIÓN POR VÍA SECA

El sistema de proyección por vía seca consta de una serie de fases y requiere la utilización de una serie de equipos especializados. Las diferentes fases que conforman este sistema son las siguientes.



Figura 1.- Equipo Aliva 246. Esquema de funcionamiento

1º El cemento y los áridos se mezclan adecuadamente hasta conseguir una perfecta homogeneidad de la mezcla. Lo normal es utilizar un cemento Portland tipo I 42.5 R / I 52.5 R aunque en ocasiones se emplean cementos especiales de otro tipo, junto con diferentes clases de áridos (artificiales o naturales, de río o machaqueo).

2º La mezcla de cemento/áridos en seco se introduce en la máquina de proyección a través de la tolva de alimentación.

3º La mezcla entra en la manguera de transporte mediante una rueda o distribuidor (rotor). En esta fase se puede añadir el aditivo acelerante de fraguado en polvo a la mezcla para conseguir resistencias iniciales altas y favorecer la disminución de rebote.

4º La mezcla se transporta mediante aire comprimido hasta una boquilla o pistola especial. Esta boquilla va equipada con un distribuidor múltiple perforado a través del cual se pulveriza el agua a presión y/o el aditivo acelerante de fraguado líquido, que se mezcla con el conjunto cemento/áridos.

5º La mezcla ya húmeda se proyecta desde la boquilla sobre la superficie que debe gunitarse.

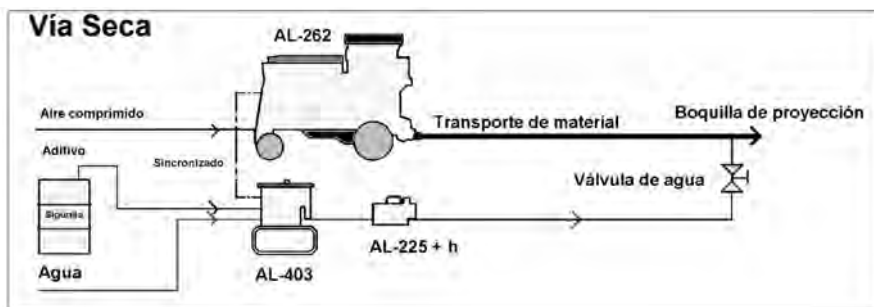


Figura 2.- Sistema de proyección por vía seca

Contenido de cemento

Para **100 litros de mezcla seca:**

-**28 kg de cemento** se añaden a 80 litros de árido

Para **1250 litros de mezcla seca:**

-**350 kg de cemento** se añaden a 1000 litros de árido

Ejemplo de mezcla diseñada para 1 m³ de mezcla seca

Hormigón proyectado por vía seca 0-8, CEM I 42.5, 350 kg por 1000 litros de áridos, 20 kg. de humo de sílice.

Cemento	80 kg
SikaFume® S92D	20 kg
0-4 mm con 4% de humedad inherente (55%)	~ 680 kg
4-8 mm con 2% de humedad inherente (45%)	~ 560 kg
Mezcla m³	~ 1540 kg*

* Debe comprobarse mediante ensayos en obra

Aditivos

Estabilizador de fraguado: **Sikatard 930**, dosificación 0,2 – 3,0%

Acelerantes:

■ Líquidos:

Sigunita-L53 AFS (libre de álcali y no tóxico): dosificación 3 - 6%

Sigunita-L22R/L-65, (Alternativa, alcalina): dosificación 3 - 5% / 8 – 10%

■ En polvo:

Sigunita 49 AF (libre de álcali y no tóxico): dosificación 4 – 7%

El hormigón proyectado de 1 m³ de mezcla seca proporciona el siguiente material sólido en la pared:

Acelerado con Sigunita-L53 AFS (Rebote 16-20%)	0.58-0.61 m ³
Acelerado con Sigunita-L65 (Rebote 20-25%)	0.55-0.58 m ³
Contenido de cemento en el hormigón proyectado en la pared	~ 450-460 kg/m ³

SISTEMA DE PROYECCIÓN POR VÍA HÚMEDA

La gunita posee propiedades específicas que se manifiestan especialmente a través de la naturaleza del método de colocación. La gunita proyectada por vía seca posee estas propiedades, mientras que en la gunita proyectada por vía húmeda se consiguen morteros y hormigones de propiedades equivalentes con técnicas de dosificación y aditivos.

Las máquinas de proyección por vía húmeda existentes en el mercado pueden ser de dos tipos: **Flujo diluido** y **Flujo denso**, (transporte por aire comprimido o transporte por bombeo respectivamente). Dichas máquinas proporcionan unos elevados rendimientos, similares en todos los casos a las ofrecidas por las máquinas de vía seca.

El sistema más utilizado en la actualidad es el método de proyección por vía húmeda y flujo denso. Dichas máquinas se limitan a un bombeo de la mezcla de hormigón a través de mangueras especiales hasta una boquilla de proyección en la cual se le incorpora el aire comprimido y el aditivo acelerante de fraguado, obteniéndose así un mortero u hormigón con una compactación suficiente. Con el empleo de este sistema de proyección, y los recientes desarrollos de aditivos superplastificantes, aditivos acelerantes, maquinaria, bombas dosificadoras, etc., se ha conseguido un sistema de altas prestaciones en cuanto a rendimientos, mínima formación de polvo y de rebote de proyección, así como un mantenimiento constante de la relación agua/cemento.

El sistema de proyección por vía húmeda requiere de una serie de equipos especializados, y consta de las siguientes fases:

1º El cemento, los áridos, el agua y los aditivos y adiciones se mezclan en la planta de hormigón adecuadamente hasta conseguir una perfecta homogeneidad de la mezcla resultante. Lo normal es utilizar un cemento Portland tipo I 42.5 R / I 52.5 R aunque en ocasiones se emplean cementos especiales de otro tipo, junto con diferentes clases de áridos (artificiales o naturales, de río o machaqueo). Además, es conveniente estudiar el cono de salida del hormigón así como el tiempo de transporte para conseguir en el momento de la alimentación a la máquina una plasticidad mantenida durante toda la operación (Conos 12-15 cm). Se suelen aditivar superplastificantes o estabilizadores, según las propiedades requeridas.

2º La mezcla húmeda de cemento/áridos/agua se introduce en la tolva de alimentación de la máquina de proyección.

3º La mezcla entra en la manguera de transporte mediante una rueda o distribuidor (rotor) (**Flujo diluido**), o en los pistones de la bomba (**Flujo denso**).

4º La mezcla se transporta mediante aire comprimido (flujo diluido) o por bombeo (flujo denso) hasta la boquilla de proyección. Los aditivos acelerantes de fraguado líquidos se adicionan en dicha boquilla de proyección, con el fin de conseguir resistencias iniciales altas y favorecer la disminución del rebote de proyección. La boquilla va equipada con un distribuidor de aire, para ayudar a la proyección.

5º La mezcla se proyecta desde la boquilla sobre la superficie que debe guni-tarse.

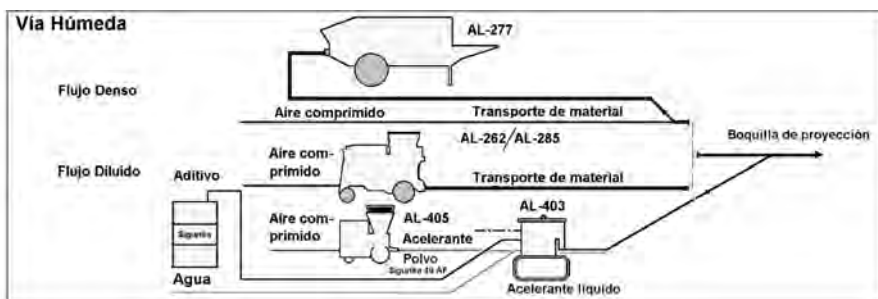


Figura 3.- Sistema de proyección por vía húmeda

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

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

Cemento	425 kg	135 l
Sika Fume® S.92 D	20 kg	9 l
Áridos		
0-4 mm con 4% de humedad inherente (55%)	967 kg	358
4-8 mm con 2% de humedad inherente (45%)	791 kg	293 l
Agua de amasado (a/congl. = 0.48)	155 kg	155 l
Burbujas de aire (4.5%)		45 l
Fibras de acero	40 kg	5 l
Hormigón proyectado		1000 l
Peso de la unidad por m³		2398 kg

Aditivos

Reductor de agua: **Sika ViscoCrete/Sikament T-1405**

Acelerantes:

Sigunita-L53 AFS (libre de álcali y no tóxico): dosificación 3-5%

Sigunita-L-22R (aluminato): dosificación 3-5%

Estabilizador de fraguado: **SiKatard® 930**, dosificación 0,2-3,0%

1 m³ de hormigón proyectado aplicado proporciona el siguiente material sólido en la pared:

Acelerado con Sigunita-L53 AFS	0.90-0.94 m ³
Acelerado con Sigunita-L22R (Rebote 10-15%)	0.85-0.90 m ³
Contenido de cemento en el hormigón proyectado en la pared	450-470 kg/m ³
Contenido de fibra de acero en el hormigón proyectado en la pared	30-36 kg/m ³

SISTEMA DE PROYECCIÓN POR VÍA SEMIHÚMEDA

Este sistema, idéntico en sus primeras fases al sistema de proyección por vía seca, únicamente se diferencia de él en que la adición del agua se efectúa a una distancia de 4-5 m de la boquilla de proyección, mejorándose así las propiedades de la mezcla al llegar a la boquilla de la que saldrá el mortero u hormigón proyectado. Otra de las ventajas de este sistema es que evita el polvo resultante de la proyección por vía seca, así como la pérdida de cemento de la mezcla al salir de la boquilla. También se puede considerar que el agua añadida se incorpora perfectamente durante esos 4-5 m a la mezcla, haciéndola más homogénea y lo que es más importante, manteniendo una relación agua/cemento adecuada.

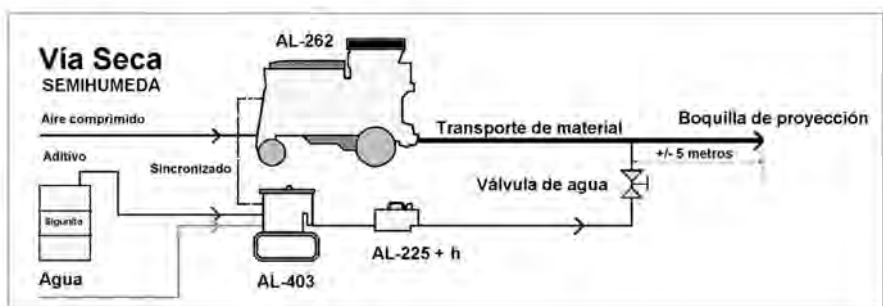


Figura 4.- Sistema de proyección por vía semihúmeda

CURVAS GRANULOMÉTRICAS CON FRACCIONES INDIVIDUALES DE ÁRIDOS

Las curvas granulométricas **0-4, 0-8, 0-12, 0-15, 0-20 y 0-25** utilizadas por **Sika** para determinar la composición de los áridos se han obtenido a partir de las normas que reflejan un compendio amplio basado en la experiencia de trabajos ejecutados durante un periodo de muchos años:

- **UNE 83.607-94**
- **ASTM C 3**
- **BS 882** (Normas inglesas)
- **A.C.I.** (Publicación SP-14)
- Curvas granulométricas de **LINDER**
- Curvas granulométricas de **DRÖGSLER**

Las curvas para vía seca y vía húmeda **0-12** son las más utilizadas actualmente para la confección de hormigones proyectados y se reflejan en las figuras siguientes:

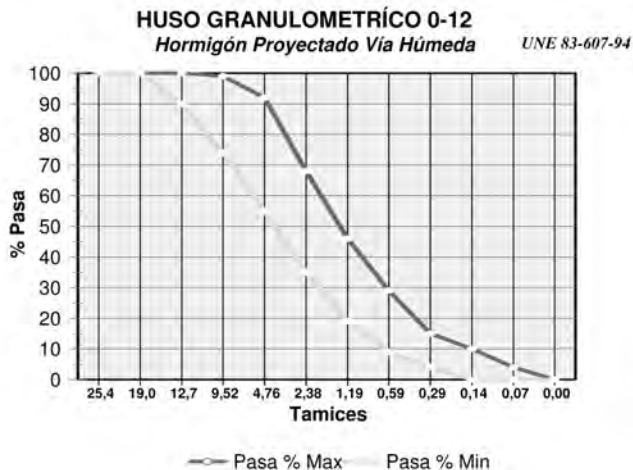
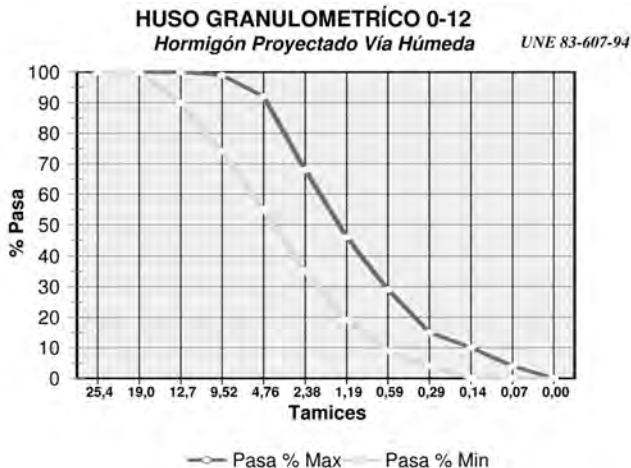
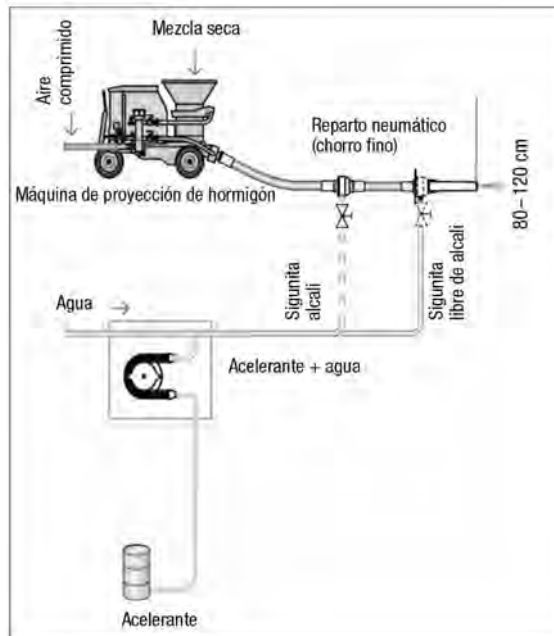


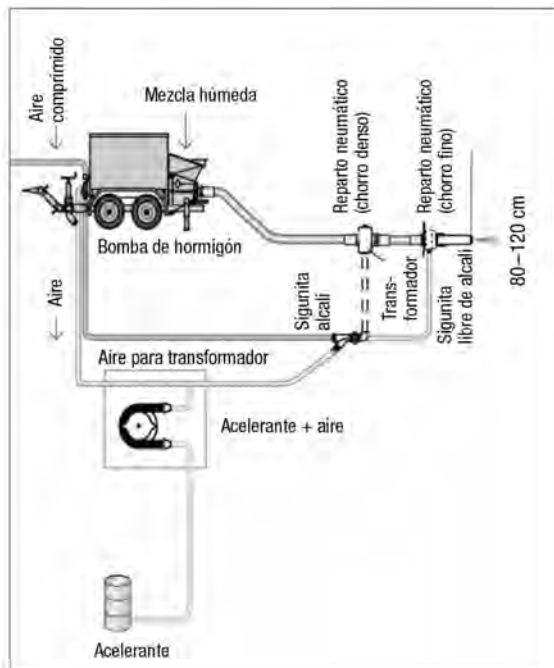
Figura 5.- Huso granulométrico 0-12 para hormigón proyectado por vía húmeda



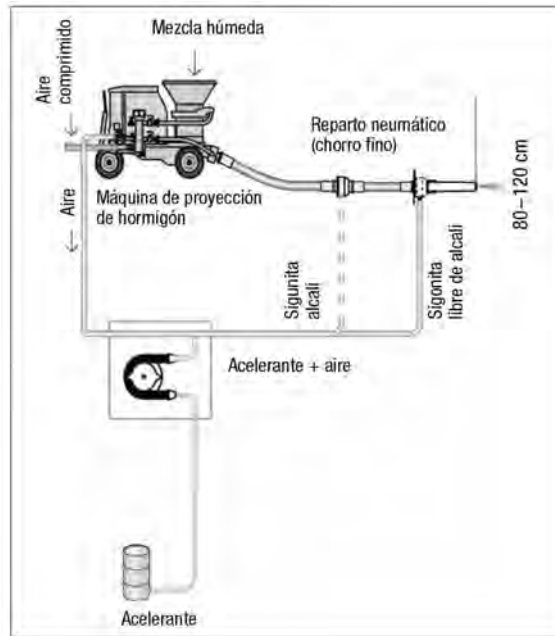
Proyección por vía seca



Proyección por vía húmeda de flujo denso



Proyección por vía húmeda de flujo diluido



6.5. Ensayos del hormigón proyectado

Ensayos previos "in situ".

La composición del hormigón debe determinarse en el curso de ensayos, y en ellos debe estudiarse las propiedades exigidas. Dichos ensayos deben realizarse en la obra y con antelación al comienzo de la misma, empleando las instalaciones y los componentes del hormigón definitivos. La evaluación posterior dependerá del resultado de los ensayos individuales. Para la determinación de la composición del hormigón, la dosificación necesaria de cemento, los porcentajes de áridos y de aditivo acelerante de fraguado, deberán ensayarse diferentes mezclas. Además, se deberá ensayar un hormigón de igual composición sin aditivo acelerante (hormigón patrón) con objeto de determinar la caída de resistencias. Este hormigón testigo se utilizará también para comprobar la premezcla en las condiciones de la obra. Debido a la inevitable dispersión de resultados en el hormigón proyectado, el diseño de la mezcla debe prever el producir un hormigón de resistencia superior a la especificada



**Foto. Artesas de ensayo de hormigón proyectado.
Obtención de testigos**

En la práctica, para preparar un hormigón proyectado con un tamaño máximo entre 8 y 15 mm, el contenido de cemento debe ser de 360 a 450 kg/m³ (sin tener en cuenta el rebote). Si se reduce el contenido de cemento la adherencia del hormigón al soporte se reducirá notablemente.

Ensayos de control de calidad. Por medio de los ensayos de control de calidad durante los trabajos de ejecución, se debe verificar que los testigos (preparados, curados y almacenados según UNE 83.602 y 83.605), de hormigón proyectado alcancen las propiedades exigidas. Se recomienda llevar un control de calidad periódico de las granulometrías de los áridos, contenido de cemento y resistencias a compresión.

Ensayos de control del hormigón endurecido. Por medio de los ensayos de endurecimiento se examina in situ el hormigón y sus propiedades características. A tal efecto, se han de realizar ensayos en el hormigón “joven” así como sobre testigos extraídos. Los testigos extraídos según UNE 83.602, deben serlo a su debido tiempo y lo más cercano posible al momento del ensayo.

Métodos de ensayo. La resistencia a compresión del hormigón “joven” se estudia por métodos indirectos (curvas de calibración) basadas en ensayos de endurecimiento. Dichos métodos facilitan medidas indirectas de la resistencia, derivadas de curvas de calibración. Por ello, deberá disponerse de las curvas de calibrado para cada tipo de hormigón que se vaya a ensayar. Cualquier cambio en la composición del hormigón provocará efectos variables en función del método de ensayo que se trate.



Foto. Ensayo UNE 83.603



Foto 3.- Ensayo UNE 83.604

Resistencia a la penetración. En este ensayo, se mide la fuerza requerida para empujar una aguja de dimensiones definidas dentro del hormigón proyectado, empleándose un penetrómetro de aguja. El ensayo se describe en la norma UNE 83.603.

Penetración-extracción de pernos. Se colocan unos pernos dentro del hormigón proyectado para extraerlos posteriormente y medir la fuerza de extracción al arrancamiento. El parámetro para medir la resistencia es la relación entre la fuerza de extracción y la profundidad de penetración del perno. Este procedimiento está en desuso por las dificultades de colocación.

Resistencia al arrancamiento. Se colocan elementos compuestos de mango y pasador, proyectándose sobre ellos el hormigón; posteriormente son extraídos para medir la resistencia a cortante, según norma UNE 83.604, del material proyectado.

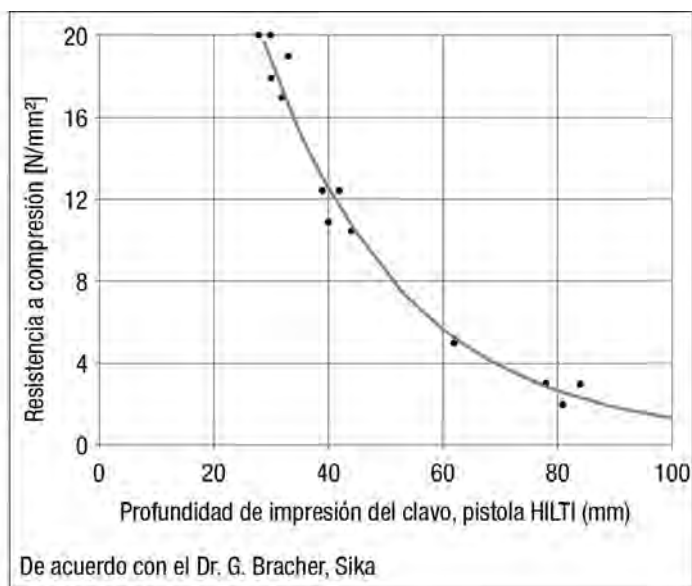
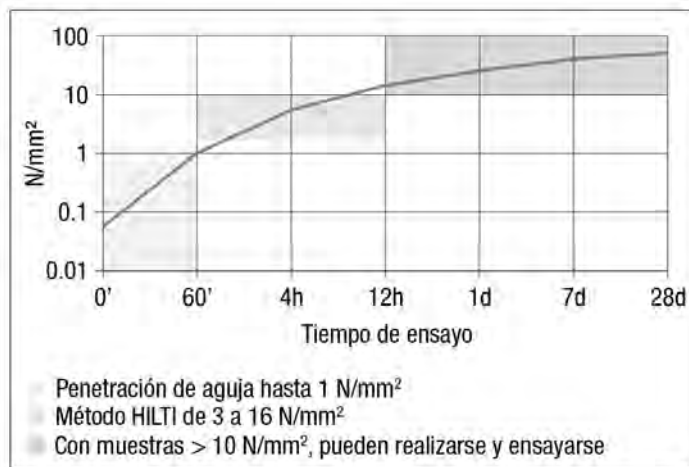
Ensayos directos. Las probetas empleadas para este propósito, son probetas testigo de dimensión apropiada, extraídas del hormigón proyectado, tomadas in situ (al azar en la estructura) o bien en paneles de ensayo proyectados para este fin. Las condiciones de realización de las muestras, curado, conservación, corte y rotura están desarrolladas en las UNE 83.602 y UNE 83.605. Para determinar la resistencia a compresión se han de ensayar, al menos, tres testigos por ensayo. Por la experiencia acumulada en la realización de hormigones proyectados por vía húmeda, se recomienda principalmente que el diámetro de los testigos sea como mínimo de 70 mm. Y que su altura sea lo más aproximado al doble del diámetro

Determinación de la resistencia inicial

Para determinar la resistencia inicial (en el rango 0 a 1 /mm²), se emplea un penetrómetro de aguja.

Los siguientes métodos se utilizan para ensayar la resistencia a compresión entre 2 y 10 N/mm²

- HILTI (Dr. Kusterle): determinación de la profundidad de impresión (I) y extracción (P) de clavos con máquina HILTI DX 450L (la carga y el tamaño de los clavos son estándar)
- Método HILTI simplificado (Dr. G. Bracher, Sika): determinación de la profundidad de impresión (I) de clavos con máquina HILTI DX 450L (carga y tamaño de los clavos estándar). La determinación de la resistencia inicial requerida con este método debe ajustarse ± 2 N/mm².



Desarrollo de la resistencia de 1 a x días

Por encima de 10 N/mm^2 pueden extraerse muestras de una probeta. El $\varnothing$ de las probetas ha de ser al menos 3 veces el tamaño max. del árido. La longitud de la probeta refrantada será el doble de su diámetro. La media se calcula de una serie de 5 muestras.

6.6. El sistema Sika de proyección vía húmeda

		Dosificación media recomendada
Superplastificante con largo tiempo de trabajabilidad	Sikament® T-1405 Sika ViscoCrete® SC-305	1,5%-2,5% 0,6%-1,5%
Acelerante libre de álcali no tóxico	Sigunita-L53 AFS	3,0%-6,0%
Acelerante alcalino	Sigunita L-22 R	3,0%-6,0%
Humo de sílice	SikaFume® S-92D Sikatell®	4%-10% 1%-3%

Reductor de agua con estabilizante

Retardador de fraguado y hormigón proyectado estabilizado con trabajabilidad óptima debido a la utilización de **SikaTard 930**.

Reductor de agua

- **SikaTard®**
- **Sika Viscocrete®/Sikament®**

Los reductores de agua para el hormigón proyectado difieren de los reductores de agua tradicionales. Están sujetos a los siguientes requisitos adicionales:

- Buena bombeabilidad con baja relación a/c
- Largo tiempo de trabajabilidad
- Buena combinación con el acelerador seleccionado para asegurar el desarrollo de la resistencia.

Acelerador de fraguado

Sigunita-L53 AFS	Acelerante libre de álcali para una resistencia inicial y final máxima
Sigunita-L22R	Acelerante alcalino

Humo de sílice

El SiO_2 en el humo de sílice reacciona con el hidróxido de calcio para formar silicato cálcico hidratado adicional. Esto hace a la matriz del cemento más densa, más dura y más resistente. Los requisitos actuales del hormigón proyectado, como la estanqueidad y la resistencia a sulfatos, no son fácilmente alcanzables sin la adición de humo de sílice.

6.7. Hormigón proyectado reforzado con fibra de acero/ polimérica

Definición

El hormigón proyectado reforzado con fibra de acero / polimérica consiste en cemento, áridos, agua y acero. Al usar y añadir fibras de acero, el hormigón proyectado se refuerza homogéneamente.

Razones para utilizar el hormigón proyectado reforzado con fibra de acero/ polimérica

- Reducción de costes por instalación del refuerzo de malla de acero
- Reducción en asentamiento debido a mayores resistencias iniciales
- Eliminación de sombras de proyección cuando se proyecta sobre malla de refuerzo
- Debido a su homogeneidad, el hormigón proyectado reforzado con fibra de acero puede soportar fuerzas de varios tipos en varias direcciones en cualquier punto de su sección transversal.

Diseño de mezcla recomendado por Sika para proyección por vía húmeda, en hormigón proyectado reforzado con fibra de acero/ polimérica

■ Granulometría	0-8 mm
■ Contenido de cemento	425-450 kg/m ³
■ Sika Fume®	mín. 15 kg/m ³
■ SikaTard®	1.2%
■ Sika Viscocrete®	1%
■ Sikamen®	1,5-1,8%
■ Sika Pump®	0.5%
■ Sigunita-L53 AFS	3-6%
■ Fibra de acero	40-50 kg/m ³ ó
■ Sikafiber® T	4-8 kg/m ³

Notas adicionales:

- El contenido de cemento puede tener que aumentarse ya que el contenido de finos del hormigón proyectado reforzado con fibra de acero debe ser mayor que en un hormigón proyectado por vía húmeda estándar, para anclar las fibras.
- Añadir humo de sílice ayuda a conseguir los valores requeridos del hormigón proyectado ya que también mejora el anclaje de las fibras.
- El SikaPump mejora considerablemente la bombeabilidad

- El diámetro mínimo de la manguera debe ser de al menos el doble que la longitud máxima de la fibra.
- El diámetro recomendado de la boquilla de la bomba es de mínimo 65 mm.
- La pérdida de fibra en el hormigón proyectado por vía húmeda es del 10-20%
- En la vía seca, debe asumirse una pérdida de fibra del 50% o más. La capacidad de relleno de la máquina puede también ser peor, resultando en una capacidad de producción menor y un mayor consumo de acelerante.
- Las probetas del ensayo de trabajabilidad del hormigón proyectado reforzado con fibras de acero son placas de 10 cm de espesor y 60 x 60 cm. de lado.

6.8. Resistencia a sulfatos del hormigón proyectado

Un hormigón proyectado con un contenido de cemento estándar de 400-450 kg/m³ tiene una alta resistencia a sulfatos cuando utiliza:

- Un cemento HS combinado con un reductor de agua y **Sika Pump** o
- Un cemento Portland estándar combinado con un reductor de agua y **Sika Fume** añadido a >5% o
- Un CEM III-S

Requisito: $a/c < 0.50$

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

■ Granulometría	0-8 mm
■ Contenido de cemento	25 kg/m ³
■ Sika Fume®	30 kg/m ³
■ SikaTard®	1.6%
■ Sika Viscocrete®	1,2 %
■ Sikament®	1.6%
■ Sika Pump®	0.5%
■ Sigunita-L53 AFS	3-5%

6.9. Hormigón Proyectado con Resistencia al Fuego mejorada

Un hormigón proyectado tiene una resistencia al fuego mejorada si contiene fibras de polipropileno. En caso de fuego, las fibras de polipropileno se funden y dejan camino libre a la difusión del vapor, previniendo la destrucción de la matriz del cemento debido a la presión interna del vapor. Son esenciales unos áridos adecuados para esta mayor resistencia al fuego. Su idoneidad debe verificarse mediante ensayos previos

■ Granulometría	0-8 mm
■ Tipo de cemento	CEM III/A-S
■ Contenido de cemento	425 kg/m ³
■ SikaTard®	1.5%
■ Sika Viscocrete®	1.2%
■ Sikament®	1,6%
■ SikaPump®	0.5%
■ Sigunita-L53 AFS	3-6%
■ Sikafiber® M 12	2.7 kg/m ³ , dependiendo del tipo

7.- Desencofrantes



La calidad del acabado del hormigón depende de varios factores como: la composición del hormigón, el encofrado, la compactación, la temperatura, el curado y el desencofrante utilizado.

A continuación se describe el efecto del desencofrante y se expone una guía para la correcta elección y utilización del mismo.

7.1. Composición de los desencofrantes

Los desencofrantes pueden estar constituidos por hasta tres grupos de sustancias:

Agentes formadores de película

Son sustancias responsables del efecto “desencofrante”; como son los aceites naturales o sintéticos y también las parafinas.

Aditivos

Proporcionan efectos adicionales o intensificados. Incluyen potenciadores del desencofrado, agentes humectantes, inhibidores de la corrosión, conservantes y emulsionantes. La mayoría de los desencofrantes empleados actualmente contienen también otros aditivos que reaccionan químicamente con el hormigón, causando una interrupción del fraguado intencionada. Es entonces más sencillo desencofrar el hormigón y el resultado es un producto con un uso más general.

Disolventes

Actúan como reductores de la viscosidad de los agentes formadores de película y los aditivos. Su propósito es ajustar la consistencia, el espesor de capa, tiempo de secado, etc.

7.2. Requerimientos de los desencofrantes

Los desencofrantes deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Un desencofrado limpio y fácil del hormigón (sin adherencia del hormigón ni daños en el encofrado)
- Superficies del hormigón visualmente perfectas (piel de la superficie impermeable, color uniforme, sin burbujas de aire).
- Sin efectos adversos en la calidad de la superficie del hormigón (sin una excesiva interrupción del fraguado, sin problemas para posteriores trabajos de aplicación de pinturas o recubrimientos)
- Protección del encofrado contra la corrosión y el envejecimiento prematuro
- Fácil aplicación

Otros requerimiento importantes, especialmente para la industria del prefabricado, son la resistencia a las altas temperaturas cuando se emplean sistemas de curado térmico o al vapor; evitar el desarrollo de olores molestos...etc. Para el uso en obra, un requisito importante es la resistencia a la lluvia, y la posibilidad de ser transitable una vez aplicado.

7.3. Selección del desencofrante

El tipo de encofrado es el principal criterio para la selección del desencofrante más adecuado. En el siguiente gráfico se proporciona una relación de los distintos tipos.

7.3.1. Desencofrantes para encofrados absorbentes

Los encofrados de madera que no han sido utilizados previamente, tienen una capacidad de absorción muy alta.

Si el encofrado no se prepara correctamente, se produce una pérdida de agua de la superficie del hormigón en contacto con el encofrado.

El resultado será la adherencia del hormigón al encofrado y futura formación de polvo en la superficie del hormigón endurecido debido a una falta de hidratación del cemento.

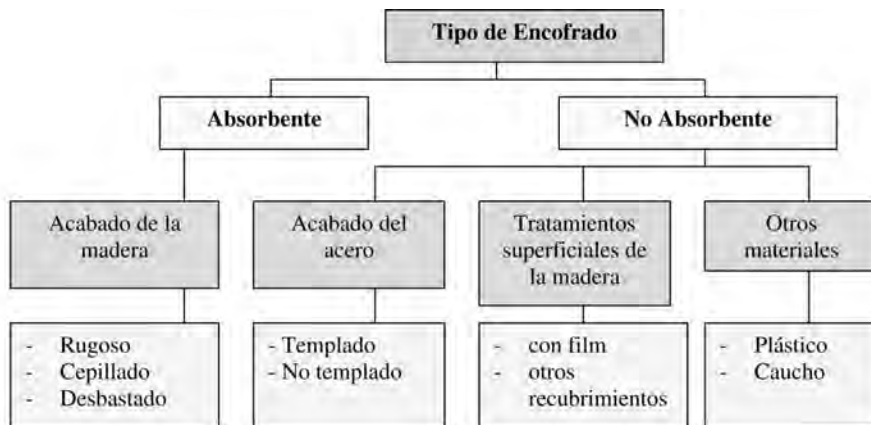
La capa de hormigón cercana a la superficie también puede verse "afectada" por algunos compuestos del encofrado (por ejemplo azúcares de la madera). Esto provocará formación de polvo, resistencias bajas o decoloración, y ocurre principalmente cuando los encofrados de madera han estado almacenados sin proteger en el exterior y expuestos a la luz directa del sol.

Los efectos descritos pueden ser muy pronunciados cuando el encofrado se usa por primera vez pero decrecen gradualmente con el uso.

Para minimizar estos problemas con los encofrados de madera nuevos, se ha desarrollado un método sencillo que se ha probado eficazmente en la práctica. Consiste en tratar el encofrado de madera nuevo, antes de ser utilizado por primera vez, con un desencofrante y recubrirlo más tarde con pasta de cemento o una lechada espesa. Esta pasta de cemento endurecida se retira después con un cepillo.

Tras este envejecimiento artificial, se aplica un desencofrante con propiedades de sellado. Para este fin se utilizan normalmente aceites de desencofrado con bajo contenido de disolventes o sin disolvente y poco activos químicamente.

Cuando el encofrado de madera se ha utilizado varias veces, su capacidad de absorción se reduce gradualmente debido al aumento del sellado de sus superficies ya que los poros se rellenan con los restos de la pasta de cemento y de los desencofrantes. Por lo tanto, los encofrados de madera utilizados muchas veces solo necesitan una capa fina de desencofrante. También pueden utilizarse en estos encofrados desencofrantes que contengan disolventes o emulsionantes.



7.3.2. Desencofrantes para encofrados no absorbentes

Los encofrados de resinas sintéticas, plástico o acero, no son absorbentes y por lo tanto no pueden absorber el desencofrante, el agua o la pasta de cemento.

Con todos estos materiales es extremadamente importante aplicar una capa fina, continua y uniforme de desencofrante evitando las acumulaciones de producto. Estas acumulaciones provocan un aumento de la formación de burbujas y también pueden causar decoloración y formación de polvo en la superficie del hormigón.

Para obtener una capa más fina y lisa de desencofrante en las superficies del encofrado, se utilizan normalmente aceites de baja viscosidad con aditivos, o con disolventes en el caso del hormigón visto. Estos aditivos proporcionan un mejor desencofrado (por ejemplo con ácidos grasos o agentes humectantes) y una mayor adherencia de la capa de desencofrante a las superficies lisas y verticales del encofrado.

Esto es particularmente importante cuando se trata de:

- encofrados con paredes muy altas;
- en el vertido del hormigón desde alturas considerables que causen abrasión mecánica en las superficies del encofrado, o
- en los efectos de la intemperie en tiempos de espera largos entre la aplicación del desencofrante y la colocación del hormigón.

Los **encofrados de acero** sometidos a tratamiento térmico suponen una aplicación especial. La capa de desencofrante aplicada sobre el encofrado no

debe evaporarse debido al calor, y el desencofrante debe formularse de tal forma que no puede producirse una reacción química fuerte (saponificación) entre el hormigón y los componentes del desencofrante durante el tratamiento de calor.

Los **encofrados de gomas especiales o silicona** no siempre requieren la aplicación de desencofrante, al menos cuando son nuevos, ya que el hormigón no se adhiere a las superficies lisas e hidrofóbicas del encofrado. Si fuera necesaria la aplicación de desencofrante debido a la textura o envejecimiento del encofrado, deberán utilizarse productos que contengan disolventes o emulsiones especiales dependiendo de la textura.

Se recomienda la aplicación de una capa fina para prevenir la acumulación de desencofrante en las partes inferiores del encofrado, y llevar a cabo un ensayo de idoneidad para asegurar que los desencofrantes utilizados no provoquen la degradación del encofrado.

7.4. Modo de empleo

Existen algunas reglas generales para el empleo de desencofrantes, independientemente de la información específica de los diferentes productos.

7.4.1. Aplicación del desencofrante

La regla más importante es aplicar la cantidad mínima necesaria y de la forma más uniforme posible.

El método de aplicación de un desencofrante depende principalmente de la consistencia del producto:

- Los productos con baja viscosidad (líquidos) deben aplicarse preferentemente con pulverizadores de baja presión (presión de 4 a 5 bares). Se debe utilizar una boquilla plana, cuyo tamaño dependerá del contenido de disolvente del desencofrante, combinado con una válvula de control o filtro para prevenir un exceso de aplicación con el producto.

Sobre encofrados lisos, el espesor correcto y uniforme del desencofrante puede comprobarse con el “test del dedo”. No deben formarse marcas de dedo visibles o acumulaciones de desencofrante. El exceso de producto debe eliminarse de los encofrados horizontales con un trapo o esponja. Si se aplica demasiado material sobre los encofrados verticales, las acumulaciones de desencofrante serán visibles en la base del encofrado. Estas deben eliminarse con un trapo o esponja.

- Los desencofrantes de alta viscosidad (por ejemplo las pastas de cera) se aplican con un trapo, esponja, brocha, etc. Una vez más, debe aplicarse únicamente la cantidad mínima necesaria y lo más uniformemente posible.

Las condiciones atmosféricas juegan un papel importante en la utilización de los desencofrantes:

- No deben utilizarse desencofrantes en tiempo lluvioso o con presencia de agua en el encofrado, para evitar una insuficiente adherencia.
- Los encofrados absorbentes pueden requerir mayor cantidad de desencofrante en tiempo caluroso y seco.
- En tiempo de heladas se debe evitar la congelación de los desencofran-

tes a base de emulsiones, ya que la emulsión puede romper cuando se descongela.



7.4.2. Tiempo de espera antes de hormigonar

No es posible establecer un tiempo mínimo de espera específico entre la aplicación del desencofrante y el hormigonado, ya que esto depende de muchos factores tales como el tipo de encofrado, la temperatura, las condiciones atmosféricas y el tipo de desencofrante.

El tiempo de secado correcto de los productos que contienen disolventes y de las emulsiones base agua siempre debe respetarse, de otro modo, no se conseguirá el efecto de desencofrado requerido.

El índice de evaporación varía dependiendo del tipo de disolvente. Los tiempos de espera para cada producto deben obtenerse de la información facilitada en la Hoja de Datos de Producto.

El tipo de exposición (tráfico, intemperie) de la capa de desencofrante y un tiempo demasiado largo entre la aplicación y el hormigonado pueden reducir el efecto del desencofrante. Con los encofrados absorbentes esto puede ocurrir tras un periodo de varios días. El caso de los encofrados no absorbentes

es menos crítico y generalmente se mantiene el efecto del desencofrante durante varias semanas, dependiendo de las condiciones ambientales.

7.4.3. El hormigonado

En general, al hormigonar es importante asegurarse de que el desencofrante sufre la menor tensión mecánica posible. Si puede evitarse, no debe verterse el hormigón diagonalmente contra la superficie vertical del encofrado para prevenir la abrasión localizada del desencofrante.

El vertido deberá mantenerse alejado del encofrado tanto como sea posible utilizando tuberías, etc.

Al compactar, debe asegurarse que los vibradores no se acercan demasiado a la piel del encofrado o la tocan. Si lo hacen, ejercen tensiones en la superficie del encofrado que tienen como resultado la abrasión del desencofrante y produciendo posteriormente adherencia localizada del hormigón.

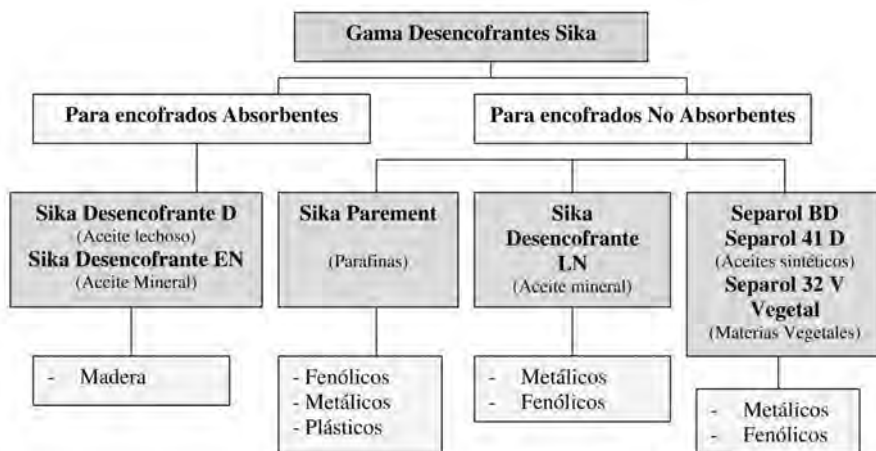
Resumen

La industria del hormigón necesita los desencofrantes.

Cuando se seleccionan y utilizan correctamente con el encofrado adecuado y el hormigón de la calidad necesaria, contribuyen a conseguir superficies de hormigón duraderas y visualmente uniformes.

Un desencofrante inapropiado, unido a materias primas y composición del hormigón inadecuadas causará defectos y fallos en la superficie del hormigón.

La gama de desencofrantes Sika ofrece soluciones para todos los usos.



8.- Curado



8.1 General

Para satisfacer los requisitos de durabilidad, un hormigón no solo debe ser “resistente” sino también impermeable, sobre todo en las zonas próximas a la superficie. Cuanto menor sea la porosidad y más densa la pasta de cemento endurecida, mayor resistencia presentará el hormigón ante los ataques externos. Para lograr esto en el hormigón endurecido, deben tomarse una serie de medidas en el hormigón fresco, especialmente en lo relativo a:

- Dsecación prematura debido al viento, el sol, baja humedad, etc.
- Temperaturas extremas (frío, calor) y cambios bruscos de temperatura.
- Lluvia
- Choque físico y térmico
- Ataques químicos
- Tensión mecánica

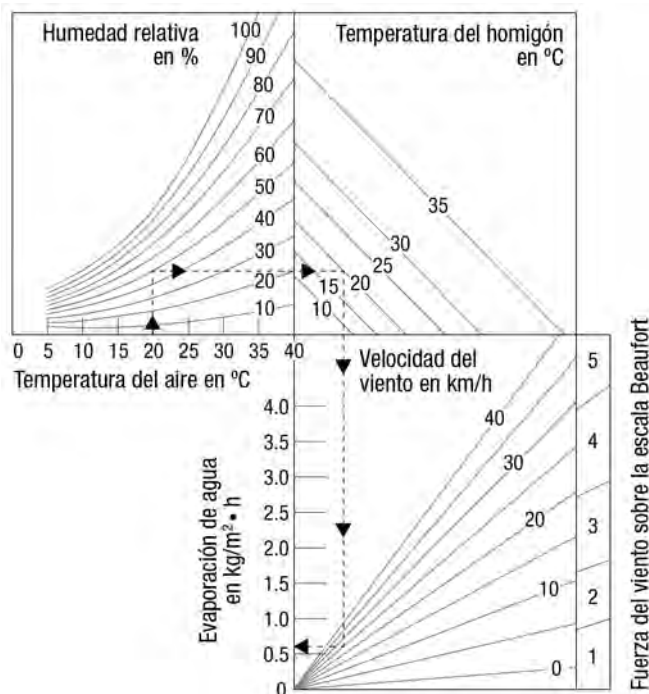
La protección contra la desecación prematura es necesaria para que el desarrollo de las resistencias del hormigón no se vea afectado por la evaporación de agua. Las consecuencias de una pérdida demasiado pronta de agua son:

- Reducción de la resistencia en las zonas próximas a la superficie
- Tendencia a formación de polvo
- Mayor permeabilidad al agua
- Menor resistencia a la intemperie
- Menor resistencia a los ataques químicos
- Aparición de fisuras por retracción a edades tempranas
- Aumento de riesgo de todas las formas de fisuración por retracción

El gráfico posterior ilustra la cantidad de evaporación de agua por m^3 de hormigón bajo diferentes condiciones. Como puede observarse en la figura (marcas de flecha), con temperatura ambiente y del hormigón de 20°C , humedad relativa del aire del 50% y velocidad media del viento de 20 km/h , pueden evaporarse 0.6 litros de agua a la hora de 1 m^2 de la superficie del hormigón.

A temperaturas del hormigón superiores a la temperatura ambiental, y con diferencias de temperatura cada vez mayores, el índice de evaporación de agua aumenta significativamente. En las mismas condiciones, una temperatura del hormigón de 25° C resultaría en un 50% más de evaporación, por ejemplo 0.9 litros por m² a la hora.

Efecto sobre la evaporación de la humedad relativa del aire, la temperatura ambiental y del hormigón así como de la velocidad del viento (según la VDZ [Asociación Alemana de Fabricantes de Cemento]).



Un hormigón fresco con un contenido de agua de 180 litros por m³ contiene 1.8 litros de agua por m² en un espesor de capa de 1 cm. El índice de evaporación de 0.6 litros por m² a la hora significa que el hormigón pierde una cantidad de agua equivalente al contenido total de agua de capas de hormigón de 1 cm de espesor en 3 horas y de 3 cm de espesor en 9 horas. Este espesor sobrepasa el mínimo exigido para estructuras externas según norma DIN 1045. El “recambio” del agua evaporada desde las zonas inferiores del hormigón ocurre solo hasta ciertos límites. Los efectos negativos sobre la resistencia, resistencia al envejecimiento e impermeabilidad de las capas próximas a la superficie es considerable.

Las temperaturas extremas hacen que el hormigón se deforme: se expande con el calor y se contrae con el frío. Esta deformación causa stress que puede producir fisuración, así como retracción. Es importante, pues, prevenir las diferencias grandes de temperatura (> 15 K) entre el núcleo y la superficie en el hormigón fresco y nuevo y evitar la exposición a cambios bruscos de temperatura especialmente del hormigón endurecido.

El stress mecánico como las oscilaciones violentas durante el fraguado y la fase inicial de endurecimiento pueden dañar el hormigón si su estructura está suelta. La lluvia y las corrientes de agua a menudo provocan daños permanentes en el hormigón fresco o nuevo. Los daños durante los trabajos posteriores pueden evitarse con la protección de los bordes y las superficies del hormigón y retardando el desencofrado.

Los ataques químicos por sustancias provenientes del agua, el suelo o el aire pueden dañar el hormigón o hacerlo inservible para su propósito, incluso si se ha producido con la fórmula adecuada y la instalación correcta, si estos ataques ocurren demasiado pronto. Estas sustancias deben mantenerse lejos del hormigón tanto tiempo como sea posible, por ejemplo mediante armaduras, drenajes o cubriendo el hormigón.

8.2 Métodos de curado

Las medidas de protección contra el secado prematuro son:

- Aplicar un líquido de curado (por ejemplo **Sika® Antisol-E; Antisol Blanco**)
- Prolongar los plazos de desencofrado
- Cubrir con láminas de plástico impermeables
- Proteger con materiales que retengan agua
- Pulverizar continuamente con agua, manteniendo el hormigón anegado
- Una combinación de todos estos métodos

Los líquidos de curado como nuestra gama **Sika® Antisol** pueden rociarse sobre la superficie del hormigón con herramientas simples (por ejemplo, pulverizadores de baja presión, de uso en jardines). Deben ser aplicados en toda la superficie tan pronto como sea posible, sobre las caras del hormigón expuesto inmediatamente cuando la superficie brillante del hormigón fresco se vuelve mate y en las superficies del hormigón encofrado inmediatamente después de desmoldar. Es siempre importante formar una membrana densa y aplicar la cantidad correcta (en g/m²) tal como se especifica y siguiendo las instrucciones de uso. En las superficies del hormigón verticales puede ser necesario realizar varias aplicaciones.

El **Sika® Antisol- E** tiene un color blanco lechoso cuando está fresco, permitiendo que los defectos de aplicaciones o irregularidades sean más fáciles de detectar. Cuando seca, forma una membrana protectora transparente.

Al prolongar los plazos de desencofrado, las superficies de los encofrados de madera deben permanecer húmedas y en el caso de encofrados de acero, las superficies deben protegerse del calor (por ejemplo, luz solar directa) y de los cambios bruscos de temperatura y de las heladas.

Cuando se utiliza el método consistente en cubrir con láminas de plástico impermeables las superficies del hormigón, estas deben solaparse sobre el hormigón fresco fijándose en los bordes (mediante, por ejemplo, tablas o pie-dras) para evitar la evaporación de agua.

La utilización de láminas de plástico está especialmente recomendada en el hormigón visto, ya que evitan la aparición de eflorescencias. Las láminas no

deben tocar la superficie del hormigón fresco. Hay que evitar así mismo el “efecto chimenea”.

Cuando se cubren las superficies de hormigón con materiales que retienen agua tales como arpilleras o esteras de paja, estos deben mantenerse permanentemente húmedos o, si es necesario, protegerlos de la pérdida rápida de agua con films de plástico.

La desecación prematura puede también evitarse manteniendo la superficie del hormigón continuamente húmeda, mojándola con agua. Alternar este mojado del hormigón y el secado puede provocar que el efecto de choque sufrido por el hormigón lleve a la fisuración del hormigón nuevo. Debe evitarse también mojar el hormigón con chorro de agua, ya que se corre el riesgo de fisuración si la superficie del hormigón se enfría debido a la temperatura más baja del agua y el desarrollo del calor latente del hormigón, especialmente en el hormigón en masa. Están especialmente indicadas las boquillas para pulverizar que se utilizan por ejemplo en los aspersores de jardines. Las superficies horizontales pueden curarse bajo agua cuando sea posible.

8.3 Medidas para el curado

Método	Medidas	Temperatura exterior en °C				
		Menos de	-3 a +5°C	5 a 10°C	10 a 25°C	Más de 25°C
Lámina/membrana de curado	Cubrir y/o rociar con la membrana de curado y mojar. Humedecer el encofrado de madera; proteger el acero del encofrado de la luz solar					X
	Cubrir y/o rociar con la membrana de curado			X	X	
	Cubrir y/o rociar con la membrana de curado y sellar para evitar la pérdida de calor; es recomendable usar un encofrado que proteja de la pérdida de calor, por ejemplo de madera.		x*			
	Cubrir y sellar contra la pérdida de calor; cubrir la zona de trabajo (tienda) o calentar; mantener el hormigón a una temperatura de +10°C durante al menos 3 días.	X*	X*			
Agua	Mantener la humedad mojando el hormigón ininterrumpidamente				X	

* Los periodos de curado y encofrado se alargan según el número de días con heladas; proteger el hormigón de la lluvia durante al menos 7 días.

Con temperaturas bajas no es suficiente simplemente prevenir la pérdida de agua en la superficie del hormigón. Se hace necesario además evitar el frío excesivo mediante medidas adicionales que eviten la pérdida de calor. Esto depende principalmente de las condiciones atmosféricas, del tipo de componentes del hormigón, sus dimensiones y del encofrado. El curado con agua es inviable en tiempo de heladas. En estos casos los recubrimientos térmicos como tablas, paja seca, esteras y láminas de plástico, son la única protección adecuada.

8.4. Duración del curado

El periodo de curado debe prolongarse hasta que las zonas cercanas a la superficie alcancen la resistencia estructural y la impermeabilidad necesarias para asegurar la durabilidad del hormigón y la protección contra la corrosión de las armaduras.

Este desarrollo de la resistencia está estrechamente ligado a la composición del hormigón, la temperatura del hormigón fresco, las condiciones ambientales y las dimensiones del hormigón. El tiempo de curado requerido se ve influenciado así mismo por estos factores.

Como parte del proceso de normativa Europea, la normativa relativa al curado está en proceso de preparación. El principio del borrador Europeo está incorporado en la E DIN 1045-3, estableciendo que el curado debe continuar hasta que se haya obtenido el 50% de la resistencia f_{ck} . Para definir el tiempo de curado necesario, el fabricante de hormigón debe facilitar información sobre el desarrollo de la resistencia del hormigón. Esta información se basa en los índices de resistencia a compresión media entre 2 y 28 días a 20°C y según esto el desarrollo de las resistencias se clasifica como rápido, medio, lento o muy lento. El periodo mínimo de curado que establece la E DIN 1045-3 se basa en estos índices de desarrollo de resistencias.

Recomendaciones para mejorar el curado del hormigón.

-
- Humedad relativa del aire $\geq 85\%$
 - Mantener en el encofrado
 - Cubrir con láminas impermeabilizantes
 - Cubrir con materiales que retengan agua
 - Mantener una película de agua sobre la superficie
 - Utilizar un agente de curado como **Antisol E** o **Antisol Blanco**
-

Aditivos de hormigón y medio ambiente

Los aditivos para hormigones son aditivos líquidos o en polvo. Éstos se agregan a la mezcla de hormigón en pequeñas cantidades para satisfacer requisitos específicos como:

- Aumentar la durabilidad.
- Mejorar la manejabilidad.
- Cambiar la configuración o endurecimiento de reacción del cemento.

La función de los aditivos es siempre mejorar el hormigón. En términos de cantidad, superplastificantes (reductores de agua de alto rango) y plastificantes (reductores de agua) en conjunto, representan alrededor del 80% de todos los aditivos utilizados hoy en día.

¿Qué cantidad de aditivos de hormigón se filtran, degradan o dejan humos?

Los superplastificantes deben ser no tóxicos, solubles en agua y biodegradables

Los ensayos sobre muestras de hormigón pulverizado muestran pequeñas cantidades de superplastificantes y la descomposición de sus productos son desechables en principio. Por lo tanto, la degradación de estos materiales es buena y no causan ninguna contaminación relevante en el agua. Incluso bajo las condiciones más extremas, pequeñas cantidades de carbono orgánico se degradan en el agua.

- Conclusión del test: El aire no está contaminado por superplastificantes.

En resumen: ¿Cómo favorecen los superplastificantes al medio ambiente?

Los aditivos para hormigones son apropiados para su aplicación y, usados correctamente, son inofensivos para el hombre, los animales y el medio ambiente.

Las ventajas técnicas de superplastificantes para los clientes y los profesionales de la construcción son mayores que las desventajas, siendo las emisiones controlables durante el uso. Los aditivos para hormigones merecen ser valorados como respetuosos con el medio ambiente porque apenas crean aire y terrenos contaminados y no contaminan las aguas subterráneas.

Ver las siguientes publicaciones:

- “Compatibilidad medioambiental de los Aditivos de Hormigón”
Informe de la Asociación Suiza de Fabricantes de Aditivos para hormigones (FSHBZ)
Julio 1995
- ANACAD Proyecto de la UE
Análisis y resultados de aditivos del hormigón en aguas residuales
Informe final BMG Engineering AG Zürich
Febrero 2000

Miembro de EFCA

Sika es un miembro de EFCA; Federación Europea de Fabricantes de Aditivos de Hormigón

Los aditivos de Sika se ajustan a la norma de calidad medioambiental EFCA



Sika - Su Socio Local con Presencia Global

Sika es una compañía globalmente activa en el negocio de las especialidades químicas para la construcción y para la industria. Está presente en más de 70 países, con centros de producción, de ventas y de apoyo técnico.

Sika es el líder global de mercado y tecnología en impermeabilización, sellado, pegado, refuerzo y protección tanto en edificación como en obra civil.

Sika posee más de 10.000 empleados en todo el mundo, por lo que se sitúa en una posición ideal para garantizar el éxito de sus clientes.



Sika SAU
Madrid 28108 - Alcobendas
P. I. Alcobendas
Carretera de Fuencarral, 72
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38

Se aplicarán nuestras condiciones generales de venta.

Se recomienda la consulta de las hojas de datos de los productos antes de realizar cualquier aplicación.



Diseño y producción en instalaciones de Alcobendas (Madrid)



RESPONSIBLE CARE
El Compromiso de la Industria Química
con el Desarrollo Sostenible



www.sika.es

info@es.sika.com

Innovation & Consistency | since 1910