



**mr**  
manual de referencia

INGENIERÍA CIVIL, TOPOGRAFÍA Y CONSTRUCCIÓN

# FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA DEL HORMIGÓN

Víctor Yepes Piqueras



INGENIERÍA CIVIL,  
TOPOGRAFÍA Y CONSTRUCCIÓN

Víctor Yepes Piqueras

# Fabricación y puesta en obra del hormigón

Colección *Manual de referencia* [http://tiny.cc/edUPV\\_MR](http://tiny.cc/edUPV_MR)

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita:

Yepes Piqueras, Víctor (2026). *Fabricación y puesta en obra del hormigón*. edUPV

© Víctor Yepes Piqueras

© 2026, edUPV

Venta: [www.lalibreria.upv.es](http://www.lalibreria.upv.es) / Ref.: 0441\_05\_01\_01

ISBN: 978-84-1396-418-8

Depósito Legal: V-2156-2026

Imprime: Global Label, S. L.

Si el lector detecta algún error en el libro o bien quiere contactar con los autores, puede enviar un correo a [edicion@editorial.upv.es](mailto:edicion@editorial.upv.es)

edUPV se compromete con la ecoimpresión y utiliza papeles de proveedores que cumplen con los estándares de sostenibilidad medioambiental <https://editorialupv.webs.upv.es/compromiso-medioambiental/>

La Editorial UPV autoriza la reproducción, traducción y difusión parcial de la presente publicación con fines científicos, educativos y de investigación que no sean comerciales ni de lucro, siempre que se identifique y se reconozca debidamente a la Editorial UPV, la publicación y los autores. La autorización para reproducir, difundir o traducir el presente estudio, o compilar o crear obras derivadas del mismo en cualquier forma, con fines comerciales/lucrativos o sin ánimo de lucro, deberá solicitarse por escrito al correo [edicion@editorial.upv.es](mailto:edicion@editorial.upv.es)

Impreso en España

# Índice

Agradecimientos .....	IX
Prólogo .....	XI
1. El hormigón y sus componentes .....	1
1.1. Cemento .....	4
1.2. Áridos .....	5
1.3. Agua .....	6
1.4. Aditivos .....	7
2. La fabricación de hormigones.....	9
2.1. La homogeneidad en la fabricación de hormigones .....	13
2.2. Dosificación del hormigón.....	16
2.2.1. Dosificación del cemento .....	19
2.2.2. Dosificación de los áridos.....	20
2.2.3. Dosificación del agua.....	23
2.2.4. Dosificación de los aditivos.....	28
2.2.5. Instalaciones de dosificación para la fabricación de hormigón .....	30
2.3. Amasado del hormigón .....	31
2.3.1. Velocidad del amasado .....	33
2.3.2. Duración del amasado .....	34

2.3.3.	Número de amasadas por hora .....	35
2.3.4.	Capacidad de carga o amasado.....	36
2.3.5.	Rendimiento de la mezcladora .....	36
2.3.6.	Orden de carga de los componentes del hormigón.....	38
2.3.7.	Energía de amasada.....	39
2.3.8.	Descarga de la amasada .....	40
2.4.	Cálculo de la temperatura de fabricación del hormigón .....	41
3.	Maquinaria para la preparación de hormigones.....	43
3.1.	Amasadoras de hormigón.....	45
3.1.1.	Mezcladoras discontinuas.....	46
3.1.2.	Mezcladoras de marcha continua.....	56
3.2.	Hormigoneras .....	59
3.2.1.	Hormigoneras de tambor basculante y eje inclinado .....	60
3.2.2.	Hormigoneras con inversión de marcha y eje horizontal .....	63
4.	Centrales de fabricación de hormigón.....	67
4.1.	Clasificación según la forma de almacenamiento de los áridos.....	69
4.1.1.	Planta de hormigonado de tipo radial.....	69
4.1.2.	Planta de hormigonado tipo torre .....	71
4.1.3.	Centrales de tolvas en línea.....	73
4.2.	Clasificación según la movilidad.....	75
4.2.1.	Central fija .....	75
4.2.2.	Central transportable .....	75
4.2.3.	Central móvil .....	76
4.3.	Centrales para la venta de hormigón .....	77
4.4.	Almacenamiento de áridos.....	78
4.4.1.	Muro de áridos en estrella .....	79
4.4.2.	Tolvas enterradas.....	80
4.4.3.	Tolvas de almacenamiento elevadas .....	81
4.4.4.	Scraper.....	82
4.4.5.	Alimentación de tolvas .....	84
4.5.	Almacenamiento y transporte del cemento.....	86
4.5.1.	Transporte del cemento.....	86
4.5.2.	Almacenamiento del cemento .....	90
5.	Transporte y vertido del hormigón.....	95
5.1.	Medios de transporte discontinuo.....	97
5.1.1.	Carretillas manuales o a motor para el transporte del hormigón .....	97
5.1.2.	Hormigoneras transportadoras o camiones hormigonera .....	99

5.1.3.	Blondines .....	103
5.2.	Medios de transporte continuo .....	105
5.2.1.	Transporte del hormigón mediante cintas transportadoras..	105
5.2.2.	Transporte por tubería .....	107
5.3.	Vertido del hormigón .....	127
5.3.1.	Hormigonado con cubilote .....	127
5.3.2.	Hormigón proyectado .....	129
5.3.3.	Recomendaciones para el vertido de hormigón .....	137
5.3.4.	Trompas de elefante para la colocación del hormigón.....	144
5.3.5.	Hormigonado con tubería <i>tremie</i> .....	146
5.3.6.	Técnicas de colocación del hormigón bajo el agua .....	150
5.3.7.	Grandes vertidos de hormigón .....	156
5.4.	Tratamiento de la superficie final .....	158
5.4.1.	Superficies de hormigonado .....	159
5.4.2.	Las juntas de construcción en el hormigón .....	159
6.	Compactación del hormigón.....	163
6.1.	Razones para compactar el hormigón.....	165
6.2.	Compactación manual del hormigón: picado y apisonado .....	167
6.2.1.	Picado con barra.....	168
6.2.2.	Palas junto a encofrados.....	169
6.2.3.	Apisonado.....	169
6.2.4.	Pisones neumáticos.....	170
6.2.5.	Recomendaciones generales .....	170
6.3.	Compactación del hormigón por vibrado .....	170
6.3.1.	Vibradores de aguja para compactar el hormigón .....	175
6.3.2.	Vibradores externos para encofrados de hormigón.....	180
6.3.3.	Mesa vibrante de hormigón .....	184
6.3.4.	Compactación del hormigón con regla vibrante .....	187
6.4.	Compactación del hormigón por centrifugación .....	191
6.5.	Hormigón al vacío.....	193
6.6.	Alisadoras rotativas o fratasadoras.....	197
6.7.	Revibrado del hormigón .....	201
6.8.	Vertido y compactación de hormigón en soportes de sección reducida.....	203
7.	Curado del hormigón .....	205
7.1.	Necesidad y fases del curado del hormigón .....	207
7.1.1.	Secuencia del curado del hormigón y duración de las diferentes etapas .....	209

7.1.2.	Curado inicial .....	209
7.1.3.	Curado intermedio .....	210
7.1.4.	Curado final .....	211
7.2.	Agrietamiento plástico durante el fragado: nomograma de Menzel ...	211
7.3.	Curado de pavimentos y otras losas de hormigón sobre tierra.....	214
7.4.	Curado al vapor del hormigón e índice de madurez.....	215
8.	Fabricación y colocación del hormigón en condiciones climáticas adversas .	219
8.1.	Fabricación y colocación del hormigón en tiempo caluroso.....	221
8.1.1.	Efectos del calor en el fraguado del hormigón.....	221
8.1.2.	El amasado del hormigón en tiempo caluroso.....	223
8.1.3.	Hormigonado en tiempo caluroso .....	224
8.2.	Fabricación y colocación del hormigón en tiempo frío.....	228
8.2.1.	Efectos del frío en el fraguado del hormigón fresco.....	229
8.2.2.	Control de la temperatura del hormigón y amasado .....	230
8.2.3.	Transporte del hormigón en tiempo frío .....	233
8.2.4.	Puesta en obra del hormigón en tiempo frío.....	235
8.3.	Hormigonado en condiciones de viento .....	237
9.	Reparación del hormigón .....	239
9.1.	Reparación de fisuras.....	241
9.2.	Reparación de imperfecciones superficiales .....	242
9.3.	Reparación de nidos de grava.....	243
10.	Productos y sistemas para la protección superficial del hormigón .....	245
10.1.	Productos para la protección superficial del hormigón.....	247
10.2.	Sistemas de protección superficial.....	248
10.3.	Control catódico y zonas anódicas .....	249
10.4.	Preparación del soporte para revestir .....	250
10.5.	Métodos de puesta en obra.....	250
10.6.	Control de calidad y mantenimiento .....	251
11.	Hormigones especiales.....	253
11.1.	Hormigón de limpieza en fondos de excavación .....	255
11.2.	Hormigón precolocado: Prepakt y Colcrete .....	257
11.3.	Hormigón reforzado con fibra de vidrio .....	260
11.4.	Hormigón autocompactante .....	264
11.5.	Hormigones compactados con rodillo.....	269

11.6.	Hormigones ligeros .....	272
11.6.1.	Amasado del hormigón ligero.....	274
11.6.2.	Transporte del hormigón ligero .....	276
11.6.3.	Colocación del hormigón ligero.....	277
11.6.4.	Curado del hormigón ligero .....	279
11.7.	Hormigones pesados .....	280
11.7.1.	Dosificación y proceso de fabricación del hormigón pesado.....	282
11.7.2.	Colocación y vertido del hormigón pesado .....	282
11.8.	Hormigón por impresión 3D.....	285
12.	El hormigón para pavimentos en carreteras.....	289
12.1.	Componentes principales de un pavimento de hormigón.....	294
12.2.	Materiales para pavimentos de hormigón.....	297
12.2.1.	Especificaciones para los materiales del hormigón.....	297
12.2.2.	Requisitos básicos del hormigón.....	298
12.2.3.	Requisitos básicos para otros materiales en pavimentos de hormigón .....	300
12.3.	Pavimentos de hormigón en masa con juntas para carreteras.....	300
12.4.	Pavimentos de hormigón armado con juntas para carreteras.....	304
12.5.	Pavimento continuo de hormigón armado para carreteras .....	305
12.6.	Pavimentos bicapa de hormigón .....	307
12.7.	Pavimentos de hormigón pretensado en carreteras y aeropuertos.....	309
12.8.	Pavimentos de hormigón compactado con rodillo para carreteras.....	312
12.9.	Pavimento de hormigón armado con fibras para carreteras.....	315
12.10.	Ejecución de un pavimento de hormigón .....	317
12.10.1.	Extendido de un pavimento de hormigón en carreteras .....	317
12.10.2.	Terminación, texturado y curado del pavimento de hormigón .....	318
12.10.3.	Textura en los pavimentos de hormigón en carreteras.....	320
12.10.4.	Juntas de pavimentos de hormigón en carreteras .....	322
12.10.5.	Disposición de conectores y tamaño de la losa .....	324
13.	Hormigón pretensado.....	327
13.1.	Los sistemas de pretensado en las estructuras de hormigón.....	329
13.1.1.	Armaduras activas: suministro y almacenamiento .....	331
13.1.2.	Componentes y función de los elementos .....	332
13.1.3.	Vainas y accesorios .....	334
13.1.4.	Equipos para enfilado, tesado e inyección .....	334
13.1.5.	Productos de inyección.....	335

*Fabricación y puesta en obra del hormigón*

13.2. Activación de la fuerza de pretensado e inyección en construcciones de hormigón .....	336
13.2.1. Tesado de armaduras activas.....	336
13.2.2. Armaduras pretesas .....	337
14. Síntesis final: principios clave y durabilidad del hormigón .....	343
Bibliografía .....	349
Cuestiones de autoevaluación .....	353
Respuestas .....	391
Problemas resueltos .....	397
Índice temático .....	431

# Agradecimientos

La redacción de un libro como este es el resultado de un largo recorrido. Ya han pasado treinta y dos años desde que empecé a impartir la asignatura de Procedimientos de Construcción en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Valencia. Desde aquel lejano 1994, han sido muchas las personas que, de una u otra forma —empezando por los propios estudiantes—, han contribuido a que hoy este manual de referencia pueda ver la luz.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a los profesores de la unidad docente de Procedimientos de Construcción y Organización de Obras por sus consejos, sus críticas constructivas y su apoyo constante durante estos años. Destaco especialmente a Fernando González Vidosa, José Vicente Martí Albiñana y Julián Alcalá González, cuya colaboración ha sido fundamental para la realización de esta obra. También quiero expresar mi agradecimiento al profesor Pedro Martínez Pagán, de la Universidad Politécnica de Cartagena, por su valiosa aportación a la elaboración de un conjunto de nomogramas originales que permiten abordar gráficamente diversos problemas prácticos.

También quiero expresar mi gratitud a las empresas y profesionales que han autorizado el uso de imágenes, un elemento esencial en un libro en el que la comprensión de los medios auxiliares y de los procesos constructivos exige un apoyo gráfico importante. Asimismo, agradezco al equipo de la Editorial de la Universitat Politècnica de València, y en particular a María Remedios Pérez García, su dedicación y esmero en la edición de esta obra. Tampoco quiero olvidar a los revisores anónimos, cuyas sugerencias han contribuido de manera decisiva a mejorar la organización y la claridad del texto.

Este manual complementa el corpus teórico de la asignatura e integra el conjunto de materiales docentes elaborados a lo largo de los años. Invito al lector a consultar manuales y textos especializados para profundizar en aquellos aspectos que han debido sintetizarse por necesidad; para ello, se incluye una bibliografía amplia y actualizada. También recomiendo mi blog, con más de catorce años de trayectoria y cerca de 2400 artículos dedicados a la ingeniería de la construcción, que se encuentra en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/>.

Finalmente, aunque se ha revisado con esmero cada capítulo y cada problema, es posible que queden erratas u omisiones. Agradeceré cualquier sugerencia que permita mejorar las futuras ediciones. Espero que este libro contribuya a reforzar la calidad docente de las asignaturas prácticas y resulte de utilidad para estudiantes y profesionales.

# Prólogo

La docencia de una asignatura como *Procedimientos de Construcción* conlleva una dificultad singular: no se trata solo de explicar conceptos, sino de enseñar cómo se ejecutan realmente las obras. Por tanto, no basta con explicar los conceptos, sino que es necesario enseñar cómo se ejecutan realmente las obras, lo que implica abordar no solo las fases constructivas, sino también aspectos esenciales como el conocimiento de la maquinaria y los medios auxiliares, la seguridad y salud, el impacto ambiental y, sobre todo, los fundamentos técnicos necesarios —geotecnia, resistencia de materiales, mecánica, cálculo de estructuras, gestión empresarial, planificación y economía— que permiten seleccionar el proceso constructivo más adecuado para cada caso.

Además, todo ello debe transmitirse a estudiantes cuya experiencia directa en obra es, en la mayoría de los casos, escasa o inexistente. Entonces surge una pregunta inevitable: ¿cómo llevar la obra al aula?

Es evidente que nada sustituye a la experiencia directa. Las visitas a obras y las prácticas en empresa resultan imprescindibles para la formación del futuro profesional. Sin embargo, aun siendo necesarias, no son suficientes para adquirir las competencias y la visión global que exige el ejercicio de la ingeniería.

La dificultad aumenta cuando estas asignaturas se imparten en los primeros cursos del grado. En planes de estudio anteriores, *Procedimientos Generales de Construcción y Organización de Obras* se cursaba en los últimos años, incluso en paralelo con la asignatura de Proyectos. Ello permitía al estudiante integrar los conocimientos adquiridos y comprender con mayor profundidad la lógica

constructiva. Pero, independientemente del momento en que se imparta, el reto de acercar la realidad de la obra al estudiante sigue siendo el mismo.

Recuerdo cuando cursé esta asignatura en el cuarto curso de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, en 1986. El profesor D. Hermelando Corbí Abad utilizaba entonces todos los recursos disponibles: proyector de opacos, fotografías que circulaban de mano en mano, catálogos de maquinaria y de empresas y, sobre todo, mucha pizarra. Tomábamos apuntes con esmero y disponíamos de textos mecanografiados que servían de guía. Las clases se complementaban con numerosas visitas a obras y excursiones técnicas que no solo ampliaban nuestros conocimientos, sino que también fortalecían el compañerismo y alimentaban nuestra vocación por esta apasionante profesión.

Cuando en 1994 comencé a impartir la asignatura, ya como profesor asociado y tras varios años de experiencia en los sectores público y privado, recurrí a los medios que entonces estaban a nuestro alcance: vídeos en VHS, transparencias, fotografías y catálogos. Las visitas a obra seguían siendo un pilar fundamental. No obstante, el problema persistía. Las técnicas constructivas evolucionaban con rapidez, y la maquinaria y los medios auxiliares cambiaban a un ritmo que resultaba difícil de seguir con los recursos disponibles.

La llegada de los ordenadores personales, las presentaciones digitales y, sobre todo, internet y la inteligencia artificial supusieron un punto de inflexión. Con el cambio de milenio, la información comenzó a multiplicarse exponencialmente. Las fotografías, los vídeos y los documentos se acumulaban en el disco duro sin un orden claro. Era necesario estructurar y sistematizar todo el material.

El 5 de marzo de 2012 inicié una bitácora digital con el propósito de organizar esa información dispersa. Así nació el «Blog de Víctor Yepes», concebido inicialmente como una herramienta personal de organización y que pronto se convirtió en un recurso abierto para estudiantes y profesionales. La posibilidad de estructurar contenidos en entradas, incorporar material gráfico, enlazar documentos y facilitar el acceso permanente a la información transformó por completo mi forma de enseñar. Los estudiantes podían no solo repasar lo explicado en clase, sino también profundizar y ampliar sus conocimientos de forma autónoma. Con el tiempo, el blog se ha ido ampliando hasta convertirse en un repositorio dinámico y extenso de contenidos sobre construcción.

El siguiente paso fue natural: depurar, revisar y sistematizar ese material para convertirlo en textos docentes estructurados. Así surgieron los Manuales de Referencia, editados por la Universitat Politècnica de València, entre los cuales se enmarca la presente obra.

Este libro es fruto de un esfuerzo de recopilación, ordenación y actualización del conocimiento, con el objetivo de ofrecer un recurso integral y actualizado tanto para estudiantes como para profesionales. Cada generación de docentes

tiene la responsabilidad de renovar y mantener actualizados los contenidos de sus asignaturas, incorporando los avances técnicos y normativos. Las leyes y reglamentaciones que afectan a las estructuras y medios auxiliares evolucionan con el tiempo, por lo que en estas páginas se han destacado especialmente los principios fundamentales, aquellos que permanecen más allá de los cambios coyunturales.

La fabricación y puesta en obra del hormigón constituyen una fase decisiva en el proceso constructivo, pues de ellas depende que las prestaciones previstas en el proyecto se materialicen correctamente en la obra. A diferencia de las asignaturas de materiales, centradas en la caracterización y las propiedades del hormigón, o de las de cálculo de estructuras, orientadas a su dimensionamiento, este ámbito se ocupa de los procesos reales de dosificación, transporte, vertido, compactación, curado y control. En definitiva, es el puente entre la teoría y la realidad física que garantiza la durabilidad, la seguridad y la calidad final de la estructura.

La naturaleza práctica de esta obra responde a la necesidad de cubrir un vacío editorial. Aunque existen excelentes textos sobre geotecnia, resistencia de materiales, cálculo de estructuras o hidráulica, son escasas las publicaciones que abordan con suficiente profundidad y actualidad los procedimientos constructivos, la maquinaria y los medios auxiliares que hacen posible materializar los proyectos.

Una de las mayores dificultades a la hora de elaborar este libro ha sido la recopilación y selección del material gráfico, indispensable para comprender adecuadamente los elementos descritos. En el ámbito de la construcción, la imagen no es un simple complemento, sino una herramienta fundamental para el aprendizaje.

El libro está organizado en capítulos que abordan de forma sistemática la fabricación del hormigón, incluidos sus procesos y la maquinaria empleada, su transporte y vertido en obra, las operaciones de compactación y curado, así como las técnicas de reparación. También se dedica un apartado específico a los hormigones especiales y un capítulo final a los pavimentos de hormigón utilizados en carreteras. La obra se completa con referencias bibliográficas y una serie de preguntas tipo test, con respuestas incluidas, para que el lector pueda evaluar su comprensión. Un índice temático final facilita la localización rápida de los contenidos.

El reto de esta obra ha consistido en integrar información dispersa, combinar técnicas tradicionales con otras de plena actualidad y describir maquinaria que, año tras año, deja obsoletos modelos anteriores. Es posible, e incluso deseable, que dentro de algunos años, parte de lo aquí expuesto se convierta en testimonio de una etapa superada por la robotización, la inteligencia artificial, los gemelos digitales y otras tecnologías emergentes que transformarán profundamente nuestra forma de concebir y ejecutar las obras.

Aunque se ha realizado una revisión minuciosa del manuscrito, es posible que persista alguna errata propia de una primera edición. Asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión y agradezco de antemano las sugerencias que contribuyan a mejorar futuras ediciones.

*Fabricación y puesta en obra del hormigón*

A partir de este momento, el libro deja de pertenecer a su autor y pasa a ser del lector. Espero que estas páginas sirvan de ayuda a estudiantes y profesionales en su acercamiento al apasionante mundo de la construcción y, en particular, al desafío diario que supone la fabricación y la puesta en obra del hormigón para hacer realidad cada proyecto.

Valencia, mayo de 2026.

# El hormigón y sus componentes

## Contenidos del capítulo

1.1. Cemento

1.2. Áridos

1.3. Agua

1.4. Aditivos



El hormigón es un material compuesto que se utiliza en la construcción y se obtiene al fraguar una mezcla de cemento, áridos, agua y, en ocasiones, aditivos. Los áridos deben distribuirse uniformemente en la masa y el cemento debe rodearlos de manera homogénea para evitar grumos o agrupaciones. La calidad del amasado influye significativamente en las características finales del hormigón. A efectos de control de calidad y trazabilidad, el Código Estructural (Real Decreto 470/2021) emplea el término «amasada» como equivalente de la unidad de producto que se va a inspeccionar.

El diseño y la fabricación del hormigón tienen como objetivo obtener una mezcla que cumpla los requisitos mínimos, tanto en estado fresco como en estado endurecido, y optimizar los costes. Además de alcanzar una resistencia específica para su explotación, el hormigón debe lograr, en pocas horas, una resistencia suficiente para permitir la retirada de los encofrados y su reutilización en el siguiente ciclo. Por otro lado, algunas superficies de hormigón deben quedar expuestas sin tratamiento posterior o bien pintadas directamente, por lo que se requiere un acabado de calidad y la prevención de fisuras. Las fisuras superficiales suelen ser consecuencia de la retracción plástica o hidráulica, fenómenos estrechamente ligados a una relación agua/cemento excesiva.

Para lograr producciones elevadas de hormigón con las características requeridas, es necesario cumplir una serie de condiciones, comenzando por dominar la tecnología correspondiente. Es fundamental comprender la relación entre la fabricación, el transporte y la colocación del hormigón, así como su comportamiento posterior. Esto incluye conocer la influencia de factores como la granulometría, la relación agua/cemento, la dosificación, los aditivos, la temperatura ambiente, el método y el tiempo de transporte, así como el sistema de vertido y vibrado. También hay que familiarizarse con los diferentes tipos de cemento, sus propiedades y limitaciones, así como con la influencia de los áridos según su naturaleza y el método de obtención. En resumen, es necesario comprender a fondo el producto que garantiza la estabilidad de una estructura, así como sus funciones en cerramientos, en la distribución e incluso en aspectos decorativos.

Es necesario obtener una mezcla óptima con las proporciones exactas de áridos de distintos tamaños, cemento, agua y, en su caso, aditivos. No existe una mezcla universal que se adapte a todos los casos. Para determinar la dosificación adecuada, deben considerarse la resistencia mecánica requerida, los factores asociados a la fabricación y la aplicación, y el tipo de ambiente al que estará expuesto el hormigón.

En los epígrafes siguientes se presenta una síntesis clara y estructurada de los principales componentes del hormigón, destacando sus características, funciones y relevancia en el comportamiento del material.

## 1.1. Cemento

El cemento es un polvo muy fino de color gris que, al mezclarse con agua, forma una pasta capaz de endurecerse tanto al aire como bajo el agua. Por esta razón, y porque necesita agua para fraguar, se clasifica como aglomerante hidráulico.

Se obtiene a partir de dos materias primas principales: caliza rica en óxidos de calcio y un material con alto contenido de sílice, normalmente arcilla o, en algunos casos, escoria de alto horno. Ambas se dosifican adecuadamente y se someten a un proceso de calentamiento en un horno rotatorio, donde se produce una fusión incipiente que da lugar a un material granular denominado clínker.

El clínker está compuesto principalmente por cuatro compuestos: silicato tricálcico, silicato bicálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico. Estos constituyen aproximadamente el 95 % de su masa, mientras que el 5 % restante corresponde a componentes menores como óxidos alcalinos, titanio y residuos insolubles.

A continuación, el clínker se muele en molinos de bolas hasta obtener un polvo muy fino, y en esta fase se incorpora alrededor del 5 % de yeso para regular el fraguado y evitar un endurecimiento excesivamente rápido. El producto resultante es el cemento Portland.

Durante la molienda, pueden añadirse otros materiales naturales o artificiales, lo que da lugar a los cementos Portland con adiciones o especiales. Estos mantienen las propiedades básicas del Portland (fraguado y resistencia) y mejoran otras, como la durabilidad y la resistencia química. Las adiciones más habituales son las puzolanas, las cenizas volantes y las escorias básicas granuladas de alto horno.

Estas adiciones presentan una reactividad química potencial que se activa durante la hidratación del clínker. Las puzolanas y las cenizas volantes reaccionan con la cal hidratada que se libera en este proceso, mientras que, en el caso de las escorias, dicha cal activa componentes de naturaleza similar a los del clínker.

El cemento es el principal conglomerante hidráulico del hormigón y el responsable de la unión de los áridos tras su hidratación; su tipo y dosificación condicionan la resistencia mecánica, la durabilidad y el comportamiento frente a las acciones ambientales durante la vida útil.

La dosificación mínima de cemento por metro cúbico está fijada por el Código Estructural (2021) según la clase de exposición. En la clase X0, correspondiente a ambientes muy secos y sin riesgo de corrosión, se exigen al menos 200 kg/m<sup>3</sup> de cemento en hormigón en masa, 250 kg/m<sup>3</sup> en hormigón armado y 275 kg/m<sup>3</sup> en hormigón pretensado.

En ambientes más agresivos, la dosificación debe incrementarse para garantizar la durabilidad. En la clase XA3, de alta agresividad química, los contenidos mínimos son de 325 kg/m<sup>3</sup> para el hormigón en masa y de 350 kg/m<sup>3</sup> para el hormigón armado

y pretensado, lo que reduce la porosidad y mejora la resistencia química. Además, el Código Estructural (2021) limita la relación agua/cemento; para la clase XA3 se establece un valor máximo de 0,45, lo cual es fundamental para controlar la permeabilidad.

Según la norma UNE EN 197-1, los cementos se clasifican en cinco tipos principales, de CEM I a CEM V, según sus componentes. En entornos con una alta agresividad química, especialmente en presencia de sulfatos, se utilizan cementos resistentes a los sulfatos (SR), como los CEM III o los CEM I-SR 3, debido a su mayor resistencia frente a estos ataques.

## 1.2. Áridos

Por razones económicas y de estabilidad físico-química, la pasta de cemento debe apoyarse en un esqueleto inerte que le aporte volumen, resistencia y estabilidad. Esta función la cumplen los áridos, que constituyen entre el 65 % y el 75 % del volumen total del hormigón. Los áridos son materiales granulares de naturaleza pétreo y de tamaño variable que se obtienen por la fragmentación de rocas de la corteza terrestre, ya sea de forma natural o mediante procesos artificiales.

Los áridos son uno de los componentes fundamentales del hormigón y aportan la mayor parte de su volumen. Proporcionan estabilidad dimensional, resistencia mecánica y una solución económica eficiente. Por lo general, se utilizan arenas y gravas procedentes de yacimientos naturales, rocas trituradas artificialmente o escorias siderúrgicas previamente tratadas y consideradas aptas para su uso en construcción. En la práctica, el árido se compone de varias fracciones de distintos tamaños de partícula, cuya combinación es esencial para que el material presente un buen comportamiento.

Desde el punto de vista granulométrico, se denomina arena al árido que pasa por un tamiz de 4 mm de abertura (tamiz 4, según la norma UNE-EN 933-2). La grava o árido grueso es el material que queda retenido en dicho tamiz. La proporción adecuada entre arena y grava permite obtener un esqueleto granular equilibrado, condición indispensable para lograr un hormigón con buenas propiedades mecánicas, consistencia adecuada y compactación correcta.

Para fabricar 1 m<sup>3</sup> de hormigón compactado se requieren aproximadamente 2 toneladas de árido, lo que equivale a unos 1,3 m<sup>3</sup> de mezcla de arena y grava. Este elevado consumo pone de manifiesto la importancia de utilizar áridos de calidad y con una distribución granulométrica adecuada.

La granulometría de los áridos se determina mediante un análisis por tamizado, conforme a las normas UNE, y se representa mediante una curva granulométrica continua. Esta continuidad es fundamental para evitar concentraciones excesivas o discontinuidades que puedan afectar negativamente la compacidad, la

trabajabilidad y la durabilidad del hormigón. El tamaño máximo del árido se define como la abertura mínima del tamiz UNE-EN 933-2 por la que pasa más del 90 % del material en peso, siempre que la totalidad pase por un tamiz con una abertura doble. El tamaño mínimo corresponde a la abertura del tamiz de mayor tamaño por la que pasa menos del 10 % del material. Ambos parámetros son relevantes para caracterizar y seleccionar correctamente los áridos.

### 1.3. Agua

El agua empleada en el amasado del hormigón desempeña un papel fundamental tanto desde el punto de vista químico como reológico. Por un lado, permite la hidratación del cemento, responsable del endurecimiento y de la resistencia mecánica, de modo que una cantidad insuficiente impide completar las reacciones y compromete las prestaciones finales del material. Por otro lado, el agua proporciona al hormigón fresco la trabajabilidad necesaria para su correcta puesta en obra, ya que facilita el recubrimiento de las armaduras, el llenado de los encofrados y las operaciones de transporte, vertido y compactación, evitando la formación de huecos o discontinuidades internas.

La docilidad o trabajabilidad del hormigón depende directamente de la relación agua/cemento: su aumento mejora la fluidez del hormigón fresco, pero reduce la resistencia, la durabilidad y la compacidad del hormigón endurecido, mientras que una cantidad insuficiente dificulta la ejecución y puede impedir una hidratación adecuada. La Tabla 1 recoge las clases de consistencia del hormigón según el Código Estructural (2021).

**Tabla 1.** Clases de consistencia del hormigón según el Código Estructural (2021)

Tipo de consistencia	Asentamiento en mm
Seca (S)	0 – 20
Plástica (P)	30 – 40
Blanda (B)	50 – 90
Fluida (F)	100 – 150
Líquida (L)	160 – 210

La consistencia del hormigón fresco se evalúa habitualmente mediante el ensayo de asentamiento o cono de Abrams (UNE-EN 12350-2), que mide el asentamiento de una masa de hormigón al retirar el molde tronco-cónico. Este método es fiable únicamente para asentamientos entre 10 y 210 mm y no es aplicable a hormigones con tamaño máximo del árido  $D$  superior a 40 mm, para los que deben emplearse procedimientos alternativos.

## **1.4. Aditivos**

Los aditivos son productos que se incorporan al hormigón antes o durante el amasado, en proporciones generalmente inferiores al 5 % del peso del cemento, para modificar de forma controlada sus propiedades en estado fresco y endurecido y adaptarlo a las exigencias de cada aplicación.

En el hormigón fresco influyen en la docilidad, el fraguado, la cohesión y la estabilidad, facilitando el transporte, la puesta en obra y la compactación, mientras que en el hormigón endurecido afectan a la resistencia mecánica, la durabilidad, la impermeabilidad y la resistencia frente a agentes agresivos y ciclos ambientales.

Los aditivos más habituales se clasifican en acelerantes, que reducen el tiempo de fraguado y endurecimiento; retardantes, que lo prolongan; aireantes, que mejoran la resistencia a los ciclos hielo-deshielo; y reductores de agua, también llamados plastificantes o superplastificantes.

Estos últimos son especialmente relevantes, ya que permiten reducir el agua de amasado hasta un 20 % sin pérdida de trabajabilidad, facilitando la obtención de bajas relaciones agua/cemento y, con ello, hormigones más compactos, resistentes y duraderos, especialmente en ambientes exigentes.



# La fabricación de hormigones

## Contenidos del capítulo

### 2.1. La homogeneidad en la fabricación de hormigones

#### 2.2. Dosificación del hormigón

2.2.1. Dosificación del cemento

2.2.2. Dosificación de los áridos

2.2.3. Dosificación del agua

2.2.4. Dosificación de los aditivos

2.2.5. Instalaciones de dosificación para la fabricación de hormigón

#### 2.3. Amasado del hormigón

2.3.1. Velocidad del amasado

2.3.2. Duración del amasado

2.3.3. Número de amasadas por hora

2.3.4. Capacidad de carga o amasado

2.3.5. Rendimiento de la mezcladora

2.3.6. Orden de carga de los componentes del hormigón

2.3.7. Energía de amasada

2.3.8. Descarga de la amasada

### 2.4. Cálculo de la temperatura de fabricación del hormigón



El diseño del hormigón persigue obtener una mezcla que cumpla las propiedades mínimas en estado fresco y endurecido al menor coste posible, mediante la proporción óptima de áridos, cemento y agua. No existe una dosificación única válida para todos los casos, ya que esta depende de la resistencia requerida, de las condiciones de fabricación y de puesta en obra y del ambiente de exposición. La durabilidad, definida por la clase ambiental, suele ser el criterio determinante al imponer límites obligatorios, como la relación máxima agua/cemento y el contenido mínimo de cemento establecidos en el Código Estructural (2021); así, en ambientes agresivos (XS3 o XA3), la relación máxima agua/cemento es de 0,45.

La fabricación del hormigón comprende el almacenamiento de las materias primas y la instalación de los equipos de dosificación y de amasado. El cemento se dosifica en peso, mientras que los áridos se miden por peso o volumen según la mezcla, y el amasado asegura una combinación homogénea de los materiales y el recubrimiento completo del árido por la pasta de cemento.

Las materias primas, una vez superados los controles de calidad, se almacenan en silos y tolvas y se dosifican automáticamente mediante sistemas de pesaje controlados por una unidad central, lo que garantiza la homogeneidad entre los distintos pedidos de hormigón. En planta, el agua se mide en volumen y el cemento y los áridos en peso.

El amasado puede realizarse con hormigoneras o mezcladoras. Las hormigoneras producen hormigón directamente en obra mediante un tambor giratorio, horizontal o inclinado, con paletas internas que mezclan los materiales hasta obtener una masa homogénea, lo que las hace adecuadas para hormigones plásticos o fluidos. Pueden ser móviles o fijas y funcionar de forma continua o intermitente. Las mezcladoras o amasadoras se emplean principalmente en instalaciones fijas para hormigones de consistencia seca y áridos pequeños, como los utilizados en prefabricados y en plantas de hormigón.

El proceso de amasado puede efectuarse íntegramente en una mezcladora fija, iniciarse en una fija y completarse en una móvil, o comenzar en una fija y finalizar en una móvil antes del transporte. En la Figura 1 se observa un camión hormigonera cargando en una central.

El proceso de fabricación de hormigón en una central puede ser de dos tipos:

- **Fabricación en mezcladora:** en esta modalidad, las materias primas que constituyen el hormigón se pesan en seco en básculas y se introducen en la amasadora, donde se mezclan con el agua y se homogeneiza la pasta. Posteriormente, se vierte en el camión hormigonera que realizará su transporte hasta la obra.
- **Dosificación en planta y mezcla en camión hormigonera:** en este caso, las materias primas se pesan y se vierten directamente en la cuba del camión hormigonera, que mezcla los componentes, homogeneiza la masa y la transporta hasta la obra.



**Figura 1.** Camión hormigonera en una central

Fuente: <https://www.caes.eu/producto/plantas-de-hormigon-st-60/>

Las materias primas se introducen en la amasadora o en el camión hormigonera y se mezclan mediante el giro de las aspas o de la cuba, lo que garantiza la homogeneidad del hormigón. En obras pequeñas se recomienda el uso de hormigoneras y, en medianas y grandes, el suministro desde una planta. Si se mezcla manualmente, debe hacerse con las precauciones necesarias. El agua se dosifica por volumen y el cemento y los áridos por peso.

Para el transporte se emplean medios que no alteren la calidad ni modifiquen sensiblemente las características del hormigón recién amasado, cuyo tiempo desde el amasado no debe superar una hora y media, límite crítico establecido en el Código Estructural (2021) para asegurar que el material mantenga sus propiedades antes de la colocación y compactación.

A continuación, se presenta la Tabla 2, que permite evaluar con claridad las ventajas y limitaciones de ambos sistemas de amasado según el tipo de obra y las exigencias del hormigón.

**Tabla 2.** Cuadro comparativo hormigoneras/mezcladoras (Tiktin, 1998)

	Hormigoneras	Mezcladoras
Limitación del tamaño de áridos	No	Sí
Aprovechamiento del cemento	Regular	Óptimo
Uniformidad del hormigón	Regular	Grande
Tiempo de amasado	Mayor	Corto
Consumo de energía	Pequeño	Alto
Descarga	Sencilla	Menos sencilla
Aplicación con bomba de hormigón	No	Sí
Aplicación a hormigón de alta calidad	Poca	Adecuada
Aplicación a mezclas secas	No	Sí
Precio de adquisición	Bajo	Alto
Tipo de amasado	Por gravedad	Forzado
Fabricación de mortero	No	Sí
Desgaste	Pequeño	Mayor

## 2.1. La homogeneidad en la fabricación de hormigones

Un hormigón es homogéneo cuando su composición es uniforme en todos sus puntos, de modo que el inicio, el centro y el final de la amasada presentan la misma calidad. Esto permite considerar las amasadas sucesivas como idénticas, lo que se denomina estabilidad estadística inter-amasada. La homogeneidad se logra mediante un amasado adecuado, un transporte cuidadoso y una colocación correcta (Figura 2).



**Figura 2.** Homogeneidad del hormigón

Fuente: <https://ingeniero-de-caminos.com/hormigon-homogeneidad/>

Un hormigón homogéneo requiere una mezcla uniforme, en la que los componentes estén perfectamente integrados y en las proporciones previstas en la dosificación en toda la masa. Las mezclas bien diseñadas y amasadas adecuadamente ofrecen una consistencia uniforme, independientemente del punto de muestreo, lo que permite obtener resultados consistentes y poco dispersos. Esta homogeneidad asegura la estabilidad efectiva de la relación agua/cemento durante la descarga, lo cual es un factor clave para la constancia de la resistencia final del hormigón endurecido.

Para garantizar la homogeneidad del hormigón es fundamental mantener una proporción adecuada entre el agua y el cemento, así como lograr un mezclado completo que asegure el recubrimiento uniforme de los áridos por la pasta de cemento. El Código Estructural (2021) exige un amasado íntimo y homogéneo, que puede realizarse íntegramente en una amasadora fija, iniciarse en una fija y completarse en una amasadora móvil antes del transporte, o efectuarse totalmente en una amasadora móvil. El empleo de hormigoneras o amasadoras constituye el procedimiento habitual para obtener una mezcla apta para su puesta en obra.

La uniformidad de los materiales y la precisión de los equipos de dosificación también son determinantes. Cuando los componentes iniciales son homogéneos y las dosificaciones son correctas, la variabilidad del hormigón depende esencialmente del proceso de amasado, por lo que es fundamental elegir el equipo adecuado. En este sentido, el Código Estructural (2021) establece que la dosificación del cemento, los áridos y, en su caso, las adiciones se realicen en peso, para reducir los errores debidos a la humedad y garantizar una relación agua/cemento más precisa. Además, exige el control de la dosificación para asegurar la homogeneidad entre amasadas.



**Figura 3.** Colocación del hormigón

Fuente: <https://ich.cl/unidad/05-uso-del-hormigon-en-obra/>

Al inicio del amasado, la gravedad y la fricción dificultan el movimiento de los materiales debido al contacto entre la masa y las paredes del mezclador, la fricción

interna asociada a la rugosidad de los áridos y las diferencias de viscosidad existentes en distintas zonas de la mezcla. Para obtener un hormigón homogéneo, es necesario reducir estas resistencias y aportar una energía suficiente que permita romper las uniones entre los granos formadas por el agua y distribuirla de manera uniforme entre todos los componentes. Por este motivo, los fabricantes estudian cuidadosamente el perfil, el número y la disposición de las paletas, y es imprescindible que los equipos de amasado dispongan de la potencia necesaria para desplazar los materiales sin favorecer a determinados componentes en función de su tamaño o densidad. El Código Estructural (2021) exige, además, la verificación anual de la uniformidad de estos equipos.

Durante el transporte, se deben mantener en buen estado las paletas y las superficies interiores de los equipos, sin desperfectos ni desgaste que puedan afectar a la homogeneidad de la mezcla. El hormigón puede trasladarse en amasadoras móviles que funcionen a velocidad de agitación —inferior a la de amasado— para evitar la segregación, o en equipos con o sin agitadores, siempre que tengan superficies lisas y redondeadas y garanticen la homogeneidad durante el transporte y la descarga.

En prefabricación, donde es necesario desmoldar cuanto antes, se requiere una cohesión perfecta y plasticidad constante. Para mezclas de baja manejabilidad, como las de prefabricados, se emplean amasadoras de mezcla forzada (por ejemplo, de doble eje) que aplican alta energía de cizallamiento para dispersar rápidamente los finos.

En equipos como las hormigoneras, la densidad es clave, ya que los componentes se elevan y vuelven a caer, mientras que en las amasadoras un exceso de energía mejora la mezcla.

La dislocación, que deteriora la homogeneidad, puede ocurrir incluso con una mezcla correcta inicialmente ya que, durante el transporte, el vertido o el fraguado los componentes tienden a separarse por densidad y tamaño. La segregación se produce cuando los elementos se separan, generando superficies de mala calidad, nidos de grava o huecos internos, y una estructura heterogénea que reduce resistencia y durabilidad. Si la mezcla es demasiado líquida, los áridos gruesos decantan y el mortero queda en la superficie, lo que provoca una pérdida de homogeneidad por decantación. Estos fenómenos aumentan con el contenido de agua, el tamaño máximo del árido, las vibraciones y las sacudidas durante el transporte y la colocación. Un hormigón poco manejable tiende a segregarse, con resistencias inferiores y acabados defectuosos.

La exudación es otra forma de segregación: el agua asciende a la superficie porque los áridos no la retienen durante la compactación, formando una capa delgada y porosa (lechada) que reduce resistencia y durabilidad y favorece la carbonatación y la corrosión de las armaduras.

La cohesión entre los componentes es esencial para la homogeneidad. Un hormigón demasiado seco separa los áridos gruesos, mientras que un exceso de agua incrementa la segregación entre el mortero y los áridos. Por ello, hay que controlar la proporción de materiales y la humedad durante el mezclado. Para reducir la relación agua/cemento, mantener la trabajabilidad y aumentar la cohesión, se emplean aditivos, como los superplastificantes, lo que disminuye el riesgo de segregación y exudación.

La pérdida de homogeneidad se relaciona directamente con la cohesividad: cuanto menor sea, mayor será la segregación, debida a una proporción inadecuada arena-grava, tamaño máximo del árido excesivo o exceso de agua, entre otros factores. Las mezclas más proclives a segregarse son las poco manejables, muy fluidas o secas, o con exceso de arena; incluso un hormigón muy manejable puede segregarse si se somete a un tratamiento o ejecución deficientes.

## 2.2. Dosificación del hormigón

La dosificación del hormigón consiste en determinar las proporciones exactas de cemento, agua, áridos y aditivos para obtener una mezcla óptima con la durabilidad, resistencia, compacidad y consistencia requeridas. Una dosificación adecuada es esencial para garantizar la resistencia y durabilidad de las estructuras, ya que una mezcla mal dosificada puede perder homogeneidad y segregarse, lo que compromete las propiedades del hormigón endurecido.

Antes de dosificar el hormigón, es importante considerar varios factores para garantizar que la mezcla sea adecuada para la aplicación deseada. Estos incluyen:

- **Resistencia deseada del hormigón:** es la propiedad mecánica principal que se busca.
- **Condiciones ambientales:** la exposición a temperaturas extremas, ciclos de congelación-deshielo o ambientes agresivos (como el agua de mar o los sulfatos) influye en la durabilidad.
- **Equipos de fabricación y compactación:** la elección entre métodos manuales o mecánicos para la mezcla y la compactación incide en la consistencia y en la necesidad de aditivos.
- **Granulometría y calidad de los áridos:** el tamaño máximo, la forma (rodado o machacado) y la distribución granulométrica son esenciales para la compacidad y la trabajabilidad.
- **Dimensiones de la sección y disposición de las armaduras:** influyen en el tamaño nominal máximo del árido y en la consistencia necesaria para garantizar un buen llenado y una correcta compactación.
- **Tipo de cemento y el uso de aditivos:** determinan las propiedades de fraguado, de endurecimiento y las características especiales del hormigón.

Existen varios métodos de dosificación, cada uno adecuado para diferentes situaciones y niveles de precisión:

- **Dosificación en volumen:** es el método más antiguo y sencillo. Se utiliza principalmente en obras pequeñas y consiste en determinar las cantidades mediante tablas de proporciones para obtener un metro cúbico de hormigón.
- **Métodos basados en el contenido de cemento:** incluyen el método de Fuller y la fórmula de Bolomey. Estos se centran en la cantidad de cemento por metro cúbico y en la granulometría de los áridos para lograr una buena densidad y trabajabilidad, con el objetivo de utilizar menos cemento.
- **Métodos basados en la resistencia a la compresión:** como el método ACI y el método De la Peña. Estos parten de la resistencia deseada del hormigón y consideran la cantidad de agua, el tamaño y el tipo de árido, así como la consistencia, para determinar las proporciones. Se utilizan ampliamente en obras estructurales.
- **Métodos racionales:** como el método Faury, que se basa en principios granulométricos y define una curva granulométrica ideal para garantizar una granulometría total adecuada, incluida la del cemento. Es más flexible y preciso, pero requiere cálculos más complejos.
- **Métodos prácticos/experimentales:** como el método de Valette y los hormigones de prueba, que implican la realización de mezclas experimentales en el laboratorio o en la obra para verificar y ajustar las proporciones en función de las propiedades del hormigón fresco y endurecido.

La relación agua/cemento ( $a/c$ ) es clave para la resistencia y la durabilidad del hormigón: a menor  $a/c$ , mayor resistencia y durabilidad y menor coste si la resistencia es fija. La cantidad de cemento, junto con la  $a/c$ , se elige para cumplir esos requisitos. El Código Estructural (2021) fija un contenido mínimo de cemento de 200, 250 y 275 kg/m<sup>3</sup> para hormigón en masa, armado o pretensado, respectivamente, y el contenido máximo suele ser 500 kg/m<sup>3</sup>, aunque puede superarse con autorización de la dirección de obra. Una  $a/c$  y un contenido de cemento adecuados minimizan la segregación y aseguran la cohesión de la mezcla.

El cálculo teórico de las proporciones del hormigón no elimina la necesidad de verificar experimentalmente la composición obtenida. En la práctica, son numerosos los factores que pueden influir en las propiedades finales del hormigón, por lo que los ensayos experimentales resultan imprescindibles para:

- **Verificación de la docilidad (consistencia o trabajabilidad):** se mide mediante el método del asentamiento del cono de Abrams (UNE EN 12350-2), a fin de garantizar que el hormigón pueda moldearse y compactarse fácilmente en obra.

- **Comprobación de la resistencia:** se verifica mediante ensayos de resistencia a la compresión con probetas fabricadas y curadas según las normas específicas (UNE-EN 12390-2).
- **Ajustes y correcciones:** las pruebas permiten ajustar la dosificación de agua para alcanzar el asentamiento requerido y, si el rendimiento se desvía más de  $\pm 3\%$  respecto al teórico, corregir las proporciones de los áridos. Si la resistencia obtenida supera la requerida, se puede ajustar la dosis de cemento. Las muestras se toman en el punto de vertido, a la salida del medio de transporte, entre un cuarto y un tercio de la descarga, en presencia del proveedor y del constructor, y se levanta un acta por el laboratorio.

La segregación es la pérdida de homogeneidad de la mezcla de hormigón y está directamente relacionada con una dosificación incorrecta. Un hormigón mal dosificado puede presentar dos tipos principales de segregación:

- **Por exceso de agua:** si la cantidad de agua es excesiva, el mortero puede separarse de los áridos y los áridos más gruesos tienden a depositarse en el fondo.
- **Por escasez de agua y exceso de finos (hormigón muy seco):** en este caso, los áridos gruesos tienden a separarse y depositarse antes que las partículas finas. Para evitar la segregación, es esencial realizar una dosificación que garantice la cohesión de la mezcla. Las mezclas con exceso de arena, ásperas o poco dóciles, y las extremadamente secas o muy fluidas son más propensas a segregarse. En las mezclas secas, aumentar adecuadamente la cantidad de agua suele mejorar la cohesión y eliminar la segregación.

A pesar de la utilidad de los métodos teóricos, la dosificación del hormigón en la práctica presenta limitaciones que requieren correcciones y ajustes.

- **Limitaciones normativas:** el Código Estructural (2021) establece rangos mínimos y máximos para el contenido de cemento y la relación agua/cemento con el fin de garantizar la durabilidad y la resistencia del hormigón en función del tipo de estructura y de la exposición.
- **Ajustes por humedad de los áridos:** los áridos de la obra suelen tener un grado de humedad distinto del de la condición saturada y del de la superficie seca considerados en la dosificación inicial. Esta humedad afecta tanto la cantidad de agua efectiva en la mezcla como el peso real de los áridos. Por tanto, se calcula la humedad libre y se ajustan, en consecuencia, la dosis de agua y el peso de los áridos. Si la dosificación se mide en volumen, también debe considerarse el esponjamiento de la arena.
- **Modificación por rendimiento:** se comprueba si el volumen de hormigón producido en obra coincide con el volumen teórico calculado. Si hay diferencias (generalmente, superiores al  $\pm 3\%$ ), se ajustan las proporciones de los áridos para mantener la dosis de cemento y la relación agua/cemento.

- **Corrección por variaciones de la granulometría:** si la arena suministrada contiene proporciones de grava no previstas o si la granulometría general de los áridos varía, es necesario modificar las proporciones de arena y grava para mantener la consistencia y la compactación deseadas y asegurar el cumplimiento de las bandas granulométricas óptimas.

### 2.2.1. Dosificación del cemento

La dosificación del cemento es un aspecto clave en el hormigón estructural, ya que influye directamente en su resistencia, durabilidad, consistencia y en la uniformidad entre amasadas. Por ello, debe ajustarse a los criterios técnicos y a las exigencias del Código Estructural (2021). Este establece que la dosificación del cemento, de los áridos y, en su caso, de las adiciones se realice en peso, con el fin de garantizar la homogeneidad del hormigón y el cumplimiento del diseño previsto.

El contenido de cemento por metro cúbico está condicionado por los requisitos de durabilidad, la resistencia exigida y la clase de exposición ambiental. Se deben respetar los valores mínimos establecidos y, en el caso de hormigones ordinarios, no se deben superar los  $500 \text{ kg/m}^3$ , salvo justificación experimental y autorización expresa de la dirección facultativa. Asimismo, debe limitarse la relación agua/cemento, que no podrá superar el valor máximo prescrito, debido a su impacto decisivo en la durabilidad y el comportamiento estructural del hormigón.

En la práctica industrial, la dosificación gravimétrica es el método principal para controlar el cemento, al permitir medir de forma objetiva y repetible la aportación en cada amasada. Una central típica dispone de una tolva receptora suspendida sobre una báscula con chasis, dispositivos de pesaje, sistema de lectura y automatismos de control. El cemento se transporta desde los silos a la tolva mediante tornillos sinfín, aerodeslizadores o alimentadores rotativos, de forma continua y controlada para evitar segregaciones o variaciones en la alimentación.

Los sistemas de pesaje se clasifican en mecánicos y electrónicos. Entre los mecánicos destaca la báscula romana, que opera por palanca y comparación de pesos: un peso patrón se desplaza sobre una barra graduada hasta equilibrar la tolva cargada, y un fin de carrera detiene el suministro al alcanzar la masa deseada. Aunque son robustos y sencillos, presentan desventajas de precisión a largo plazo por desgaste, suciedad y sensibilidad a vibraciones industriales.

En cambio, los sistemas electrónicos basados en sensores de carga, son los dominantes en plantas modernas, por su estabilidad, ausencia de partes móviles e integración con sistemas automatizados. Un indicador electrónico de peso comunica al sistema de control cuando se alcanza el peso objetivo y, mediante mecanismos como interruptores Reed, se detiene automáticamente el tornillo sinfín para interrumpir la alimentación de cemento dentro de las tolerancias exigidas por el diseño y la normativa.

Las tolerancias de pesaje son explícitas en el Código Estructural (2021): la masa de cemento puede variar  $\pm 3$  % respecto al valor teórico de cada amasada, lo que exige calibrar y verificar periódicamente las básculas. Esta tolerancia se aplica a la pesada total del cemento en cada amasada, que debe realizarse con básculas independientes de las de los áridos, para garantizar la uniformidad entre lotes y la conformidad con la documentación técnica de suministro.

La descarga de cemento desde la tolva se puede efectuar de forma manual, mediante una palanca y una compuerta, o de forma automática, mediante temporizadores y controladores asociados al sistema de pesaje. La automatización reduce los tiempos de ciclo, minimiza los errores humanos y mejora la repetibilidad del proceso.

La dosificación y el pesaje deben complementarse con un sistema documental y de gestión de la calidad que garantice la trazabilidad de los datos, el almacenamiento adecuado de los materiales y el cumplimiento de los requisitos de durabilidad y resistencia. La normativa exige que cada material suministrado cuente con la documentación correspondiente y que, si una central no dispone de resultados históricos para una especificación, se realicen ensayos previos para verificar la conformidad normativa de la dosificación. La integración de sistemas electrónicos de pesaje con registros automáticos y control de datos facilita el cumplimiento de estas exigencias.

La dosificación del cemento y de los demás materiales debe realizarse dentro de un marco normativo más amplio. La norma europea EN 206 establece los requisitos relativos a la composición, la producción y el control del hormigón, incluyendo criterios sobre el uso de materiales, los límites de contenido y las prácticas de control. Estos criterios se integran con las disposiciones de la normativa estructural vigente en cada país, garantizando así un hormigón más homogéneo, duradero y seguro.

En conjunto, la dosificación en una planta de hormigón estructural se sustenta en metodologías gravimétricas, sistemas de pesaje calibrados, control automatizado y cumplimiento normativo, garantizando que el hormigón producido cumple los requisitos de diseño y de durabilidad, y satisface los criterios técnicos y legales aplicables en España y en las normas europeas.

### **2.2.2. Dosificación de los áridos**

La dosificación de los áridos es un proceso más complejo que la dosificación del cemento, pues debe considerarse el agua contenida en estos componentes. Esta agua puede estar presente en la superficie de los áridos, entre sus partículas e incluso en su interior, como ocurre con los áridos ligeros. Para lograr dosificaciones precisas, es fundamental mantener un conocimiento constante de las cantidades variables de agua. La dosificación de áridos puede realizarse de manera ponderal o volumétrica.

### 2.2.2.1. Dosificación por volumen

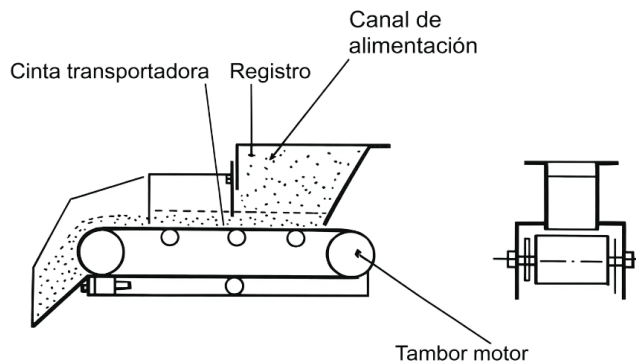
Un dosificador de áridos por volumen consta de una cinta transportadora, ubicada debajo de la tolva de almacenamiento, que se mueve a velocidad constante, y de un registro vertical que regula la altura del material extraído sobre la banda (Figuras 4 y 5). El volumen distribuido es proporcional al tiempo de descarga, el cual se controla mediante temporizadores.



**Figura 4.** Dosificador volumétrico de áridos

Fuente: [https://www.imer.fr/wp-content/uploads/2023/05/2976-PRECAST\\_EN.pdf](https://www.imer.fr/wp-content/uploads/2023/05/2976-PRECAST_EN.pdf)

Este procedimiento es independiente de la humedad de los materiales, por lo que resulta especialmente adecuado para áridos ligeros, cuya densidad varía según el contenido de agua. No obstante, el peso del material dosificado puede verse afectado por el grado de compactación en las tolvas, es decir, por la altura de la carga.



**Figura 5.** Detalle del dosificador volumétrico de áridos

Fuente: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2024/10/15/dosificacion-de-los-aridos-en-la-fabricacion-del-hormigon/>

La dosificación por volumen es más compleja que la dosificación por peso. En instalaciones pequeñas, donde la dosificación se realiza directamente en el *skip* o en otro dispositivo similar, los áridos se vierten hasta alcanzar niveles de referencia, lo que resulta lento y aumenta el riesgo de cometer errores.

Con alimentación por cinta transportadora, el control volumétrico es más sencillo: conociendo el ancho de la cinta y manteniendo una velocidad constante, basta medir el tiempo de funcionamiento para determinar el volumen alimentado. Los dosificadores volumétricos suelen instalarlos bajo el silo o la tolva y cargan el material en una cinta extractora.

Este método es barato, sencillo, requiere poco mantenimiento y ocupa poco espacio. Entre sus inconvenientes se encuentran la imprecisión debida al esponjamiento variable de las arenas, la irregularidad del caudal en la cinta transportadora y las posibles inconsistencias en la caída del material a través de las trampillas. Según los fabricantes, el error entre la cantidad programada y la obtenida es inferior al 2 %.

#### **2.2.2.2. Dosificación por peso**

La dosificación ponderal es el método preferido para cementos y áridos, ya que es más preciso y sencillo que la dosificación volumétrica.

Cuando las tolvas verticales descargan sobre una misma báscula, puede haber un sistema de pesaje aditivo, tal como se ha descrito con la báscula móvil y con sistemas de pesaje sustractivo. En este último caso, se llena la báscula y se determina el peso total; luego, se abre y se cierra la compuerta hasta que la aguja marque la diferencia deseada. Este método simplifica la instalación, ya que no requiere una tolva superior ni la dosificación mediante compuertas.

La báscula más aceptada es la de suspensión en cuatro puntos, que evita errores de peso causados por el desequilibrio de la carga en el recipiente. Aunque la báscula romana de cursor es económica y precisa, la balanza de resorte con índice se ha vuelto más común para áridos y cemento, ya que permite realizar múltiples pesadas aditivas y llevar a cabo un control adecuado en vacío, lo cual es especialmente importante en el caso del cemento. Además, algunos fabricantes utilizan básculas medidoras de presión, que miden el peso eléctricamente en lugar de recurrir a básculas mecánicas.

En las instalaciones con *skip* pesador, los áridos se descargan directamente en la cubeta de la mezcladora, por lo que no es necesaria la tolva fija. Este sistema reduce la altura del equipo y minimiza la necesidad de una fosa. Su principal inconveniente es que la dosificación no puede iniciarse hasta que el *skip* esté sobre la báscula, lo que ralentiza el ciclo de la hormigonera y reduce la producción.



**Figura 6.** Skip pesador de áridos

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=GA-uSCGYbWc>

### 2.2.3. Dosificación del agua

Para mantener la uniformidad en la medición del agua para la mezcla total, es necesario garantizar el peso exacto del agua añadida y controlar las fuentes adicionales de agua, como el agua utilizada para lavar la mezcladora, el hielo y el agua libre presente en los áridos. Una de las tolerancias especificadas para la precisión en la medición del agua de mezclado es de  $\pm 3\%$ .

El agua es el componente más sencillo de dosificar, gracias a la facilidad con que puede medirse y controlarse su caudal con precisión. Puede medirse por peso o por volumen; la dosificación ponderal es más precisa. Por otro lado, la dosificación volumétrica puede no ser del todo precisa debido a las características inherentes de los dispositivos utilizados y a posibles desajustes en su calibración. Además, los caudales pueden verse afectados por el uso de aguas ricas en cal, que pueden provocar incrustaciones, o por el uso de aguas muy calientes, que pueden generar vapor.

En la dosificación por peso, se emplean básculas con un recipiente apoyado en brazos, similares a las usadas para el cemento, que cuentan con lectura y automatización para regular la entrada y la descarga mediante válvulas. Algunas tienen descarga por aire comprimido para acelerar el suministro y reducir los ciclos, y otras tienen dos velocidades: una rápida para el 90 %-95 % y otra, lenta, para la precisión final. Estas básculas se utilizan principalmente en centrales que corrigen la humedad de la arena y cuentan con automatismos para realizar varias dosificaciones.

**Para seguir leyendo, inicie el  
proceso de compra, click aquí**