

## **Tema 4:** **Propiedades del hormigón**

### **CONTENIDO:**

1.	Introducción .....	2
2.	Durabilidad.....	2
2.1	Definición de la agresión exterior. Tipos de ambiente .....	3
2.2	Obtención de la durabilidad .....	5
3.	Propiedades del hormigón fresco .....	7
4.	Retracción del hormigón.....	9
5.	Propiedades del hormigón endurecido.....	14
5.1	Propiedades mecánicas .....	14
5.1.1	Resistencia a compresión. ....	14
5.1.1.1	Determinación de la resistencia estimada.....	19
5.1.1.2	Decisiones derivadas del control de resistencia.....	21
5.1.2	Resistencia a tracción.....	23
5.2	Propiedades reológicas.....	24
5.2.1	Deformaciones del hormigón .....	24
5.2.2	Diagrama tensión-deformación del hormigón .....	26
5.2.3	Módulo de deformación longitudinal del hormigón .....	27
6.	Dosificación .....	27
7.	Designación de los hormigones.....	28

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente tema se realiza un breve estudio de los factores fundamentales a tener en cuenta en la fabricación de un hormigón para que cumpla las condiciones de calidad que se le exige en el proyecto de una estructura de hormigón armado.

Estas exigencias de calidad del hormigón obedecerán tanto a criterios de resistencia y rigidez, como a criterios de durabilidad. Por lo tanto, se introduce el concepto de durabilidad, así como los factores (acciones físicas y químicas) que afectan a esta durabilidad.

Finalmente se estudian las características fundamentales que presenta el material hormigón en las distintas fases por las que atraviesa su formación, hasta alcanzar las características que se le exige como material de construcción.

## 2. DURABILIDAD

Como se ha visto en el Tema 1, la característica principal del hormigón armado es que se trata de un material mixto, compuesto por hormigón y acero. La finalidad del hormigón es doble: por una parte, específicamente resistente (con gran capacidad para resistir, con bajo coste, importantes solicitaciones de compresión), y por otra parte, de protección de las armaduras de acero.

Esta segunda dimensión está siendo cada vez más tenida en cuenta por los proyectistas y usuarios, ya que como dice el Código Estructural una estructura debe ser proyectada y construida para que sea resistente, con suficiente seguridad, durante el periodo de vida útil previsto en el proyecto, así como para resistir la agresividad del ambiente. En efecto, de poco sirve realizar una estructura aparentemente resistente y económica si tras pocos años va a manifestar, debido a la agresividad del ambiente, patologías que comprometan su seguridad y/o funcionalidad, obligando a realizar reparaciones costosas o incluso a afrontar la demolición (ver Figura 1 a Figura 4).



Figura 1. Degradación por corrosión de las armaduras



Figura 2. Degradación del hormigón en presencia de sulfatos



Figura 3. Degradación del hormigón por heladas

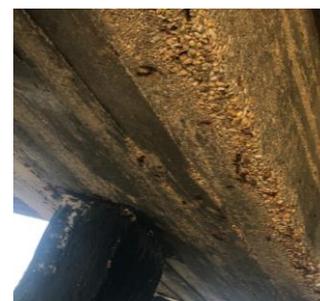


Figura 4. Degradación del hormigón por erosión

El fenómeno de degradación más importante de las estructuras de hormigón armado es el de la corrosión de las armaduras, que se produce por ausencia, escasez o baja calidad del recubrimiento de hormigón para las condiciones ambientales a las que ha estado expuesto el elemento estructural.

Otras formas de degradación tienen su origen en agresiones químicas, como puede ser la causada por sulfatos, y otras físicas, como las debidas a las heladas o a la erosión mecánica.

Se define la **durabilidad** de una estructura de hormigón como su capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural.

## 2.1 Definición de la agresión exterior. Tipos de ambiente

Para tener en cuenta el conjunto de condiciones físicas y químicas a las que va a estar sometida la estructura, y poder así incorporar en el proyecto medidas destinadas a garantizar la durabilidad deseada, el Código Estructural define la agresión ambiental a través de las clases de exposición que se muestran en la Tabla 1 para la degradación por **corrosión** (clase general) y la Tabla 2 para otros procesos de degradación **distintos de la corrosión** de las armaduras (clases específicas). La clasificación de la agresividad del ataque químico se realizará de acuerdo con los criterios establecidos en la Tabla 3 (Tabla 27.1.b del Código Estructural).

Un elemento estructural siempre estará sometido a una clase de degradación por corrosión (clase general) y, además, podrá estarlo a ninguna, una o varias clases de degradación distinta de la corrosión (clases específicas), pero no podrá estarlo simultáneamente a más de una de las subclases definidas para cada una de estas clases.

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

En la memoria se justificará la selección de las clases de exposición consideradas para los distintos elementos estructurales. Así mismo en los planos se reflejará el tipo de ambiente para el que se ha proyectado cada elemento.

Tipo ataque	Clase	Descripción	Ejemplos
1. Sin riesgo de ataque por corrosión	X0	Para hormigón en masa: todas las exposiciones salvo donde haya ataque hielo/deshielo, abrasión o ataque químico. Para hormigón con armaduras en un ambiente muy seco.	Elementos de hormigón en masa. Elementos de hormigón en interiores de edificios con una humedad muy baja. (HR<45%)
2. Corrosión inducida por carbonatación	XC1	Seco o permanentemente húmedo.	Elementos de hormigón armado o pretensado dentro de recintos cerrados (tales como edificios), con humedad del aire baja. (HR<65%) Elementos de hormigón armado o pretensado permanentemente sumergido en agua no agresiva.
	XC2	Húmedo, raramente seco.	Elementos de hormigón armado o pretensado permanentemente en contacto con agua o enterradas en suelos no agresivos (por ejemplo, cimentaciones).
	XC3	Humedad moderada.	Elementos de hormigón armado o pretensado dentro de recintos cerrados (tales como edificios), con humedad media o alta. (HR>65%) Elementos de hormigón armado o pretensado en el exterior, protegidos de la lluvia.
	XC4	Sequedad y humedad cíclicas.	Elementos de hormigón armado o pretensado en el exterior, expuestos al contacto con el agua, de forma no permanente (por ejemplo, la procedente de la lluvia)
3. Corrosión inducida por cloruros de origen no marino	XD1	Humedad moderada.	Elementos de hormigón armado o pretensado en el exterior, expuestas a aerosoles con iones cloruro con origen no marino. Piscinas.
	XD2	Húmedo, raramente seco.	Elementos de hormigón armado o pretensado expuestos a aguas industriales que contienen cloruros
	XD3	Ciclos humedad y secado.	Elementos de puentes expuestos a salpicaduras de aguas con cloruros, situados a menos de 10 metros de distancia horizontal o a menos de 5 metros de distancia vertical de una zona de rodadura donde se usen sales de deshielo. Elementos enterrados a menos de 1 metro del borde de una zona de rodadura donde se usen sales de deshielo. Losas en aparcamientos
4. Corrosión inducida por cloruros de origen marino	XS1	Expuestos a aerosoles marinos, pero no en contacto directo con el agua del mar.	Elementos estructurales de hormigón armado o pretensado sometidos a los aerosoles marinos, ubicados en la costa o cerca de la costa.
	XS2 <sup>2</sup>	Permanentemente sumergida en agua de mar.	Elementos estructurales de hormigón armado o pretensado permanentemente sumergidos en agua marina.
	XS3 <sup>2</sup>	Zonas de carrera de mareas afectadas por el oleaje o salpicaduras	Elementos estructurales de hormigón armado o pretensado situados en zona de carrera de mareas, afectadas por el oleaje o salpicaduras.

 Se exige cementos resistentes al agua de mar (MR)

Tabla 1. Clases de exposición frente al fenómeno de **corrosión** según Código Estructural

Tipo ataque	Clase	Descripción	Ejemplos
5. Ataque hielo/deshielo	XF1	Saturación moderada, sin sales fundentes.	Elementos con superficies verticales expuestas a lluvia y helada (tales como fachadas y pilares). Elementos con superficies horizontales saturados, pero expuesto a lluvia y helada.
	XF2	Saturación moderada, con sales fundentes.	Mismo tipo de elementos que en la clase XF1, pero expuestos a sales fundentes, bien directamente o bien a sus salpicaduras y/o escorrentía (por ejemplo dinteles, pilas, cargaderos, etc.).
	XF3	Saturación alta, sin sales fundentes.	Elementos con superficies horizontales donde se pueda acumular el agua y estén expuestas a la helada.
	XF4	Saturación alta, con sales fundentes.	Elementos con superficies horizontales donde se pueda acumular el agua y estén expuestas a la helada y sales fundentes, bien directamente o bien a sus salpicaduras.
6. Ataque químico	XA1	Ambiente de una débil agresividad química (ver Tabla 3)	Terrenos naturales y aguas subterráneas.
	XA2	Ambiente de una moderada agresividad química (ver Tabla 3)	Terrenos naturales y aguas subterráneas.
	XA3	Ambiente de una alta agresividad química (ver Tabla 3)	Terrenos naturales y aguas subterráneas.
7. Erosión	XM1	Elementos sometidos a erosión/abrasión moderada	Losas sometidas al tráfico de vehículos
	XM2	Elementos sometidos a erosión/abrasión intensa	Losas en zonas industriales sometidas al tráfico de carretillas de horquillas con neumáticos.
	XM3	Elementos sometidos a erosión/abrasión extrema	Losas en zonas industriales sometidas al tráfico de carretillas de horquillas con ruedas de acero o cadenas.

Tabla 2. Clases de exposición frente a otros procesos de degradación **distintos de la corrosión** de las armaduras según Código Estructural

Tipo de medio agresivo	Parámetros	Tipo de exposición		
		XA1 Agresividad débil	XA2 Agresividad moderada	XA3 Agresividad alta
Agua	Valor del pH	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
	CO <sub>2</sub> agresivo (mg CO <sub>2</sub> /l)	15 - 40	40 - 100	> 100
	Ión amonio (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /l)	15 - 30	30 - 60	> 60
	Ión magnesio (mg Mg <sup>2+</sup> /l)	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
	Ión sulfato (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l)	200 - 600	600 - 3000 <sup>✍</sup>	> 3000 <sup>✍</sup>
Suelo	Residuo seco (mg/l)	75 - 150	50 - 75	< 50
	Grado de acidez Baumann-Gully	> 20	①	①
	Ión sulfato (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /kg de suelo seco)	2000 - 3000	3000 - 12000 <sup>✍</sup>	> 12000 <sup>✍</sup>

① Estas condiciones no se dan en la práctica

✍ Se exige cementos resistentes a los sulfatos (SR)

Tabla 3. Clasificación de la agresividad química

## 2.2 Obtención de la durabilidad

Para garantizar la durabilidad adecuada de la estructura se procederá de la siguiente forma:

- Utilizando técnicas preventivas en el momento de **proyecto**. En función del tipo de agresión ambiental al que van a estar sometidos los distintos elementos estructurales, se deciden los siguientes aspectos:
  - Las formas y detalles estructurales

En general, la idea que debe seguirse para la realización de las formas y detalles estructurales es la de evitar la acumulación de agua y la de evacuar de la forma más rápida posible el agua. En la Figura 5. Detalle estructural de goterón para mejorar la durabilidad de los elementos volados se muestra el típico detalle de goterón para evitar que el agua de lluvia se deposite bajo los elementos volados, donde su eliminación suele ser más difícil al tratarse de zonas sombrías.

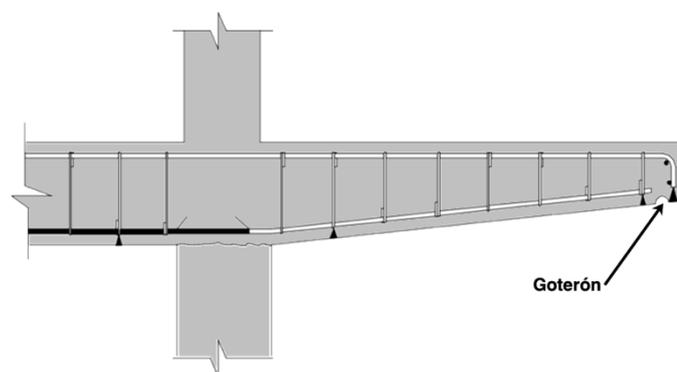


Figura 5. Detalle estructural de goterón para mejorar la durabilidad de los elementos volados

- El **tipo de hormigón** (incluyendo sus constituyentes, cemento y aditivos). En la Tabla 4 se recogen las limitaciones de contenido de cemento y relación agua/cemento que establece el Código Estructural (Tablas 43.2.1a y 43.2.1b) en función de la clase de exposición ambiental, así como la resistencia característica mínima del hormigón (veremos el concepto de resistencia característica más adelante).

Clase		Máxima relación agua/cemento			Contenido mínimo de cemento (kg/m <sup>3</sup> )			Resistencia característica (N/mm <sup>2</sup> ) □			
		Masa	Armado	Pretensado	Masa	Armado	Pretensado	Masa	Armado	Pretensado	
Corrosión	Sin riesgo	XC0	0,65	0,65	0,6	200	250	275	20	25	25
	Carbonatación	XC1	-	0,6	0,6	-	275	300	-	25	25
		XC2	-	0,6	0,6	-	275	300	-	25	25
		XC3	-	0,55	0,55	-	300	300	-	30	30
		XC4	-	0,55	0,55	-	300	300	-	30	30
	Cloruros Marinos	XS1	-	0,5	0,45	-	300	300	-	30	30
		XS2	-	0,5	0,45	-	325	325	-	30	35
		XS3	-	0,45	0,45	-	350	350	-	35	35
	Cloruros no marinos	XD1	-	0,5	0,45	-	325	325	-	30	35
		XD2	-	0,5	0,45	-	325	325	-	30	35
XD3		-	0,5	0,45	-	325	325	-	30	35	
Hielo/Deshielo	XF1	0,55	0,55	0,45	275	300	300	30	30	30	
	XF2	0,5	0,5	0,5	300	325	325	30	30	30	
	XF3	0,55	0,55	0,45	275	300	300	30	30	30	
	XF4	0,5	0,5	0,5	300	325	325	30	30	30	
Agresión química	XA1	0,5	0,5	0,5	275	325	325	30	30	30	
	XA2	0,5	0,5	0,45	300	350	350	30	30	35	
	XA3	0,45	0,45	0,45	325	350	350	35	35	35	
Erosión	XM1	0,5	0,5	0,5	300	325	325	30	30	30	
	XM2	0,5	0,5	0,5	300	325	325	30	30	30	
	XM3	0,5	0,5	0,5	300	325	325	30	30	30	

□ Estos valores son obligatorios.

Tabla 4. Criterios de dosificación y resistencia del hormigón según Código Estructural

- Un **recubrimiento** adecuado que garantice la protección de las armaduras. Sobre este asunto profundizaremos en el Tema 05 cuando veamos la disposición de las armaduras dentro de la sección de hormigón. En este tema, únicamente a modo de ejemplo, indicamos en la Tabla 5 y Tabla 6 los recubrimientos mínimos que establece el Código Estructural (Tabla 44.2.1.1.a y Tabla 44.2.1.1.b) para los ambientes asociados a la degradación por corrosión de las armaduras.

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [N/mm <sup>2</sup> ]	Vida útil de proyecto (t <sub>g</sub> ), [años]	
			50	100
X0	Cualquiera	f <sub>ck</sub> ≥ 25	15	25
XC1, XC2 ó XC3	CEM I	25 ≤ f <sub>ck</sub> < 40	15	25
		f <sub>ck</sub> ≥ 40	10	20
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	25 ≤ f <sub>ck</sub> < 40	20	30
		f <sub>ck</sub> ≥ 40	15	25
XC4	CEM I	25 ≤ f <sub>ck</sub> < 40	20	30
		f <sub>ck</sub> ≥ 40	15	25
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	25 ≤ f <sub>ck</sub> < 40	25	35
		f <sub>ck</sub> ≥ 40	20	30

Tabla 5. Recubrimientos mínimos (mm) para las clases generales de exposición X0 y XC.

Hormigón	Cemento	Vida útil de proyecto ( $t_g$ ) (años)	Clase de exposición			
			XS1	XS2	XS3	XD1, XD2, XD3
Armado	CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D, CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, u hormigón con adición de microsílíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%	50	25	30	35	35
		100	30	35	40	40
	Resto de cementos utilizables	50	45	40	❶	❶
		100	65	❶	❶	❶
Pretensado	CEM II/A-D o bien con adición de humo de sílice superior al 6%	50	30	35	40	40
		100	35	40	45	45
	Resto de cementos utilizables, según el Artículo 26 <sup>o</sup>	50	65	45	❶	❶
		100	❶	❶	❶	❶

❶ 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, a partir de las características del hormigón prescrito en el Pliego de prescripciones técnicas del proyecto.

Tabla 6. Recubrimiento mínimo (mm) para las clases generales de exposición XS y XD

- ❑ El valor máximo aceptable de **abertura de fisuras** en el hormigón. En la Tabla 7 se recogen los valores que establece el Código Estructural (Tabla 27.2).

Clase de exposición	Hormigón armado	Hormigón pretensado
X0 <sup>o</sup> , XC01 <sup>o</sup>	0,4	0,2
XC2, XC3, XF1, XF3, XC4	0,3	0,2 <sup>o</sup>
XS1, XS2, XD1, XD2, XD3, XF2, XF4, XA1 <sup>o</sup>	0,2	Descompresión
XS3, XA2 <sup>o</sup> , XA3 <sup>o</sup>	0,1	

❶ Adicionalmente deberá comprobarse que las armaduras activas se encuentran en la zona comprimida de la sección, bajo la combinación cuasi-permanente de acciones.  
 ❷ Para las clases de exposición X0 y XC1, la apertura de fisura no influye normalmente en la durabilidad. Los valores recogidos en la tabla para estos casos se establecen para garantizar un aspecto aceptable.  
 ❑ La limitación relativa a las clases XA1, XA2 y XA3 sólo será de aplicación en el caso de que el ataque químico pueda afectar a la armadura.

Tabla 7. valor máximo aceptable de apertura de fisuras,  $w_{m\acute{a}n}$  [mm]

- ❑ En caso de ambientes muy agresivos, las eventuales medidas de protección superficiales, y de protección de las armaduras contra la corrosión.
- ❑ Utilizando técnicas de control, en el momento de la **ejecución**, asegurando que se respetan estrictamente:
  - ↪ las prescripciones de proyecto,
  - ↪ una serie de reglas de buena práctica encaminadas a la realización de una estructura íntegra, con un hormigón de elevada calidad y curado adecuadamente.

### 3. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

El hormigón fresco es un material heterogéneo formado por elementos sólidos (áridos y cemento), líquidos (agua) y gaseosos (aire ocluido). Además, los elementos sólidos son muy heterogéneos entre sí ya que están constituidos por granos de distinto tamaño y naturaleza. En general se denomina amasada a la cantidad de hormigón fabricada de una sola vez.

Entre las propiedades del hormigón fresco figuran:

- ❑ La **homogeneidad**. Corresponde con el mantenimiento de características similares dentro de una misma amasada.

- La **uniformidad**. Corresponde con el mantenimiento de características similares entre distintas amasadas.
- La **densidad**. El procedimiento de ensayo viene recogido en la Norma UNE-EN 12350-6:2006 “Ensayos de hormigón fresco. Parte 6: Determinación de la densidad”.
- La **docilidad**. Se define como la aptitud de un hormigón para ser puesto en obra con los medios de compactación de que se dispone. Depende, entre otros, de los siguientes factores:
  - ↳ De la cantidad de agua de amasado. A menor cantidad de agua menor docilidad.
  - ↳ De la granulometría y naturaleza de los áridos. Los áridos grandes y los procedentes de machaqueo presentan una menor docilidad que los áridos pequeños y naturales de aristas redondeadas.
  - ↳ Del contenido de cemento. A mayor contenido de cemento menor docilidad.
- La **consistencia**. La docilidad del hormigón es un concepto cualitativo. Para cuantificar este concepto surge el de consistencia, cuyo valor se obtiene mediante los ensayos oportunos, entre los cuales destaca el método del cono de Abrams<sup>1</sup>. Es éste un molde troncocónico de 30 cm de altura que se rellena con el hormigón a ensayar. La pérdida de altura que experimenta la masa fresca del hormigón una vez desmoldada, expresada en centímetros, da la medida de su consistencia.



Figura 6. Ensayo del cono de Abrams para la medida de la consistencia

Las distintas consistencias y los valores límites de los asentamientos correspondientes en el cono de Abrams son los que se indican en la Tabla 8 y en la Figura 7:

Consistencia	Código Estructural	
	Asiento en cm	Tolerancia
Seca <sup>2</sup>	0-2	±1
Plástica	3-4	±1
Blanda	5-9	±1
Fluida	10-15	±1
Líquida	16-21	±1

<sup>1</sup> El procedimiento de ensayo viene recogido en la Norma UNE-EN 12350-2:2009; “Ensayos de hormigón fresco. Parte 2: Ensayo de asentamiento”.

<sup>2</sup> Para la consistencia seca debe emplearse el método de la mesa vibratoria que viene recogido en la Norma UNE-EN 12350-3:2009 “Ensayos de hormigón fresco. Parte 3: Ensayo Vebe”

Tabla 8. Valores límites de los asientos según la consistencia

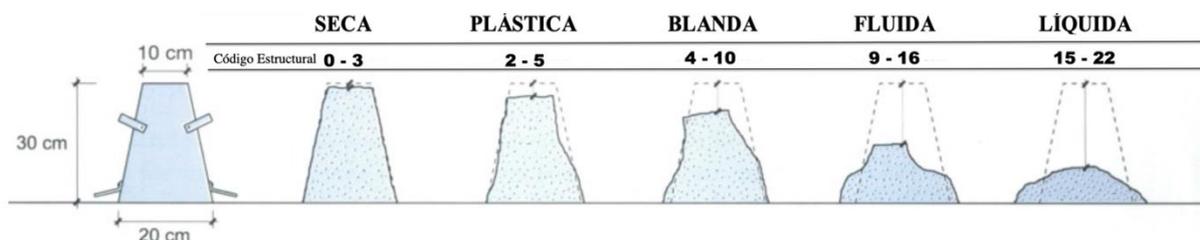


Figura 7. Valores límites de los asientos según la consistencia

En el caso de hormigones para edificación, la EHE-08 recomendaba en general que el asiento en el cono de Abrams no sea inferior a 6 cm (EHE-Comentarios 31.5), es decir, se recomendaba el empleo de hormigones de consistencia Blanda. El Código Estructural, en obras de edificación, para pilares, forjados y vigas, obliga a utilizar un hormigón de consistencia Fluida salvo justificación en contra (Artículo 33.5) La consistencia Seca suele utilizarse en elementos prefabricados y la consistencia Plástica en elementos hormigonados en pendiente (losas zancas, rampas...).

**4. RETRACCIÓN DEL HORMIGÓN**

La retracción del hormigón es el fenómeno que se produce cuando, durante el proceso de fraguado y endurecimiento en contacto con el aire, el hormigón contrae de volumen. La retracción puede explicarse por la pérdida paulatina de agua en el hormigón. Los factores que influyen en la retracción son, con su respectiva influencia:

FACTOR	INFLUENCIA
La cantidad de agua de amasado	A mayor cantidad de agua mayor retracción
La humedad del ambiente	A mayor humedad menor retracción
El tipo y clase del cemento	Dan mayor retracción los cementos más resistentes y rápidos a igualdad de las restantes variables
La finura de molido del cemento	A mayor finura mayor retracción
La presencia de finos en el hormigón	A mayor presencia de finos mayor retracción
La armadura existente en el hormigón	El hormigón armado retrae menos que el hormigón en masa

Tabla 9. Influencia de los factores fundamentales en la retracción



Figura 8. Fisuras de retracción

La retracción es una deformación impuesta que provoca tensiones de tracción y, por consiguiente, fisuras cuando se encuentra impedido el libre acortamiento del hormigón; por ello tiene tanta más influencia cuanto más rígida es una estructura. Ejemplos de fisuras de retracción se muestran en la Figura 9, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

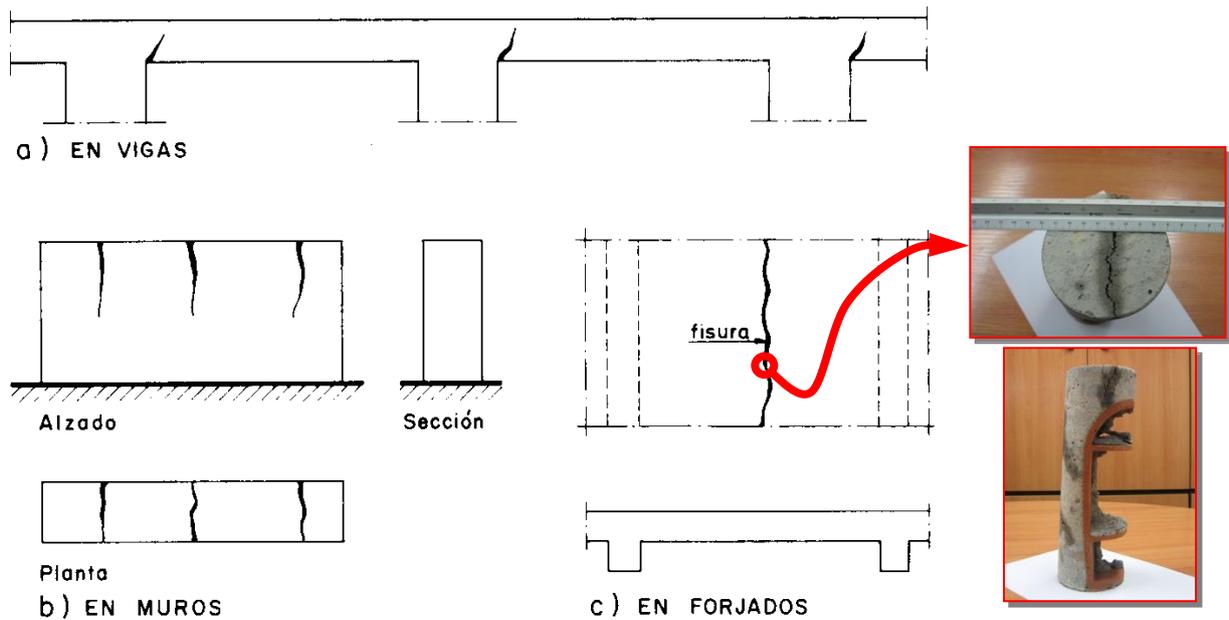


Figura 9. Fisuras de retracción en distintos elementos de hormigón



Figura 10. Fisura de retracción en una valla de hormigón en masa, consecuencia de la coacción existente en sus extremos

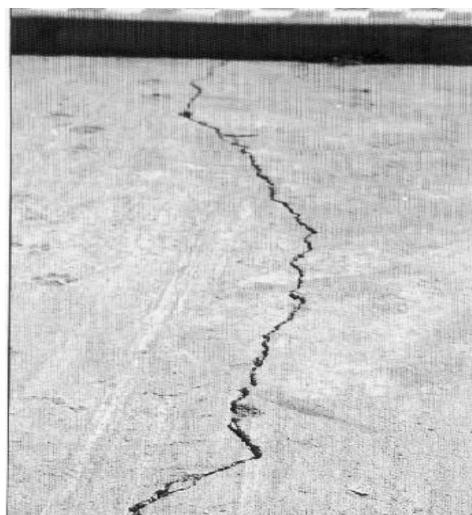


Figura 11. Fisura de retracción en una solera de hormigón sin armadura en su cara superior, consecuencia del fuerte soleamiento durante su fraguado y endurecimiento

La cuantía de la retracción en hormigones normales puede evaluarse, según la Instrucción EHE (Artículo 39.7) en función de las siguientes variables:

- tiempo transcurrido desde la ejecución  $t-t_s$   
donde:
  - ↳  $t$ : es la edad del hormigón en el instante de evaluación
  - ↳  $t_s$ : es la edad del hormigón al comienzo de la retracción
- humedad relativa en el ambiente
- espesor medio de la pieza, definido convencionalmente como

$$e = \frac{2 \cdot A_c}{u}$$

donde:

- ↳  $A_c$ : es el área de la sección transversal
- ↳  $u$ : es el perímetro en contacto con la atmósfera

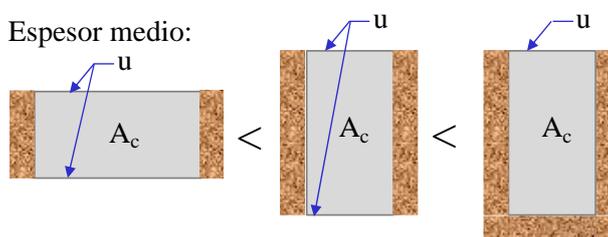


Figura 12. Evolución del espesor medio al reducirse el perímetro en contacto con la atmósfera

A partir de ellas, la Tabla 10 de triple entrada suministra los valores relativos de retracción [expresados adimensionalmente, en  $10^{-6}$ ]:

$t-t_s$ [días]	Humedad relativa [%]											
	50			60			70			80		
	Espesor medio $e$ [mm]: $e = \frac{2 \cdot A_c}{u}$											
	50	150	600	50	150	600	50	150	600	50	150	600
14	-193	-69	-17	-173	-61	-15	-145	-51	-13	-107	-38	-10
30	-262	-99	-25	-235	-89	-23	-197	-75	-19	-146	-55	-14
90	-369	-166	-44	-331	-149	-39	-277	-125	-33	-206	-93	-24
365	-466	-292	-87	-417	-262	-78	-350	-219	-65	-260	-163	-49
1.825	-507	-434	-185	-454	-388	-165	-381	-326	-139	-283	-242	-103
10.000	-517	-499	-345	-463	-448	-309	-388	-375	-259	-288	-279	-192

Tabla 10. Valores de la retracción [ $10^{-6}$ ]

A la vista de los valores de esta tabla, para reducir la retracción, se deberá intentar aumentar la humedad ambiental y aumentar el espesor medio.

En general, para paliar los efectos de la retracción se emplean los siguientes procedimientos:

- Proteger y realizar un curado prolongado de las superficies, especialmente en tiempo seco.

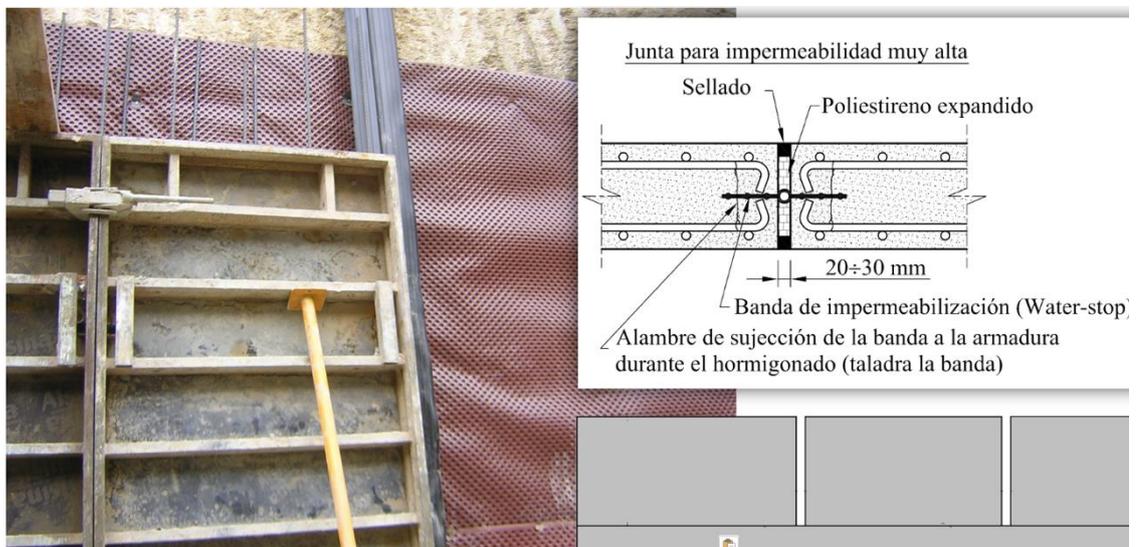


Figura 13. Curado mediante riego directo durante el fraguado y primer período de endurecimiento del hormigón.

- Disponer junta permanente (estructuras, muros, pavimentos...) o temporales (muros, presas, arcos...). Estas últimas se hormigonan después, cuando las dos partes aisladas han experimentado la mayor parte de su retracción.



Figura 14. Junta estructural para evitar longitudes superiores a  $40 \pm 10$  metro



Figuras 15. Junta estructural permanente en muros

- Disponer armaduras repartidas en forma de malla superficial (capa de compresión de forjados), armaduras de piel (vigas esbeltas), armadura horizontal en muros, armadura de montaje de ábacos...



Figura 16. Armadura de reparto en la capa de compresión de forjados

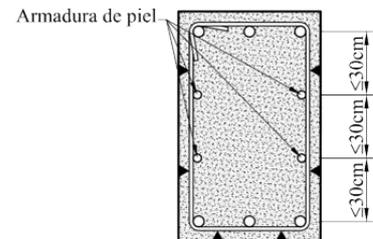


Figura 17. Armadura de piel en vigas esbeltas



Figura 18. Armadura horizontal en muros

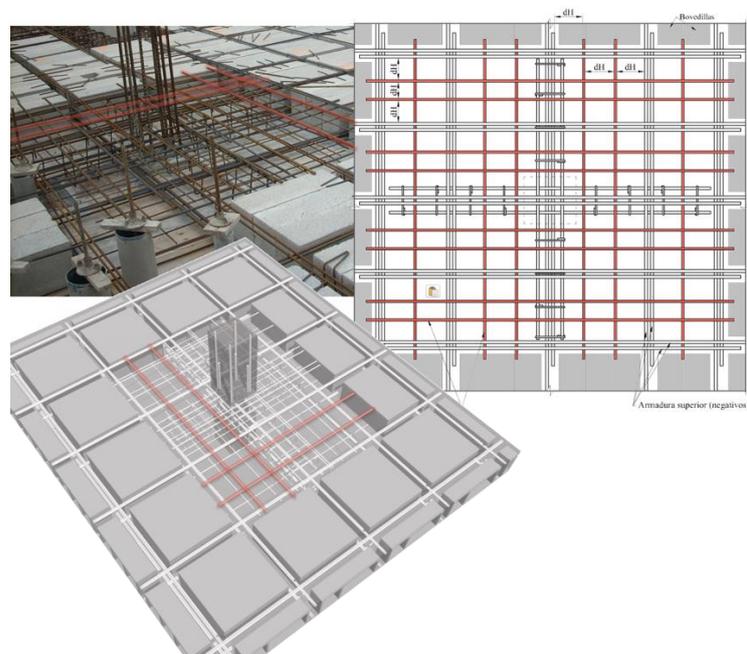


Figura 19. Armadura de montaje de ábacos (dos barras por casetón superior e inferiormente)

Puede visualizarse en 3D esta armadura en el siguiente link:  
<https://skfb.ly/o7WRS>

## 5. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

### 5.1 Propiedades mecánicas

#### 5.1.1 Resistencia a compresión.

Desde el punto de vista estructural, la resistencia a compresión simple es sin duda la característica mecánica más importante de un hormigón. Su determinación se realiza mediante ensayos normalizados sobre probetas cilíndricas o cúbicas.

En la figura 5-1 se muestran las distintas etapas necesarias para la obtención de la resistencia a compresión del hormigón por rotura de probetas cilíndricas.



Fabricación de probetas en obra



Conservación en cámara húmeda del laboratorio de ensayos



Refrentado. Obtención de la planeidad de la cara superior de la probeta



Rotura de la probeta. Se muestra la probeta antes y después de romper

Figura 20. Etapas del proceso de obtención de la resistencia a compresión del hormigón

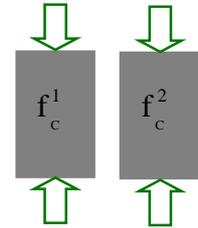
La resistencia del hormigón a compresión establecida en el Código Estructural se refiere a la resistencia de la unidad de producto o amasada. Se obtiene, a partir de los resultados de los ensayos de rotura a compresión, en número igual o superior a dos, realizados sobre probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro

y 30 cm de altura, de 28<sup>3</sup> días de edad, fabricadas, conservadas, refrentadas y rotas por compresión según métodos normalizados<sup>4</sup>.

Esta definición presupone la homogeneidad del hormigón de cada amasada, lo cual implica atribuir a errores propios de los métodos de ensayo (momento y forma de la toma de la muestra, ejecución de la probeta, transporte y conservación, etc.), las posibles discrepancias entre los resultados obtenidos en las distintas probetas de la misma amasada. De esta forma, no se consideraran los ensayos cuando los resultados de las probetas presenten las siguientes desviaciones, en términos del recorrido relativo *r* (diferencia entre el mayor resultado y el menor, dividida por el valor medio):

$$\text{Para dos probetas: } r = \frac{f_c^2 - f_c^1}{\frac{(f_c^1 + f_c^2)}{2}} \leq 0,13$$

$$\text{Para tres probetas: } r = \frac{f_c^3 - f_c^1}{\frac{(f_c^1 + f_c^2 + f_c^3)}{3}} \leq 0,20$$



donde  $f_c^i$  representa la resistencia a compresión de la probeta *i* (ordenadas de menor a mayor).

Si la condición anterior se cumple, la resistencia a compresión del hormigón de la amasada vendrá dada por el valor medio de los resultados de las distintas probetas.

Según el cuidado y rigor con que se confeccione el hormigón, los resultados de estos ensayos serán más o menos dispersos. Esta circunstancia ha de tenerse en cuenta al definir un hormigón por su resistencia. Los problemas que se presentan al intentar calificar un hormigón por su resistencia son los siguientes:

- ❶ No se conoce la resistencia del hormigón de una amasada hasta los 28 días de su puesta en obra, de tal forma que para entonces, con los ritmos actuales de ejecución, puede ser demasiado tarde.

Para intentar paliar esta situación es habitual ensayar dos probetas a los 7 días de edad, al objeto de poder obtener con suficiente antelación un indicativo de la posible calidad del hormigón colocado en obra. En estos casos, de cada amasada que se ensaya se extraen cuatro probetas en vez de dos (ver Figura 20). Dos se ensayan a 7 días y otras dos a 28 días, siendo los primeros resultados informativos y los últimos los que definen convencionalmente la resistencia del hormigón.

- ❷ Dados *n* resultados de resistencia ( $f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cN}$ ) obtenidos al ensayar las *N* amasadas del hormigón la estructura ¿Cuál es el valor que represente la resistencia de ese hormigón? (ver Figura 21).

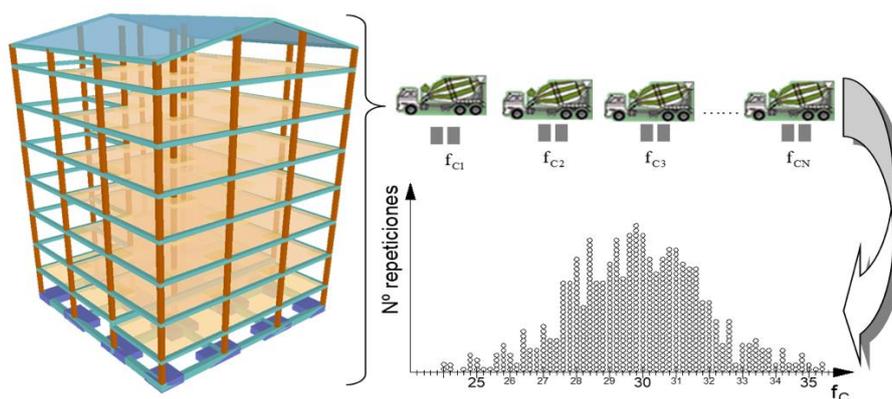


Figura 21. Determinación de la resistencia del hormigón de una estructura

<sup>3</sup> En algunas obras en las que el hormigón no vaya a estar sometido a solicitaciones en los tres primeros meses a partir de su puesta en obra, podrá referirse la resistencia a compresión a la edad de 90 días.

<sup>4</sup> Las normas UNE que recogen estos métodos son:

- UNE-EN 12350-1:2009. Ensayos de hormigón fresco. Parte 1: Toma de muestras
- UNE-EN 12390-2:2009. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia
- UNE-EN 12390-3:2009. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas

Una primera respuesta a este problema consiste en adoptar, para dicho valor, la media aritmética ( $f_{cm}$ ) de los  $N$  valores. Pero el valor así obtenido no refleja la verdadera calidad del hormigón, al no intervenir en su cálculo la dispersión de los resultados.

Por tal motivo se ha adoptado el concepto de resistencia característica, medida estadística obtenida haciendo intervenir simultáneamente el valor de la resistencia media y el coeficiente de variación de la serie de resultados. De esta forma, se define como **resistencia característica**  $f_{ck}$  de un hormigón, aquel valor que presenta un nivel de confianza del 95%, es decir, que existe una probabilidad del 5% de que se presenten valores individuales de resistencia inferiores a la resistencia característica  $f_{ck}$ . Dicho de un modo más sencillo, un hormigón de resistencia característica  $f_{ck}$  sería aquel del que, fabricadas y rotas 100 probetas, solamente 5 darían valores de resistencias inferiores a  $f_{ck}$ .

Asociado a este concepto de resistencia característica surgen otros tres:

- **Resistencia característica de proyecto  $f_{ck}$** : es el valor que se adopta en el proyecto como base de los cálculos. Se denomina también **resistencia especificada**.

El Código Estructural, para la resistencia característica especificada, recomienda en el artículo 33.6 la utilización de la siguiente serie:

20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100

en la cual las cifras indican la resistencia característica especificada del hormigón a compresión a 28 días, expresadas en  $N/mm^2$ . La resistencia de 20  $N/mm^2$  se limita en su utilización a hormigones en masa.

La resistencia de 25  $N/mm^2$  se emplea generalmente en edificación, salvo que exista una clase de ambiente agresivo en cuyo caso puede llegar a utilizarse la resistencia de 30 ó 35  $N/mm^2$  (ver Tabla 4). Las restantes resistencias se suelen utilizar en obras importantes de ingeniería y en prefabricación.

- **Resistencia característica real  $f_{c,real}$  de la obra**: es el valor que corresponde a un nivel de confianza del 95% en la distribución de resistencias del hormigón colocado en obra.

En la mayoría de los casos, puede suponerse que la resistencia del hormigón se comporta de acuerdo con una distribución gaussiana (Figura 22), en cuyo caso la resistencia característica real  $f_{c,real}$ , viene dada por la expresión:

$$f_{c,real} = f_{cm} (1 - 1,64 \cdot \delta)$$

donde  $f_{cm}$  es la resistencia media y  $\delta$  es el coeficiente de variación de la población.

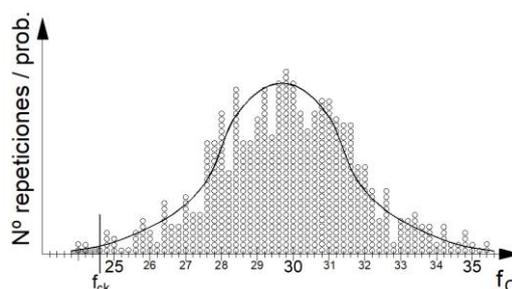


Figura 22

- **Resistencia característica estimada  $f_{c,est}$** : 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 sobre probetas tomadas en obra.
- Ⓢ Es necesario tener ejecutada toda la estructura para poder conocer la resistencia del hormigón, situación que puede ser crítica si la resistencia obtenida no alcanza el valor especificado en proyecto.

Para intentar minimizar este problema el Código Estructural permite dividir la estructura en unidades más pequeñas, denominadas LOTES, a las que se les calcula su resistencia característica y para los que se establecen los criterios de aceptación del hormigón (ver Figura 23).

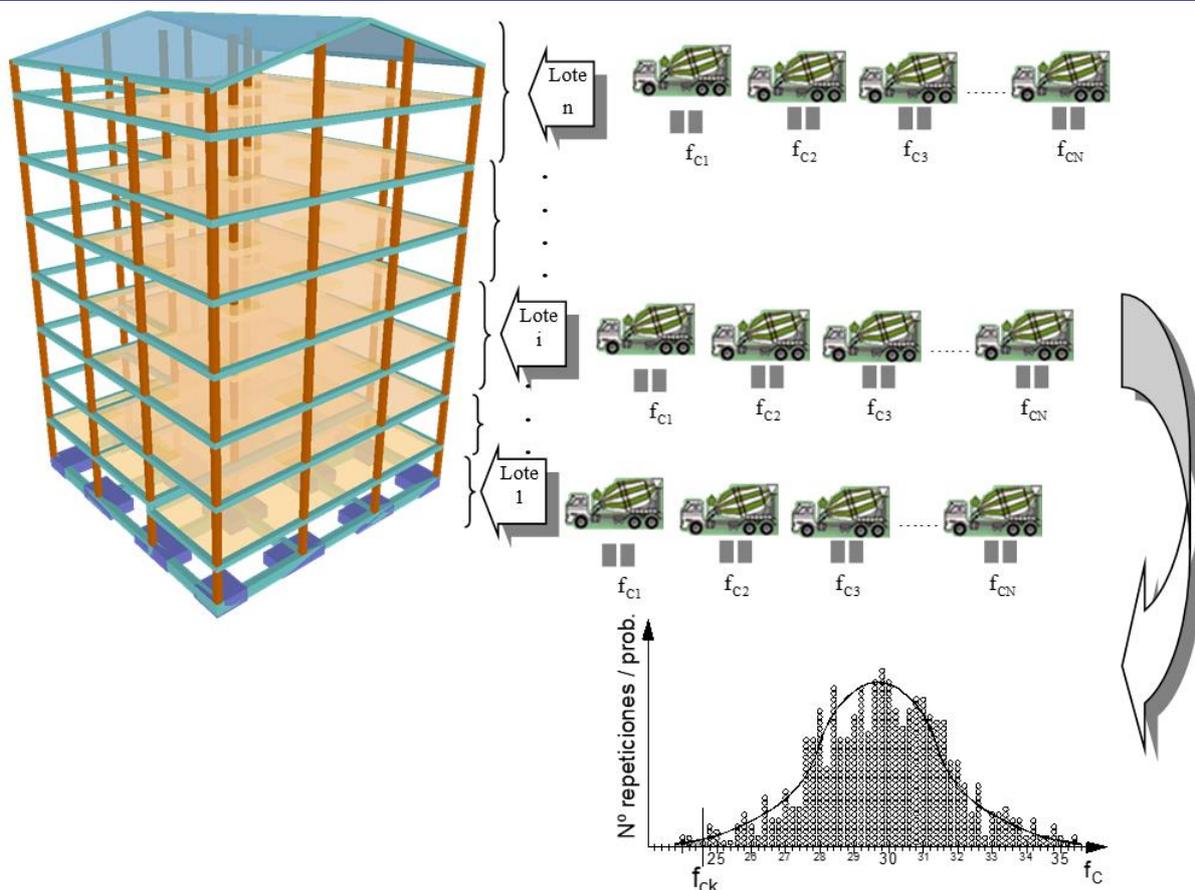


Figura 23. Determinación de la resistencia característica del hormigón de un lote

El tamaño del lote de control queda definido, según Código Estructural, con los criterios que se indican en la Tabla 11

Tipo de elemento	Volumen de hormigón	Tiempo de hormigonado	Nº de elementos
Cimentaciones con elementos de volumen superior a 200 m <sup>3</sup>	V. vertido de forma continua	1 semana	1 elemento
Cimentaciones superficiales con elementos de volumen inferior a 200 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>	1 semana	-
Vigas, forjados, losas para pavimentos y otros elementos trabajando a flexión	100 m <sup>3</sup>	2 semanas	1000 m <sup>2</sup> de superficie construida 2 plantas (**)
Losa superior o inferior en marcos	200 m <sup>3</sup> V. vertido de forma continua	2 días	totalidad del elemento (losa superior o losa inferior)
Pilares y muros portantes de edificación	100 m <sup>3</sup>	2 semanas	500 m <sup>2</sup> de superficie construida (*) 2 plantas (**)
Pilas y estribos de puente (con encofrado convencional)	50 m <sup>3</sup>	1 día	1 pila / 1 estribo.
Pilas de puente construidas por trepado y deslizado	100 m <sup>3</sup>	2 días	1 pila.
Tableros de puente en general y losas in situ de tableros con elementos prefabricados y mixtos	300 m <sup>3</sup>	1 día	1 vano. 50 m de longitud
Tableros construidos por fases (***)	600 m <sup>3</sup>	-	1 fase
Otros elementos o grupos de elementos que funcionan fundamentalmente a compresión	100 m <sup>3</sup>	2 semanas	500 m <sup>2</sup> de superficie construida 2 plantas
Soleras de túneles	100 m <sup>3</sup>	1 día	1 fase
Contrabóvedas de túneles	100 m <sup>3</sup>	1 día	1 fase

(\*) En el caso de que el número de amasadas necesarias para ejecutar los pilares de un lote sea igual o inferior a tres, el límite de 500 m<sup>2</sup> se podrá elevar a 1000 m<sup>2</sup>.

(\*\*) En el caso de que un lote esté constituido por elementos de dos plantas, se deberán tener resultados de ambas plantas.

(\*\*\*) A los efectos de la definición de lotes, se entiende por fase aquella parte de la estructura que se hormigona de una sola vez, de acuerdo con lo previsto en el proyecto y de manera que transcurra el tiempo suficiente para que desarrolle la resistencia requerida antes de que se ejecute la siguiente fase.

Tabla 11. Límites máximos para el establecimiento de los lotes de control

Además, en la lotificación de la estructura se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- ⌘ No se mezclarán en un mismo lote elementos de tipología estructural distinta (filas distintas de la tabla 5-2)
- ⌘ El hormigón de un mismo lote procederá del mismo suministrador, estará elaboradas con las mismas materias primas y será el resultado de la misma dosificación nominal.
- ⌘ Cuando un lote esté constituido por amasadas de hormigones en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, podrá aumentarse su tamaño multiplicando los valores de la tabla 5-2 por cinco o por dos en los siguientes casos:
  - Se aumentará por cinco cuando las amasadas de hormigones estén en posesión de un distintivo oficialmente reconocido y por dos cuando las amasadas de hormigones pertenezcan a centrales cuya dispersión esté certificada.

En cualquier caso se deben cumplir además las condiciones siguientes:

- El número mínimo de lotes será de tres, correspondiendo, si es posible, cada lote a elementos incluidos en filas distintas de la tabla 5-2 y en caso de obras de edificación los tres lotes mínimos corresponderían a cimentación, elementos sometidos a compresión y elementos sometidos a flexión.
  - En el caso de que se produjera un incumplimiento al aplicar el criterio de aceptación correspondiente se pasara a realizar el control sin reducción de intensidad (ampliación del tamaño del lote o reducción del número de amasadas), para los seis lotes siguientes a partir de la detección del incumplimiento. Si en dichos lotes se cumplen las exigencias del distintivo a partir del séptimo lote se volverá a aplicar las consideraciones para el tamaño de lote y número de amasadas de ensayo, definido para hormigones con distintivo de calidad oficialmente reconocido. Si por el contrario, se produjera algún nuevo incumplimiento en los seis lotes mencionados, la comprobación de la conformidad, (tamaño del lote, número de amasadas por lote y criterio de aceptación) durante el resto del suministro se efectuará como si el hormigón no estuviera en posesión del distintivo de calidad.
  - En ningún caso, un lote podrá estar formado por amasadas suministradas a la obra durante un período de tiempo superior a seis semanas.
- ⌘ Para  $f_{ck} \geq 50 \text{ N/mm}^2$  se deberá cumplir además que  $N \geq 6$ .

#### **Ejemplo Lotificación:**

En la Figura 24 se muestran los lotes de control de la estructura de prácticas de la asignatura.

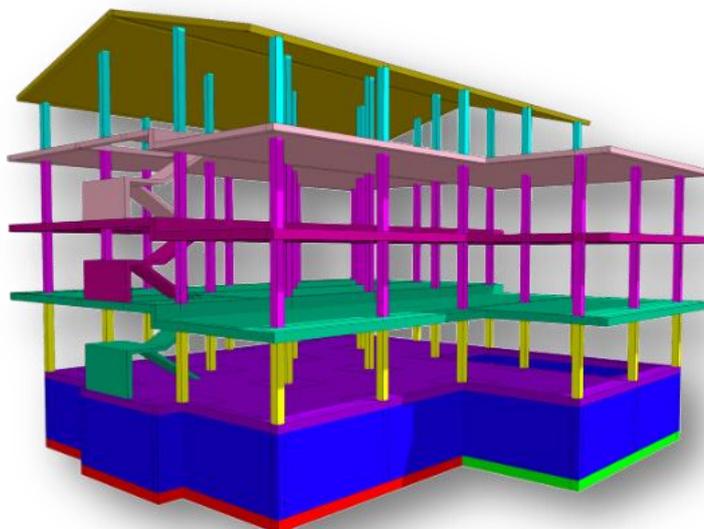


Figura 24. Lotes de control de la estructura de prácticas de la asignatura (puede visualizarse el modelo 3D en el siguiente link: <https://skfb.ly/oyPuT>).

La justificación de estos lotes se muestra en la Tabla 5-4a.

CIMENTACIÓN													
	Lotes												
	Volumen			Tiempo hormigonado									Nº Lotes Tot.
	Norma	Proy.	Nº Lotes	Norma	Proy.	Nº Lotes							
Cimentación	100	142	2	1 Sem.	1 Sem.	1							2
ELEMENTOS A COMPRESIÓN													
	Lotes												
	Volumen			Sup. Construida			Tiempo hormigonado			Nº Plantas			Nº Lotes Tot.
	Norma	Proy.	Nº Lotes	Norma	Proy.	Nº Lotes	Norma	Proy.	Nº Lotes	Norma	Proy.	Nº Lotes	
Muros	100	80,4	1	500	255	1	2 Sem.	2 Sem.	1	2	1	1	1
Pilares Cimentación + Forjado 1	100	7,67	1	1000	800	1	2 Sem.	2 Sem.	1	2	2	1	1
Pilares Forjado 2 + Forjado 3	100	10,9	1	1000	865	1	2 Sem.	2 Sem.	1	2	2	1	1
Pilares Forjado 4	100	5,6	1	1000	341	1	2 Sem.	1 Sem.	1	2	1	1	1
ELEMENTOS A FLEXIÓN													
	Lotes												
	Volumen			Sup. Construida			Tiempo hormigonado			Nº Plantas			Nº Lotes Tot.
	Norma	Proy.	Nº Lotes	Norma	Proy.	Nº Lotes	Norma	Proy.	Nº Lotes	Norma	Proy.	Nº Lotes	
Forjado 1	100	64,6	1	1000	367	1	2 Sem.	1 Sem.	1	2	1	1	1
Forjado 2	100	61,7	1	1000	433	1	2 Sem.	1 Sem.	1	2	1	1	1
Forjado 3	100	83,6	1	1000	433	1	2 Sem.	1 Sem.	1	2	1	1	1
Forjado 4	100	89,3	1	1000	433	1	2 Sem.	1 Sem.	1	2	1	1	1
Forjado 5	100	70,3	1	1000	341	1	2 Sem.	1 Sem.	1	2	1	1	1
<b>Lotes Totales</b>												<b>11</b>	

Tabla 12. Justificación de los lotes de control

Para cada tipo de elemento estructural (filas de la Tabla 11) se definen los grupos de lotes. En este caso se han separado los grupos de lotes de muros y los grupos de lotes de pilares (Elementos a compresión), en la suposición de que el tiempo de hormigonado de los muros es de dos semanas.

Para cada grupo de lotes se determina el número de lotes necesarios para que no se superen los límites máximos de la Tabla 11 (criterios de lotificación). Para cada grupo de lote y criterio de lotificación se especifica el valor límite de la norma (Norma), el valor según proyecto (Proy.) y el mínimo número de lotes necesarios (Nº Lotes).

**5.1.1.1 Determinación de la resistencia estimada**

El Código Estructural permite determinar la resistencia estimada del hormigón utilizando cualquier de los dos controles de recepción que a continuación se indican:

❑ **Control al 100 por 100**

En esta modalidad de control se determina la resistencia de todas las amasadas componentes de la parte de estructura (lote) sometida a control, y se determina la resistencia característica real de obra,  $f_{c,real}$ , como el valor que corresponde al cuantil del 5 por 100 en la distribución de resistencias a compresión resultante.

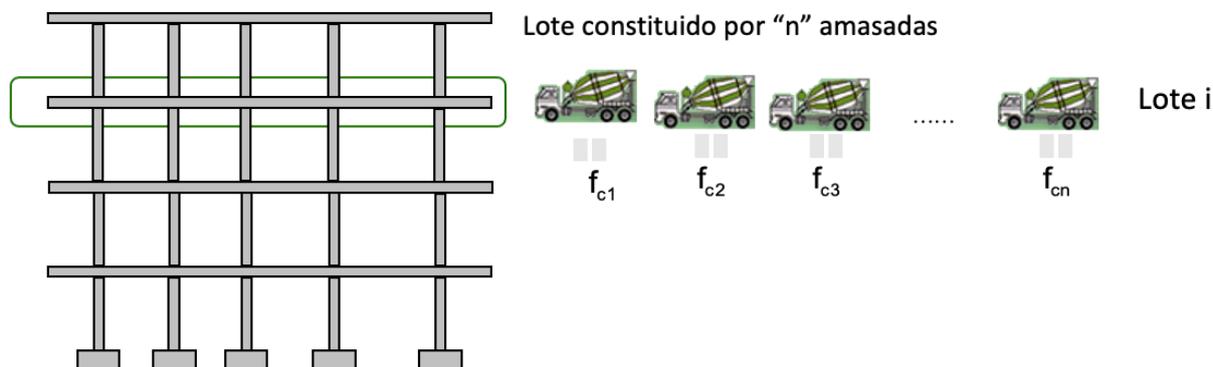


Figura 25. Conjunto de todas las amasads de un lote (n)

De forma práctica, si se ordenan todas las resistencias obtenidas de menor a mayor, la resistencia característica viene dada por el valor de resistencia que ocupa uno de los siguientes lugares en la serie de todos los valores ordenados de menor a mayor:

Numero de amasadas n	Lugar del valor característico (ordenados de menor a mayor)
$\leq 20$	1º
$10 < n \leq 40$	2º
$40 < n \leq 60$	3º

Tabla 13. Lugar del valor característico en función de número total de amasadas del lote

□ **Control estadístico.**

Con este tipo de control se determina la resistencia a compresión solo de una fracción,  $N$ , del conjunto de las amasadas,  $n$ , que constituyen el lote.

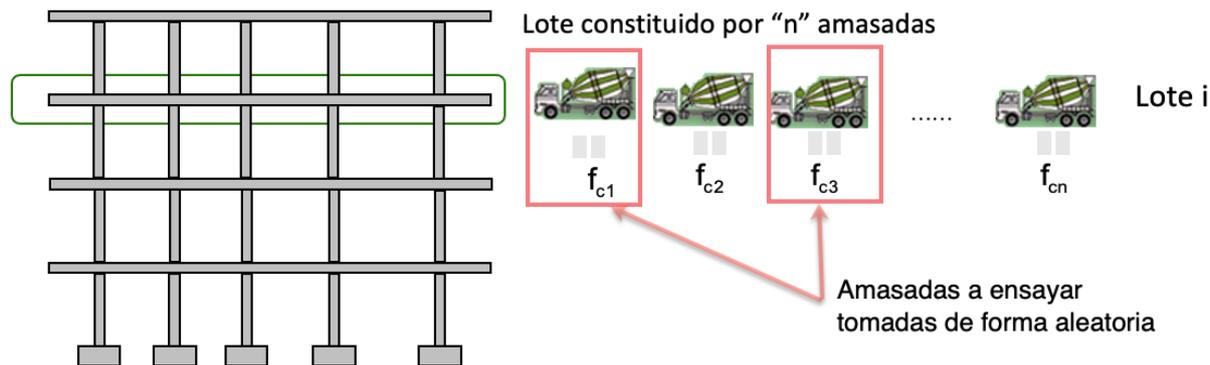


Figura 26. Conjunto de las  $N$  amasadas a ensayar del total de amasadas ( $n$ )

Para cada lote el número mínimo de amasadas a ensayar viene dado por los valores de la Tabla 14, función del tipo de elemento que constituye el lote y de si hormigón posee un distintivo de calidad oficialmente reconocido.

Tipo de elemento	Nº de amasadas a controlar en cada lote	
	Hormigón sin distintivo oficialmente reconocido	Hormigón con distintivo oficialmente reconocido
Cimentaciones con elementos de volumen superior a 200 m³	$N \geq V/35$ $N \geq 3$	$N \geq V/105$ $N \geq 1$
Cimentaciones superficiales con elementos de volumen inferior a 200 m³	$N \geq 3$	$N = 1$
Vigas, forjados, losas para pavimentos y otros elementos trabajando a flexión	$N \geq 3$	$N = 1$
Losas superior o inferior en marcos	$N \geq V/30$ $N \geq 3$	$N = 1$
Pilares y muros portantes de edificación	$N \geq 3$	$N = 1$
Pilas y estribos de puente (con encofrado convencional)	$N \geq 3$	$N = 1$
Pilas de puente construidas por trepado y deslizado	$N \geq V/20$ $N \geq 4$	$N = 1$
Tableros de puente en general y losas in situ de tableros con elementos prefabricados y mixtos	$N \geq V/20$ $N \geq 4$	$N \geq V/60$ $N \geq 1$
Tableros construidos por fases (***)	$N \geq V/30$ $N \geq 4$	$N \geq V/90$ $N \geq 1$
Otros elementos o grupos de elementos que funcionan fundamentalmente a compresión	$N \geq 3$	$N = 1$
Soleras de túneles	$N \geq 3$	$N = 1$
Contrabóvedas de túneles	$N \geq 3$	$N = 1$

(\*\*\*) A los efectos de la definición de lotes, se entiende por fase aquella parte de la estructura que se hormigona de una sola vez, de acuerdo con lo previsto en el proyecto y de manera que transcurra el tiempo suficiente para que desarrolle la resistencia requerida antes de que se ejecute la siguiente fase.

Tabla 14. Número mínimo de amasadas a ensayar por lote

Se ordenan las resistencias de las  $N$  amasadas de cada lote de menor a mayor:

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_N$$

Los criterios de aceptación de la resistencia del hormigón se definen a partir de la siguiente casuística:

Caso 1: hormigones en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido con un nivel de garantía conforme al apartado 5.1 del Anejo n° 19 de esta Instrucción

Caso 2: hormigones sin distintivo

Caso 3: hormigones sin distintivo, fabricados de forma continua en central de obra o suministrados de forma continua por la misma central de hormigón preparado, en los que se controlan en la obra más de treinta y seis amasadas del mismo tipo de hormigón.

Para cada caso, se procederá a la aceptación del lote cuando se cumplan los criterios establecidos en la Tabla 15.

Caso de control estadístico	Criterio de aceptación	Observaciones
1	$f(\bar{x}) = \bar{x} (1 - 1.66\delta^*) \geq f_{ck}$	Hormigones con la dispersión certificada dentro del alcance de certificación de un distintivo de calidad oficialmente reconocido
2	$f(\bar{x}) = \bar{x} - 1.66s_{35}^* \geq f_{ck}$	Se han controlado más de 36 amasadas
3	$f(x_1) = x_1 K_n \geq f_{ck}$	Hasta la 36ª amasada

Tabla 15. Funciones de aceptación (resistencia estimada)

donde:

$f(\bar{x}); f(x_1)$	Funciones de aceptación
$x_i$	Cada resultado de una amasada
$\bar{x}$	valor medio de las N amasadas
$x_1$	valor mínimo de las N amasadas
$x_N$	valor máximo de las N amasadas
$r_N = x_N - x_1$	Recorrido muestral
$s_N = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$	Desviación típica
$s_{35}^*$	Desviación típica de las últimas 35 amasadas

#### 5.1.1.2 Decisiones derivadas del control de resistencia

Obtenido el valor de la resistencia característica estimada,  $f_{est}$ , de un lote se tomarán diferentes decisiones en función de los siguientes resultados:

- Si  $f_{c,est} \geq f_{ck} \Rightarrow$  El lote puede ser aceptado.
- Si  $0,90 \cdot f_{ck} \leq f_{c,est} < f_{ck}$  y el hormigón dispone de un distintivo de calidad oficialmente reconocido  $\Rightarrow$  Aceptación del lote, sin perjuicio de las sanciones previstas en el pliego de prescripciones técnicas particulares.
- En el resto de los casos, la aceptación, refuerzo o demolición quedan pendientes de los siguientes estudios:
  - ✦ Realización de ensayos de probetas con más de 28 días. Esto solo será posible si ha previsto esta circunstancia durante la toma de probetas, tomando, al menos, 2 probetas adicionales para estos ensayos. Este es el motivo por el que en el control de calidad de hormigones se toman 6 probetas, 2 para una determinación temprana a 7 días, 2 para la determinación de la resistencia a compresión a los 28 días, y otras 2 para la rotura a 60/90 días en caso de una baja resistencia del hormigón.



Figura 27. Toma de 6 probetas de una amasada

- ↳ Realización de ensayos de información complementaria.

El objetivo de estos ensayos es poder obtener un número mayor de estimaciones de resistencias que permitan, en su caso, aumentar la resistencia estimada del hormigón. Por ejemplo, en el caso 3 del control estadístico, un número mayor de determinaciones permitiría aumentar el coeficiente  $K_n$ . Estos ensayos y la interpretación de sus resultados deben realizarse por una empresa especializada.

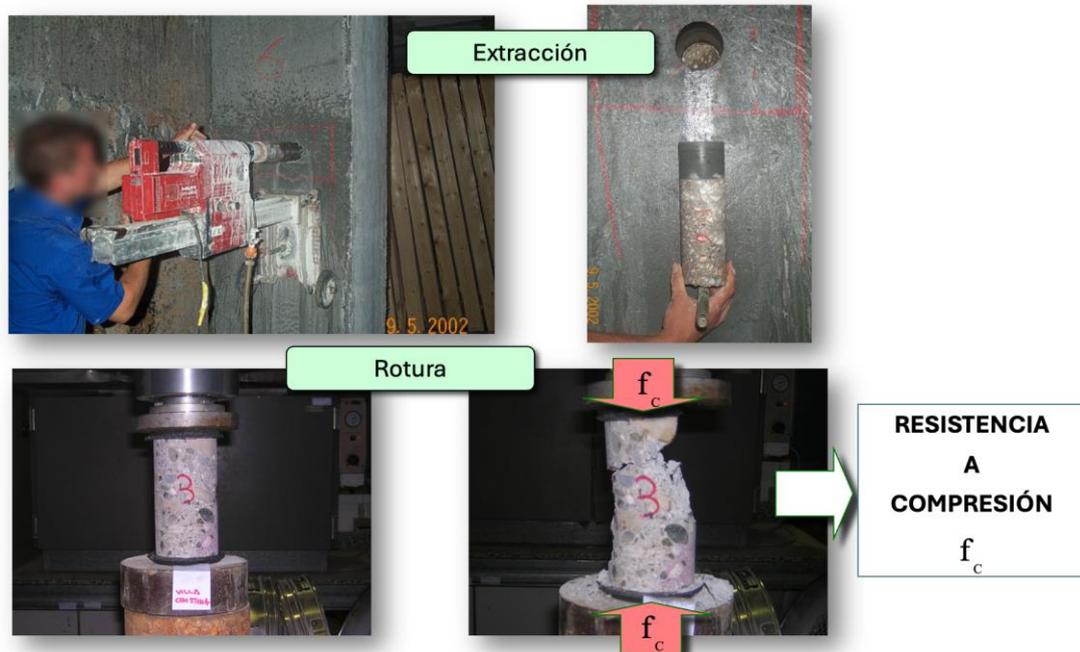


Figura 28. Determinación directa de la resistencia del hormigón mediante testidos (ensayo destructivo).

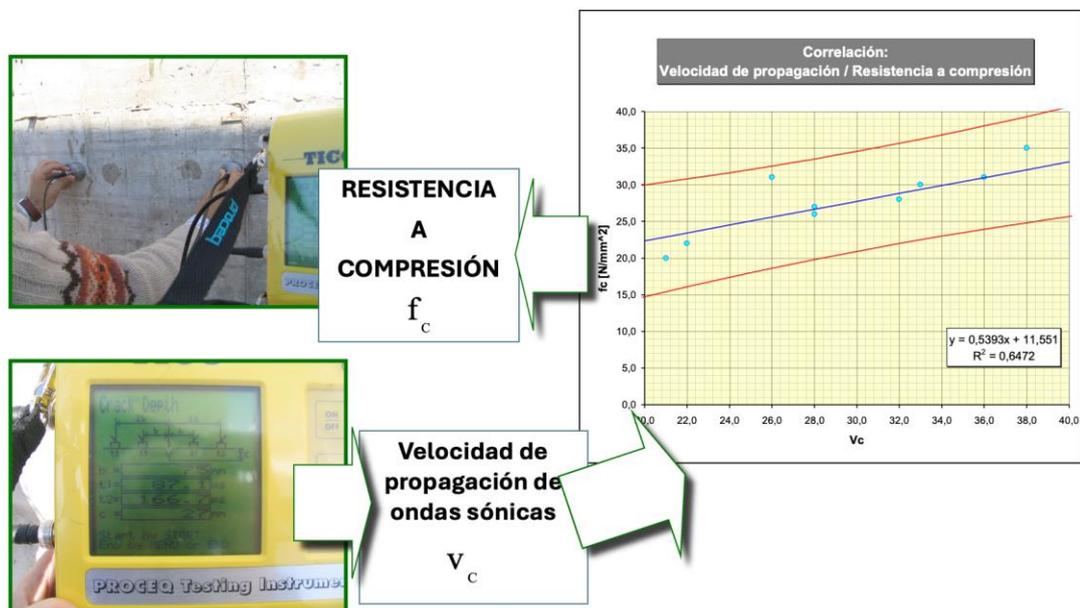


Figura 29. Determinación indirecta de la resistencia a compresión con la lectura de la velocidad de propagación de ondas sónicas (ensayo no destructivo)

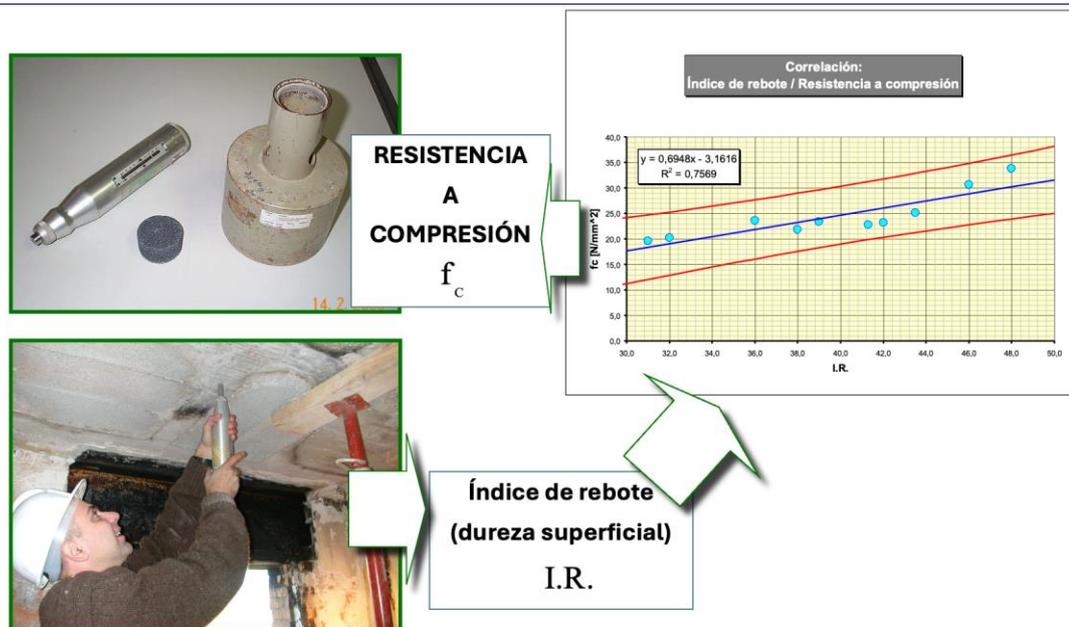


Figura 30. Determinación indirecta de la resistencia a compresión con la lectura del índice de rebote (dureza superficial) con esclerómetro (ensayo no destructivo)

- ↪ Estudio de la variación del coeficiente de seguridad previsto en el proyecto por el hecho de considerar la resistencia estimada,  $f_{est}$ , en vez de especificada en proyecto,  $f_{ck}$ .

En el dimensionamiento de una estructura resulta habitual que las secciones (y los armados en el caso de las estructuras de hormigón) sean superiores a las estrictamente necesarias, por lo que se obtienen unas estructuras con una resistencia superior a la estrictamente necesaria. Esto puede justificar que una reducción de la resistencia del hormigón pueda ser compensada por esta sobrerresistencia, y la estructura resultante, aún con esta disminución de resistencia, tenga unas condiciones de seguridad suficientes.

- ↪ Ensayos de puesta en carga.

Si del estudio de seguridad anterior no puede garantizarse unas condiciones de seguridad suficientes, la normativa permite la evaluación experimental de estas condiciones de seguridad mediante la realización de ensayos de puesta en carga. Esto se justifica por la sobrerresistencia que presentan las estructuras respecto a la obtenida mediante los modelos de cálculo, que siempre son simplificaciones de la realidad que, en general, determinan la respuesta de la estructura del lado de la seguridad, despreciando mecanismos resistentes para simplificar estos modelos de cálculo.

La decisión final será tomada por la Dirección Facultativa en función de los resultados obtenidos en los estudios anteriores.

### 5.1.2 Resistencia a tracción

Desde un principio se sabe que el hormigón resiste bien los esfuerzos de compresión y mal los de tracción, por lo que no suele contarse con su colaboración para esta sollicitación, que es absorbida en su totalidad por las armaduras.

No obstante, al estar ligada la resistencia a tracción con otros fenómenos distintos del resistente, como pueden ser la fisuración (y por lo tanto con la durabilidad) o la posibilidad de rotura frágil en secciones muy débilmente armadas (ductilidad), es necesario conocer dicha resistencia.

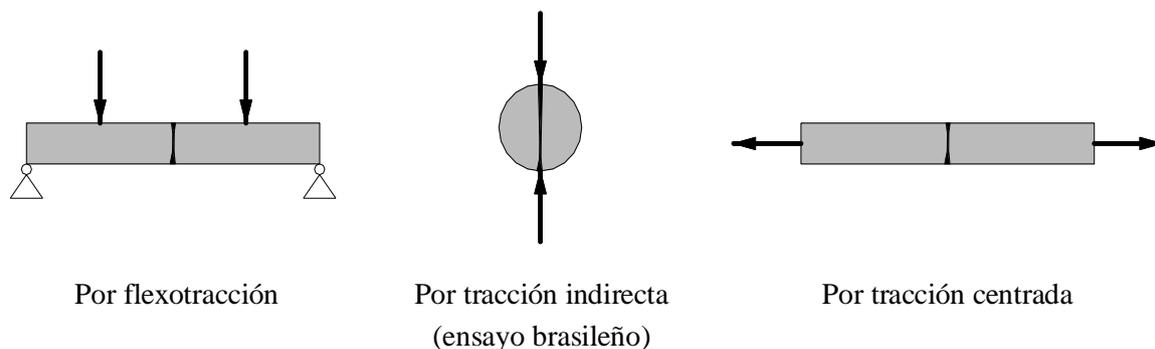


Figura 31: Ensayos para la obtención de la resistencia a tracción del hormigón

Como ocurre con la resistencia a compresión, la resistencia a tracción es un valor un tanto convencional que depende del tipo de ensayo. Existen tres formas de obtener la resistencia a tracción: por flexotracción<sup>5</sup>, por tracción indirecta<sup>6</sup> (ensayo brasileño) y por ensayo directo de tracción. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los esquemas de estos tres ensayos.

Si no se dispone de resultados de ensayos, podrá estimarse la resistencia a tracción en función de la resistencia característica de proyecto a compresión, mediante las fórmulas:

- resistencia característica inferior a tracción (correspondiente al cuantil del 5%):

$$f_{ctk\ 0,05} = 0,7 \cdot f_{ctm} \quad (\text{cuantil del 5\%})$$

- resistencia media a tracción:

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad \text{para } f_{ck} \leq 50 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{ctm} = 2,2 \cdot \ln\left(1 + \frac{f_{cm}}{10}\right) \quad \text{para } f_{ck} > 50 \frac{N}{mm^2}$$

donde,  $f_{ctk\ 0,05}$  y  $f_{ctm}$  están expresadas en  $N/mm^2$ .

La elección del valor de  $f_{ct}$  a introducir en los cálculos depende del tipo de problema: para el estado límite de formación de fisuras debe tomarse el valor característico, y para el estudio de deformaciones, el valor medio.

## 5.2 Propiedades reológicas

La Reología es la rama de la Mecánica que estudia la evolución de las deformaciones de un material, producidas por causas tensionales, a lo largo del tiempo.

### 5.2.1 Deformaciones del hormigón

Para clasificar las deformaciones que se producen en el hormigón, realizaremos dos procesos de carga y descarga de una probeta de hormigón, y observaremos la evolución de sus deformaciones en el tiempo. El primero de ellos se realizará con carga instantánea y el segundo con carga mantenida.

- a) Carga y descarga instantánea.

Supongamos que en el instante inicial  $t = 0$  cargamos la probeta a una tensión  $\sigma_0$ : aparecerá entonces una deformación OA instantánea. Si descargamos inmediatamente la probeta, la deformación no se anula totalmente; se recupera la mayor parte, O'A, y queda una deformación remanente, OO'. Hay dos partes en la deformación instantánea del hormigón: la **deformación elástica**, AO', y la **deformación remanente**, OO'. La primera es recuperable y la segunda no.

A partir de este primer ciclo de carga (carga noval), la deformación remanente no vuelve a presentarse, siempre que la tensión a la que se someta la probeta no supere a la ya aplicada,  $\sigma_0$ . Dicho de otro modo, el hormigón se comporta frente a las cargas sucesivas (no noval) como perfectamente elástico.

<sup>5</sup> UNE-EN 12390-5:2009; "Ensayos de hormigón endurecido. Parte 5. Resistencia a flexión de probetas".

<sup>6</sup> UNE-EN 12390-6:2010; "Ensayos de hormigón endurecido. Parte 6. Resistencia a tracción indirecta de probetas".

b) Carga mantenida.

Carguemos ahora la probeta, en el instante  $t_1$ , de manera que se produzca en ella una tensión  $\sigma_1 < \sigma_0$ : aparecerá una deformación elástica BC. Si se mantiene la carga, la deformación irá creciendo con el tiempo según la curva CD, debido al comportamiento plástico del hormigón. Si al llegar al instante  $t_2$  se descarga la probeta, se recupera instantáneamente la deformación elástica (DE = BC); y si se deja transcurrir el tiempo con la probeta descargada, se va recuperando una parte creciente de la deformación, según la curva EF. Quedan así puestas de manifiesto las tres deformaciones fundamentales del hormigón, que se han acotado en la figura 5-6 referidas al instante  $t_n$ : la **deformación elástica instantánea**, la **deformación elástica diferida** y la **deformación plástica diferida**. Estas mismas deformaciones pueden ponerse de manifiesto en un instante  $t_i$  anterior a la descarga, sin más que dibujar la rama plástica CC' simétrica de la EF.

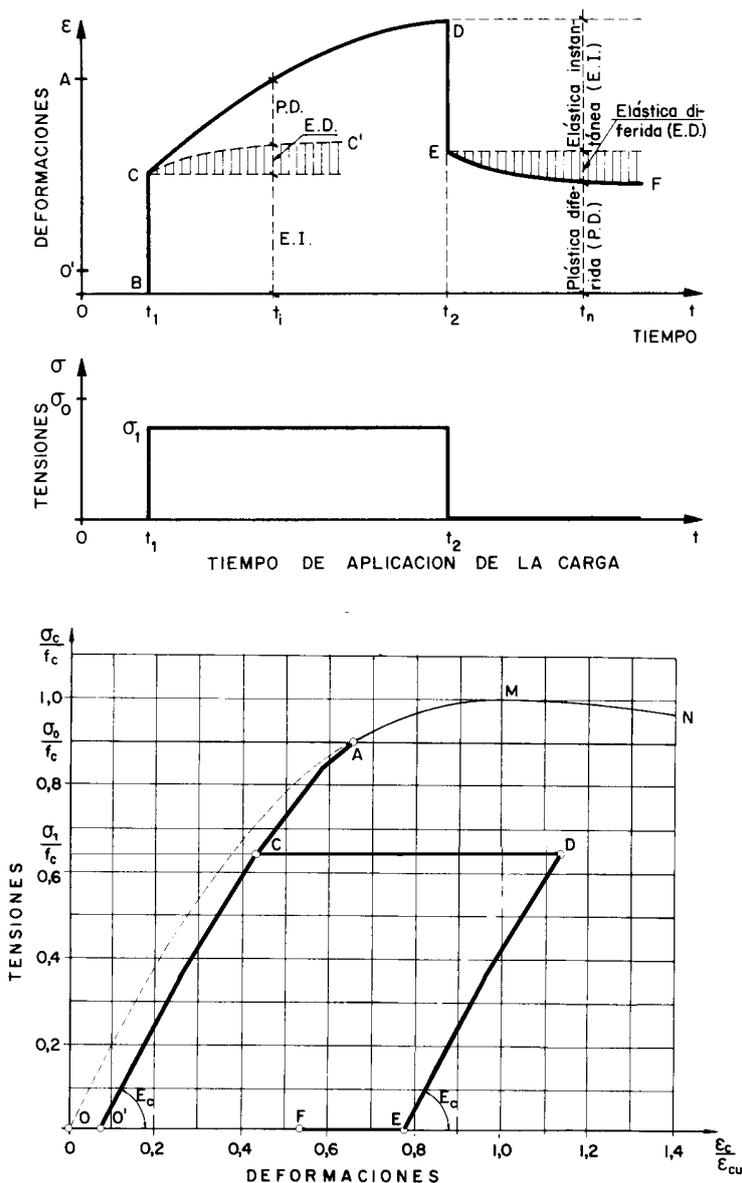


Figura 32: Procesos de carga y carga de una probeta de hormigón

Resumiendo lo dicho, pueden clasificarse las deformaciones según la Tabla 16, en la que se han hecho figurar, además, las deformaciones térmicas y de retracción, independientes de las cargas exteriores.

	Dependientes de las cargas exteriores		Independientes de las cargas exteriores
	Instantáneas	Diferidas ( <b>FLUENCIA</b> )	
Reversibles	ELÁSTICAS	ELÁSTICAS DIFERIDAS	TÉRMICAS
Irreversibles	REMANENTES	PLÁSTICAS DIFERIDAS	RETRACCIÓN

Tabla 16. Tipos de deformaciones del hormigón

La consideración de la fluencia del hormigón está recogida en el Artículo 2.3.2.2 del Código Estructural (Volumen III)

**5.2.2 Diagrama tensión-deformación del hormigón**

El diagrama característico tensión-deformación del hormigón depende de numerosas variables: edad del hormigón, duración de la carga, forma y tipo de la sección, naturaleza de la sollicitación, etc..

Puede considerarse, a título puramente cualitativo, que el diagrama noval tensión-deformación del hormigón presenta una parte final parabólica y otra inicial aproximadamente rectilínea, tal y como se observa en la Figura 33.

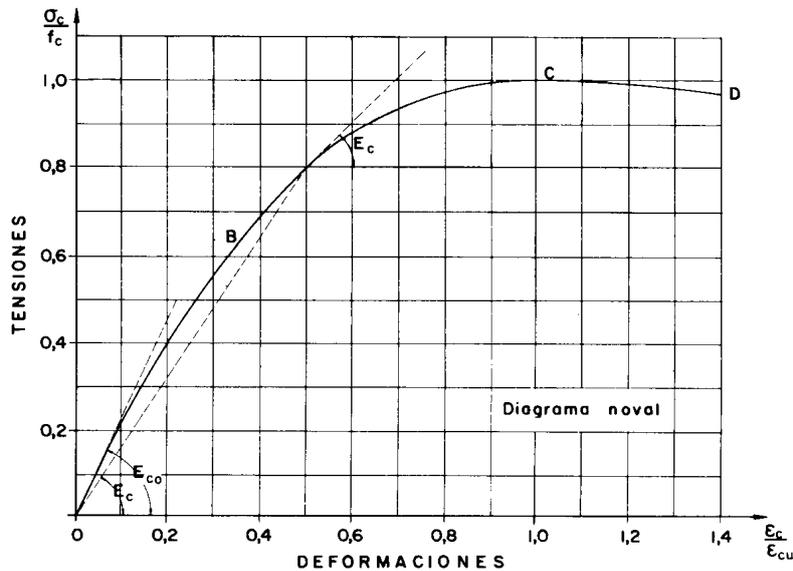


Figura 33: Diagrama noval tensión-deformación del hormigón

El diagrama noval de la Figura 33 corresponde a una cierta duración del proceso de carga. Si esta duración se hace variar se obtienen otras curvas del tipo de la figura 5-8 (Instrucción EHE, figuras 39.3.a y 39.3.b), donde claramente se observa la influencia de la duración del proceso de carga sobre el diagrama tensión-deformación, o lo que es lo mismo, sobre la deformación producida por un determinado estado de cargas.

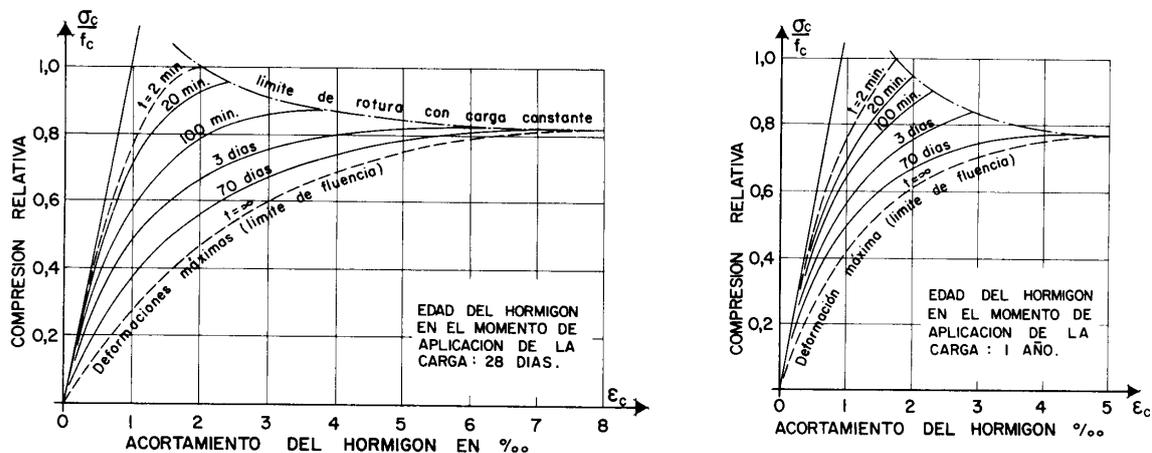


Figura 34. Influencia de la duración del proceso de carga y de la edad del hormigón sobre la deformación

Igualmente, la edad del hormigón en el momento de aplicación de la carga influye en la magnitud de su deformación (fluencia), en el sentido de disminuirla cuanto menos joven es el material, como puede apreciarse igualmente en la Figura 34.

### 5.2.3 Módulo de deformación longitudinal del hormigón

El hormigón se comporta como un material elástico sólo para tensiones reducidas y de corta duración, tal y como se ha comentado en el apartado anterior. No cabe hablar por tanto de módulo de elasticidad, sino de módulo de deformación longitudinal. Dada la curvatura del diagrama tensión-deformación el módulo de deformación no es constante.

Podemos distinguir los siguientes conceptos:

- **Módulo tangente**, también llamado **módulo de elasticidad**, cuyo valor es variable en cada punto y viene dado por la inclinación de la tangente a la curva en dicho punto:

$$E_c = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$$

- **Módulo secante**, también llamado **módulo de deformación**, cuyo valor es variable en cada punto y viene medido por la inclinación de la recta que une el origen con dicho punto.

$$E_c = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

- **Módulo inicial**, también llamado **módulo de elasticidad en el origen**, que corresponde a tensión nula, en cuyo caso coinciden el módulo tangente y el secante. Viene medido por la inclinación de la tangente a la curva en el origen.

Como módulo instantáneo de deformación longitudinal secante (pendiente de la secante) se puede adoptar (hormigones con áridos cuarcíticos):

$$E_{cm} \left( \frac{N}{mm^2} \right) = 22.000 \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3} \quad (f_{cm} \text{ en } \frac{N}{mm^2})$$

siempre que las tensiones, en condiciones de servicio, no superen el valor de  $0,4 f_{cm,j}$ , siendo  $f_{cm,j}$  la resistencia media a compresión del hormigón a  $j$  días de edad.

Este valor debe reducirse en un 10% cuando se utilicen áridos calizos, en un 30% cuando se utilice arenisca y se incrementarán en un 20% cuando se utilicen áridos basálticos.

Para el cálculo de la deformación instantánea, para cargas instantáneas o rápidamente variables, el módulo longitudinal inicial del hormigón (pendiente de la tangente en el origen a la curva tensión-deformación) puede tomarse igual a:

$$E_c = 1,05 \cdot E_{cm}$$

Para realizar un cálculo más riguroso en función de la edad del hormigón puede verse el Artículo 3.1.3 del Código Estructural (Volumen III).

## 6. DOSIFICACIÓN

El proceso mediante el cual se determinan las cantidades de cemento, agua y áridos necesarias para la obtención de un hormigón, recibe el nombre de dosificación.

Para dosificar correctamente un hormigón hay que tener en cuenta tres factores fundamentales:

- ❑ Las características de **resistencia y rigidez de la estructura**, para lo cual será necesario indicar la **resistencia** que debe tener el hormigón.
- ❑ Las condiciones de **ejecución de la estructura**, para lo cual será necesario indicar la **consistencia** del hormigón para ser puesto en obra y el **tamaño máximo del árido**, que permitan garantizar la ejecución de la estructura con un hormigón adecuadamente compactado, sin formación de coqueas, nidos de grava ...etc.
- ❑ La agresión ambiental que condiciona la **durabilidad de la estructura**, para lo cual será necesario indicar el **Tipo de ambiente**, y, si es necesario, la necesidad de emplear un cemento con las características adicionales de resistencia a los sulfatos (SR) o al agua de mar (MR). En este sentido será necesario respetar las limitaciones que se recogieron en tabla 2-4.

Aunque hay muchos métodos para dosificar teóricamente un hormigón, las cantidades de los distintos componentes debe establecerse mediante los oportunos ensayos en laboratorio, con objeto de asegurarse de que el hormigón obtenido satisfaga las condiciones o características de calidad exigidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto.

En el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares es siempre necesario indicar las referentes a su resistencia a compresión, su consistencia, tamaño máximo del árido, el tipo de ambiente a que va a estar expuesto, y, cuando sea preciso, las referentes a prescripciones relativas a aditivos y adiciones, resistencia a tracción del hormigón, absorción, peso específico, compacidad, desgaste, permeabilidad, aspecto externo, etc.

## 7. DESIGNACIÓN DE LOS HORMIGONES

Los hormigones se designarán con el siguiente formado:

T-R / C / TM / A

donde:

- T: Indicativo que será:
  - HM: Hormigón en masa.
  - HA: Hormigón armado.
  - HP: Hormigón pretensado.
- R: Resistencia característica especificada, en N/mm<sup>2</sup>. Según la serie: 20<sup>7</sup>; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100
- C: Letra indicativa del tipo de consistencia (ver 3-1):

Consistencia	C
Seca	S
Plástica	P
Blanda	B
Fluida	F
Líquida	L

- TM: Tamaño máximo del árido en mm.
- A: Designación del ambiente.

En las páginas siguientes se muestran, a título de ejemplo, las actas de resultados de dos amasadas. La primera de ellas corresponde a la rotura a 7 días de la primera amasada o toma del lote. La segunda de ellas se corresponde a la rotura a 28 días de la cuarta amasada o toma del lote. En ambos casos el número de probetas por amasada o toma es de cuatro: dos para la rotura a 7 días y otras dos para la rotura a 28 días.

<sup>7</sup> Solo permitida en hormigón en masa.

ENTIDAD ACREDITADA PARA LA PRESTACION DE ASISTENCIA TECNICA A LA CONSTRUCCION Y OBRA PUBLICA RD. 1230/89 Nº DE INSCRIPCION DEL R.E.A. L807-06 MA	<b>ORIGINAL LABORATORIO</b>																																					
C/ Benaque Nº 9 29004 MALAGA Tel. 952 23 08 42 ( 6 Lineas) FAX 952 23 12 14 URL: www.cemosa.es E-Mail : laboratorio@cemosa.e																																						
<b>Fabricación y Ensayo a Compresión de Probetas de Hormigón</b> <i>Probetas cilíndricas 30*15 cm) Conservación : Cámara húmeda Código Prensa :HO18/263/74/5 Precisión : Clase 1 (&gt; 1%)</i>																																						
<b>NORMAS DE ENSAYO UNE 83300/84 - 83301/91 - 83303/84 - 83304/84 - 83313/90</b>																																						
Expediente 1/0030/027/131 Peticionario OBRASCON HUARTE LAIN, S.A. Obra <u>75 VIVIENDAS EN ALTOS DEL RODEO (MARBELLA) - MALAGA</u> Contratista OBRASCON HUARTE LAIN, S.A. Dirección Técnica																																						
Fck <b>30</b> Mpa Tipo de Hormigón HA- 30/B/15/IIIa/Qa Unidad controlada ALZADO MURO																																						
Vertido <u>MURO E/P Nº 96/97/98,MODULO C</u>																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Cemento (Tipo)</td><td>142.5 R/SR</td></tr> <tr><td>Contenido Cemento (Kg/m3)</td><td>330</td></tr> <tr><td>Relación Agua/Cemento (A/C)</td><td>0,48</td></tr> <tr><td>Fecha de Fabricación</td><td>20-feb-03 Hora 18,45</td></tr> <tr><td>Proveedor</td><td>ANDEMOSA MARBELLA</td></tr> <tr><td>Camión</td><td>-3108-BW</td></tr> <tr><td>Albarán</td><td>551054</td></tr> </table>	Cemento (Tipo)	142.5 R/SR	Contenido Cemento (Kg/m3)	330	Relación Agua/Cemento (A/C)	0,48	Fecha de Fabricación	20-feb-03 Hora 18,45	Proveedor	ANDEMOSA MARBELLA	Camión	-3108-BW	Albarán	551054	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Nº de Probetas (n)</td><td>4</td> <td>Nivel de Control</td><td>Normal</td> <td>EHE</td><td></td> </tr> <tr> <td>Lote</td><td>1-LAM-3</td> <td>Nº de Tomas (N)</td><td>4</td> <td>Toma Nº</td><td>1</td> </tr> </table>	Nº de Probetas (n)	4	Nivel de Control	Normal	EHE		Lote	1-LAM-3	Nº de Tomas (N)	4	Toma Nº	1											
Cemento (Tipo)	142.5 R/SR																																					
Contenido Cemento (Kg/m3)	330																																					
Relación Agua/Cemento (A/C)	0,48																																					
Fecha de Fabricación	20-feb-03 Hora 18,45																																					
Proveedor	ANDEMOSA MARBELLA																																					
Camión	-3108-BW																																					
Albarán	551054																																					
Nº de Probetas (n)	4	Nivel de Control	Normal	EHE																																		
Lote	1-LAM-3	Nº de Tomas (N)	4	Toma Nº	1																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td colspan="4" style="text-align: center;">Tensiones medias (fcm)</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">menor de 7 días</td> <td style="text-align: center;">7 días</td> <td style="text-align: center;">28 días</td> <td style="text-align: center;">mayor de 28 días</td> </tr> <tr> <td>Kp/cm2</td> <td style="text-align: center;">345</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MPa</td> <td style="text-align: center;">33,8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Tensiones medias (fcm)					menor de 7 días	7 días	28 días	mayor de 28 días	Kp/cm2	345				MPa	33,8																					
	Tensiones medias (fcm)																																					
	menor de 7 días	7 días	28 días	mayor de 28 días																																		
Kp/cm2	345																																					
MPa	33,8																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Nº de Probeta</th> <th rowspan="2">Fecha de Rotura</th> <th rowspan="2">Edad (días)</th> <th colspan="2">Tensión de rotura</th> </tr> <tr> <th>Kp/cm2</th> <th>MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>27-feb-03</td> <td>7</td> <td>349</td> <td>34,2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>27-feb-03</td> <td>7</td> <td>341</td> <td>33,5</td> </tr> <tr> <td style="background-color: yellow;">2003-03519</td> <td>20-mar-03</td> <td>28</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>20-mar-03</td> <td>28</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Nº de Probeta	Fecha de Rotura	Edad (días)	Tensión de rotura		Kp/cm2	MPa		27-feb-03	7	349	34,2		27-feb-03	7	341	33,5	2003-03519	20-mar-03	28				20-mar-03	28												
Nº de Probeta	Fecha de Rotura				Edad (días)	Tensión de rotura																																
		Kp/cm2	MPa																																			
	27-feb-03	7	349	34,2																																		
	27-feb-03	7	341	33,5																																		
2003-03519	20-mar-03	28																																				
	20-mar-03	28																																				
La incertidumbre de los resultados esta a disposición del cliente en CEMOSA. Los resultados solo afectan al material ensayado. Este informe no podrá reproducirse sin autorización por escrito de CEMOSA. Este informe consta de una sola hoja.																																						
Observaciones <u>ADIT. WRDA-95</u>																																						
Firmado : Manuel Salas Casanova Director Técnico	Firmado : Elena Frade Viano Jefe Area HA-HC <span style="float: right;">Málaga,05-mar-03</span>																																					
AREAS DE ACREDITACION: HA: << Control de hormigón en masa o armado y sus materiales constituyentes: cemento, áridos, agua, acero para armaduras, adiciones y aditivos >> HC: << Control de hormigón en masa, de cemento, de áridos y de agua >> AP: << Ensayos de laboratorio de perfiles y barras de acero para estructuras >> AS: << Control in situ de la ejecución de la soldadura de elementos estructurales de acero >> SE: << Ensayo de laboratorio mecánico de suelo >> ST: << Tomas de muestras inalteradas, ensayos y pruebas in situ de suelos >> SV: << Ensayos de suelos, áridos, mezclas bituminosas y sus materiales constituyentes en vitales >>																																						

Figura 35. Acta de resultados del ensayo a compresión a 7 días

ENTIDAD ACREDITADA PARA LA PRESTACION DE ASISTENCIA  
TECNICA A LA CONSTRUCCION Y OBRA PUBLICA RD. 1230489  
Nº DE INSCRIPCION DEL R.E.A. L007-08 MA

C/ Benaque N° 9 29004 MALAGA  
Tel. 952 23 08 42 ( 6 Lineas)  
FAX 952 23 12 14  
URL: www.cemosa.es  
E-Mail : laboratorio@cemosa.e

ORIGINAL  
LABORATORIO

### Fabricación y Ensayo a Compresión de Probetas de Hormigón

Probetas cilíndricas 30\*15 cm) Conservación : Cámara húmeda Código Prensa :HO18/263/74/5 Precisión : Clase 1 (> 1%)

NORMAS DE ENSAYO UNE 83300/84 - 83301/91 - 83303/84 - 83304/84 - 83313/90

Expediente 1/0030/027/014 Peticionario OBRASCON HUARTE LAIN, S.A.  
Obra 75 VIVIENDAS EN ALTOS DEL RODEO (MARBELLA) - MALAGA  
Contratista OBRASCON HUARTE LAIN, S.A.  
Dirección Técnica

Fck 30 Mpa Tipo de Hormigón HA- 30/B/25/IIIa/Qa Unidad controlada CIM ENCEPADO  
Vertido ENCEPADO 52,MODULO A

Cemento (Tipo)
Contenido Cemento (Kg/m3)
Relación Agua/Cemento (A/C)
Fecha de Fabricación 31-oct-02 Hora 11,30
Proveedor ANDEMOSA MARBELLA
Camión -42 - Cono 7 cm
Albarán 546835

Nº de Probetas (n) 4 Nivel de Control Normal EHE				
Lote 1-LCE-1 Nº de Tomas (N) 4 Toma N° 4				
Estimador (Kn) 0,97 R. característica estimada (Fest. Mpa) <span style="background-color: yellow;">35,1</span>				
Tensiones medias (fcm)				
	menor de 7 días	7 días	28 días	mayor de 28 días
Kp/cm2		321	<span style="background-color: yellow;">369</span>	
MPa		31,5	<span style="background-color: yellow;">36,2</span>	

Nº de Probeta	Fecha de Rotura	Edad (días)	Tensión de rotura	
			Kp/cm2	MPa
	07-nov-02	7	320	31,4
	07-nov-02	7	321	31,5
<span style="background-color: yellow;">2002-17220</span>	28-nov-02	28	367	36,0
	28-nov-02	28	371	36,4

La incertidumbre de los resultados esta a disposición del cliente en CEMOSA.  
Los resultados solo afectan al material ensayado.  
Este informe no podrá reproducirse sin autorización por escrito de CEMOSA.  
Este informe consta de una sola hoja.

Observaciones

ADIT.WRDA-95,CEMENTO:1 42.5R/S(INCOMPLETO)SEGUN ALBARAN,CC:325,A/C:0.50

Firmado : Manuel Salas Casanova

Director Técnico

Firmado : Elena Frade Viano

Jefe Area HA-HC Málaga,05-mar-03

AREAS DE ACREDITACION: HA: << Control de hormigón en masa o armado y sus materiales constituyentes: cemento, áridos, agua, acero para armaduras, aditivos y aditivos >>  
 HC: << Control de hormigón en masa, de cemento, de áridos y de agua >> AP: << Ensayos de laboratorio de perfiles y barras de acero para estructuras >> AS: << Control in situ de la ejecución de la soldadura de elementos estructurales de acero >> SE: << Ensayo de laboratorio mecánico de suelo >> ST: <<Toma de muestras inalteradas, ensayos y pruebas in situ de suelos >>  
 SV: << Ensayos de suelos, áridos, mezclas bituminosas y sus materiales constituyentes en vias >>

Figura 36. Acta de resultados del ensayo a compresión a 28 días

**BIBLIOGRAFÍA:**

- ❑ EHE-98. Instrucción de Hormigón Estructural
- ❑ EHE-08. Instrucción de Hormigón Estructural
- ❑ Código Estructural
- ❑ Jiménez Montoya y otros. “Hormigón armado”. GG.
- ❑ UNE-EN 12350-1:2009. Ensayos de hormigón fresco. Parte 1: Toma de muestras
- ❑ UNE-EN 12350-2:2009. Ensayos de hormigón fresco. Parte 2: Ensayo de asentamiento
- ❑ UNE-EN 12350-3:2009. Ensayos de hormigón fresco. Parte 3: Ensayo Vebe
- ❑ UNE-EN 12390-2:2009. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia
- ❑ UNE-EN 12390-3:2009. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas
- ❑ UNE-EN 12390-5:2009. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 5. Resistencia a flexión de probetas.
- ❑ UNE-EN 12390-6:2010. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 6. Resistencia a tracción indirecta de probetas