

# Cementos, morteros y hormigones

## 4. Morteros y hormigones (2)



**Juan Antonio Polanco Madrazo**

**Jesús Setién Marquín**

DPTO. DE CIENCIA E INGENIERÍA DEL  
TERRENO Y DE LOS MATERIALES

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)

# Hormigón fresco

**Hormigón fresco:** hormigón que por poseer plasticidad, tiene la facultad de poder moldearse

El hormigón fresco manifiesta estas condiciones desde el momento que abandona la amasadora hasta que se inicia el fraguado del cemento que contiene

Este periodo de tiempo es variable, dependiendo del tipo de cemento empleado, de la dosificación de agua, de la temperatura, de la utilización de aditivos, etc.

# Hormigón fresco

## CONSISTENCIA

**Consistencia:** capacidad que presenta el hormigón para deformarse y moldearse en estado fresco

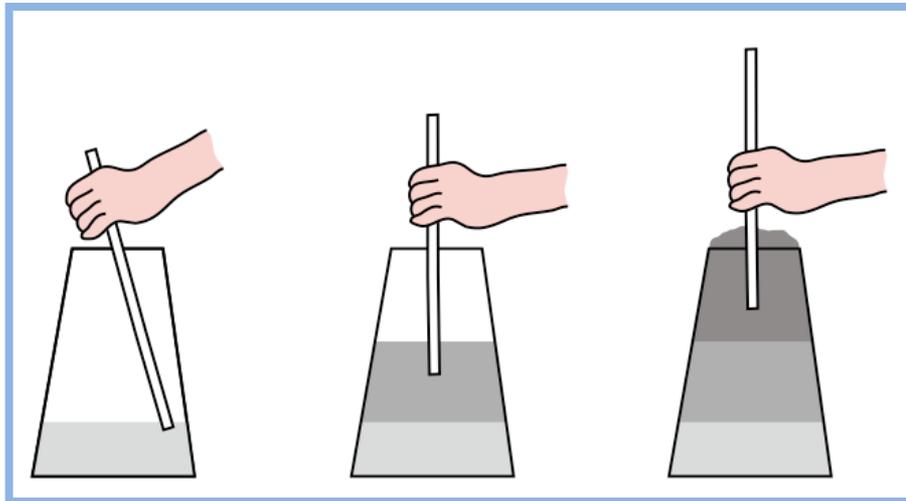
**Método del cono de Abrams:** molde metálico troncocónico de 30 cm de altura y de 10 y 20 cm de diámetro superior e inferior, respectivamente



# Consistencia

## CONO DE ABRAMS

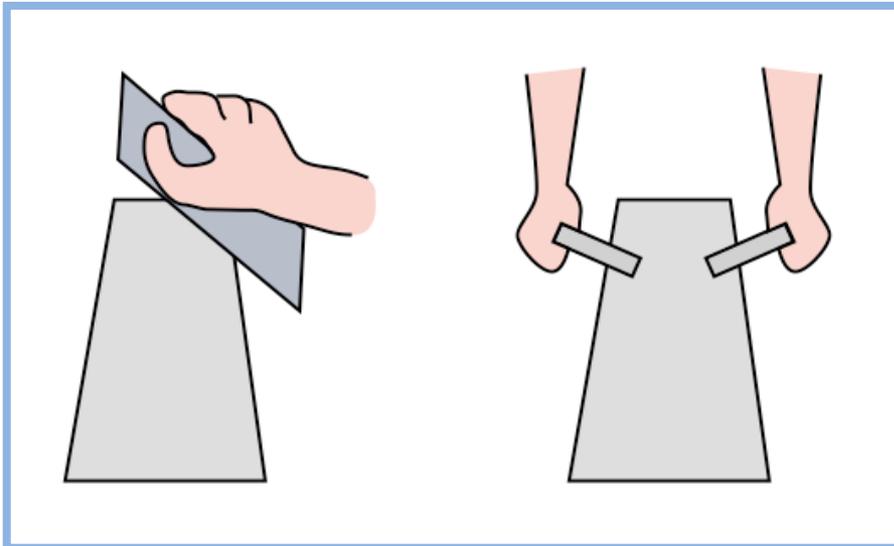
1. Se recoge una muestra de hormigón en una carretilla, la cual se revuelve para homogenizarla. Se limpia con agua el cono y la plancha base
2. Se llena el cono en tres capas, de igual altura, apisonando cada una de ellas con 25 golpes de varilla, teniendo cuidado en que ésta penetre en la capa anterior



# Consistencia

## CONO DE ABRAMS

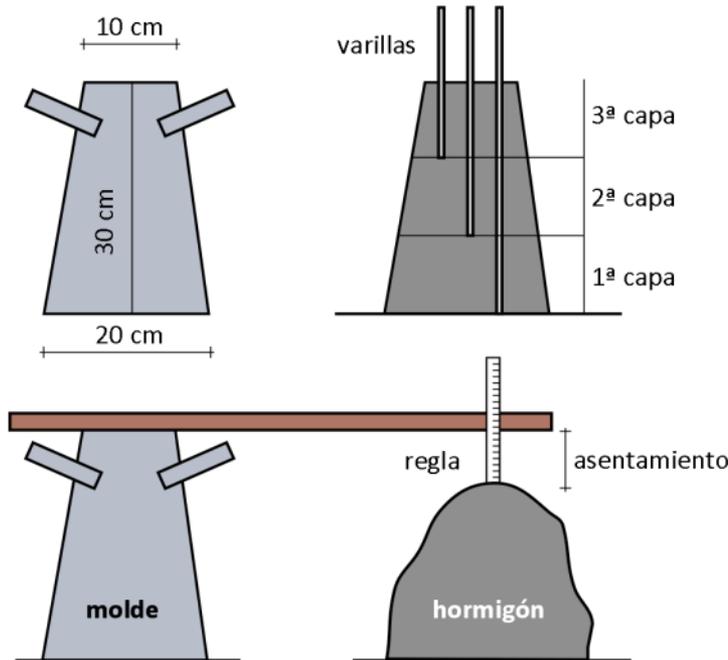
3. Una vez lleno el cono, se enrasa la parte superior y se retira el hormigón derramado en la plancha base. Se levante el molde troncocónico verticalmente con cuidado y se coloca al lado del hormigón moldeado



**Consistencia**

**CONO DE ABRAMS**

4. Se mide la diferencia de altura entre el cono y el hormigón, colocando la varilla horizontalmente sobre el cono



<b>CONSISTENCIA SEGÚN EL CONO DE ABRAMS</b>	
<b>Consistencia</b>	<b>Asiento (cm)</b>
Seca	0 - 2
Plástica	3 - 5
Blanda	6 - 9
Fluida	10 - 15
Líquida	≥ 16

# Consistencia

## MESA DE SACUDIDAS

El ensayo de consistencia por medio de la mesa de sacudidas se fundamenta en medir el escurrimiento o aumento de diámetro que experimenta la base inferior de un tronco de cono de hormigón moldeado en un molde de 13 cm de altura y 17 y 25 cm de diámetros superior e inferior, respectivamente, situado sobre una mesa circular al someterla a quince sacudidas de 12 mm de alto durante 15 segundos



<b>CONSISTENCIA SEGÚN LA MESA DE SACUDIDAS</b>	
<b>Consistencia</b>	<b>I.C.</b>
Seca	0 a 30
Plástica	30 a 50
Blanda	50 a 70
Fluida	70 a 100
Líquida	> 100

# Consistencia

## MÉTODO VEBE

El método Vebe consiste en medir el tiempo que tarda un tronco de cono de hormigón, moldeado con el cono de Abrams y colocado en el interior de un recipiente cilíndrico situado sobre una mesa vibrante, en deformarse y tomar la forma de aquél bajo la acción de un vibrador de 3.000 r.p.m. con una aceleración máxima de 3 a 4 g

La consistencia del hormigón se mide en segundos Vebe e indica el tiempo transcurrido desde que se inicia la vibración hasta que el hormigón se compacta dando una superficie horizontal, lo que se aprecia por medio de un disco de plástico que acompaña libremente al hormigón durante su acomodo



### CONSISTENCIA SEGÚN EL MÉTODO VEBE

Consistencia	Tiempo Vebe (s)
Seca	5 a 10
Muy seca	10 a 18
Extremadamente seca	18 a 30

# Hormigón fresco

## HOMOGENEIDAD

**Hormigón homogéneo:** en cualquier parte de su masa, los componentes del hormigón deben estar perfectamente mezclados y en la proporción prevista al diseñar la mezcla

**Segregación:** los componentes del hormigón se separan unos de otros y se decantan de acuerdo con su tamaño y densidad

**Exudación:** forma de segregación en la que el agua tiende a elevarse hacia la superficie del hormigón como consecuencia de la incapacidad de los áridos de arrastrarla con ellos al irse compactando, lo que crea en la superficie del hormigón una capa delgada, débil y porosa que no tiene resistencias ni es durable



# Amasado del hormigón

La fabricación del hormigón requiere:

- Almacenamiento de materias primas
- Instalaciones de dosificación
- Equipo de amasado



# Amasado del hormigón

El amasado del hormigón tiene por finalidad recubrir a los áridos de una capa de pasta de cemento y mezclar a todos los componentes hasta conseguir una masa uniforme. Esta operación se realiza en unos equipos denominados **amasadoras** u **hormigoneras**

Las básculas deberán tener una precisión del 0,5 por 100 de la capacidad total de la escala de la báscula. Para comprobarlo deberá disponerse de un conjunto adecuado de pesas patrón

Los dosificadores para aditivos estarán diseñados y marcados de tal forma que se pueda medir con claridad la cantidad de aditivo correspondiente a 50 kilogramos de cemento

Componentes	Tolerancias sobre la cantidad dosificada
Cemento	± 3%
Agua	
Árido total	
Adiciones	
Aditivos	± 5%

# Amasado del hormigón

## HORMIGONERAS BASCULANTES



# Amasado del hormigón

## HORMIGONERAS DE EJE HORIZONTAL



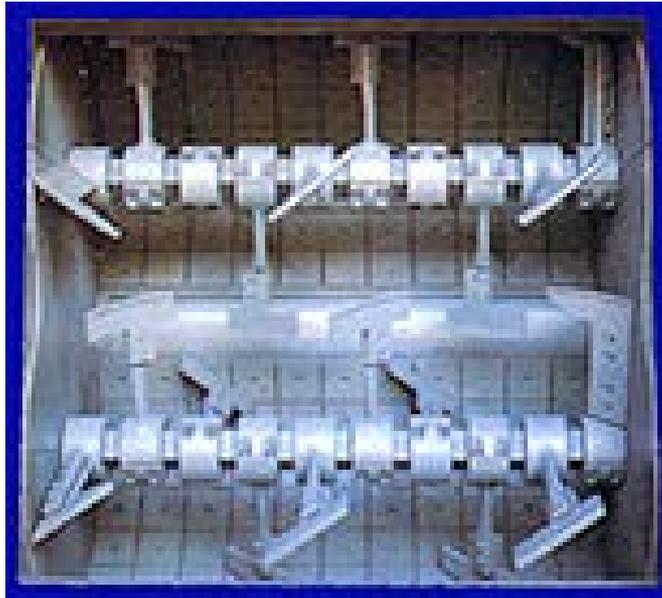
# Amasado del hormigón

## HORMIGONERAS DE EJE VERTICAL



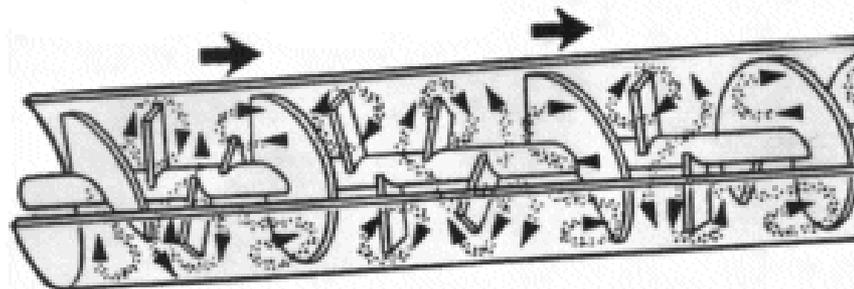
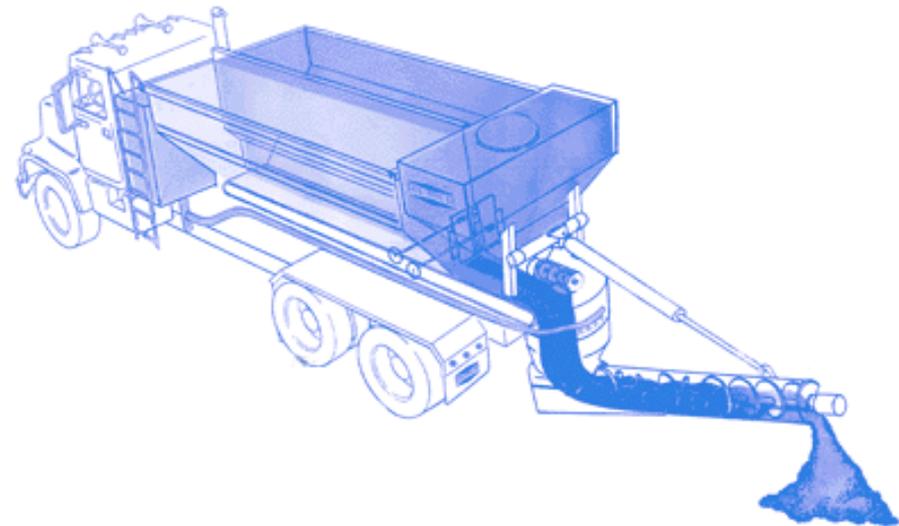
# Amasado del hormigón

## HORMIGONERAS DE EJES GEMELOS



# Amasado del hormigón

## HORMIGONERAS CONTINUAS



# Amasado del hormigón

El tiempo mínimo de amasado debe situarse en torno al minuto y medio, y algo más cuando se empleen ciertos productos (plastificantes, aireantes, acelerantes, etc.), ya que debe garantizarse su distribución homogénea dentro de la masa

TIEMPO MÍNIMO DE AMASADO		
Amasadora	Tiempo de amasado (s)	Comentarios
Móvil (camión hormigonera)	70-100 revoluciones (unos 4 minutos)	La mitad, en condiciones ideales
Mixto (parcial en amasadora fija y móvil)	El necesario para cumplir las condiciones de uniformidad	
Hormigonera basculante	$120\sqrt{D}$	D = diámetro, m
Eje horizontal con inversión de giro	$90\sqrt{D}$	A unas 20 rpm
De eje vertical y cuba fija	$60 + 15\left(\frac{V - 750}{400}\right) \geq 60$ V=volumen (ℓ)	Hasta 3 m <sup>3</sup> Hasta 100 m <sup>3</sup> /hora
De eje vertical y cuba giratoria	$60 + 15\left(\frac{V - 750}{1000}\right) \geq 60$	Hasta 3 m <sup>3</sup> Hasta 100 m <sup>3</sup> /hora
De doble tambor y sincronía	90	Producción continua
De ejes gemelos horizontales con paletas	30 - 60	Alto rendimiento

# Amasado del hormigón

Las propiedades que permiten evaluar el nivel de calidad de un hormigón en estado fresco son la **homogeneidad** (mantenimiento de características similares dentro de una misma amasada) y la **uniformidad** (mantenimiento de características similares entre distintas amasadas)

COMPROBACIÓN DE LA HOMOGENEIDAD DEL HORMIGÓN		
ENSAYOS		Diferencia máxima tolerada entre los resultados de los ensayos de dos muestras tomadas de la descarga del hormigón (1/4 y 3/4 de la descarga)
Grupo A	1. Consistencia (UNE 83313:90) Si el asiento medio es igual o inferior a 9 cm	3 cm
	Si el asiento medio es superior a 9 cm	4 cm
	2. Resistencia (*) En porcentajes respecto a la media	7,5%
Grupo B	3. Densidad del hormigón (UNE 83317:91) en kg/m <sup>3</sup>	16 kg/m <sup>3</sup>
	4. Contenido de aire (UNE 83315:96) En porcentaje respecto al volumen del hormigón	1%
	5. Contenido de árido grueso (UNE 7295:76) En porcentaje respecto al peso de la muestra tomada	6%
	6. Módulo granulométrico del árido (UNE 7295:76)	0,5
(*) Por cada muestra se romperán a compresión, a 7 días y según el método de ensayo UNE 83304:84, dos probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. Estas probetas serán confeccionadas y conservadas según la UNE 83301:91. Se determinará la medida de cada una de las dos muestras como porcentaje de la media total		

## Transporte del hormigón

El **transporte** puede realizarse por distintos medios, dependiendo de la distancia existente entre el punto de amasado y el de colocación, así como de las características de la obra

Durante el transporte, deberán tenerse en cuenta las siguientes precauciones:

- Deberá procurarse que no se produzca una desecación de la masa durante el transporte
- El tiempo transcurrido entre la adición de agua del amasado al cemento y a los áridos y la colocación del hormigón, no debe ser mayor de hora y media
- La temperatura del hormigón fresco no debe superar los  $30^{\circ}$  C ni ser inferior a  $5^{\circ}$  C en el período de tiempo comprendido entre el amasado y la colocación del mismo
- Los equipos de transporte deberán estar exentos de residuos de hormigón o mortero endurecido, para lo cual se limpiarán, antes de proceder a la carga de una nueva masa fresca de hormigón

## Transporte del hormigón

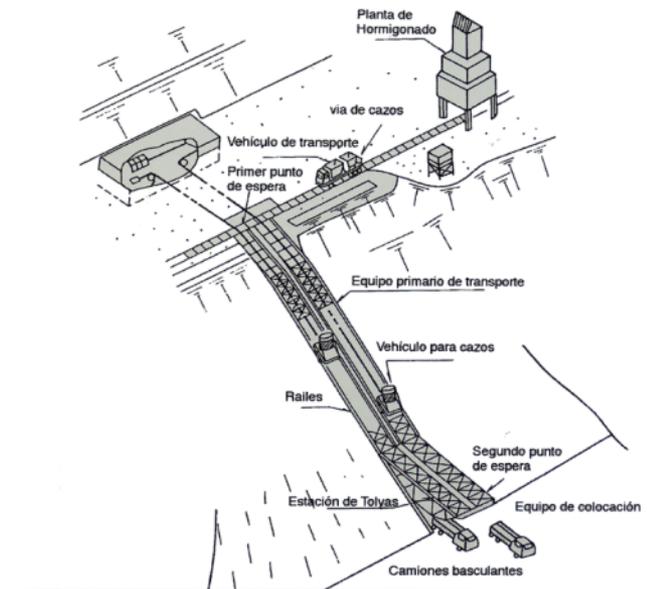
Durante el transporte, deberán tenerse en cuenta las siguientes precauciones:

- Cuando se utilicen hormigones fabricados con distintos tipos de cemento, y/o aditivos o adiciones, será del todo necesario limpiar el recipiente de transporte, en el sentido de eliminar cualquier resto o porción de la masa anterior
- En la medida de la posible, deberá evitarse que se produzcan vibraciones excesivas durante el transporte, circunstancia ésta que siempre favorecerá la segregación de los áridos y, en consecuencia, la falta de homogeneidad de la masa
- En términos generales, no es conveniente dividir porciones correspondientes a una misma amasada en transportes distintos
- Si el hormigón se amasa completamente en central y se transporta en amasadoras móviles, el volumen de hormigón transportado no deberá exceder del 80% del volumen total del tambor. Cuando el hormigón se amasa, o se termina de amasar, en amasadora móvil, el volumen no excederá de los dos tercios del volumen total del tambor

# Transporte del hormigón

## TRANSPORTE INTERMITENTE

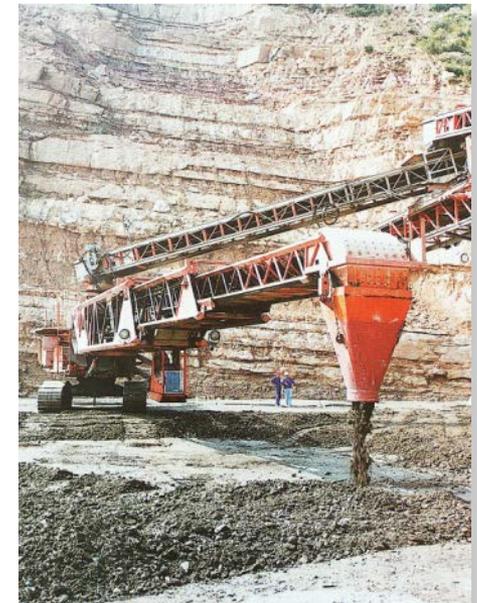
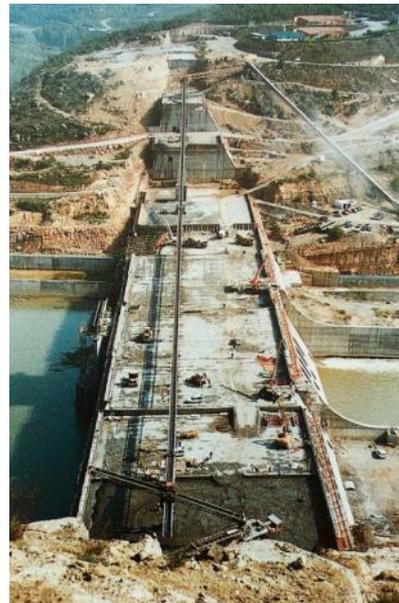
- Carretillas
- Cubas
- Camiones
- Vagonetas
- Blondines



# Transporte del hormigón

## TRANSPORTE CONTINUO

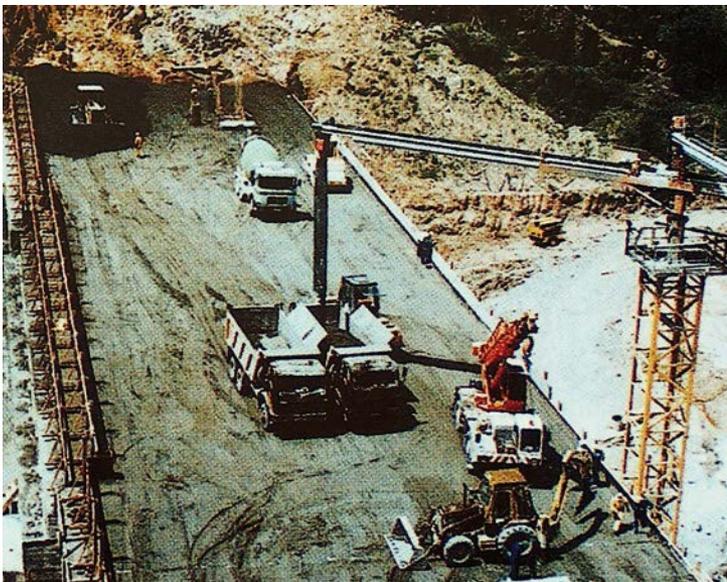
- Cinta transportadora
- Canaleta
- Trompa de elefante



# Transporte del hormigón

## TRANSPORTE CONTINUO

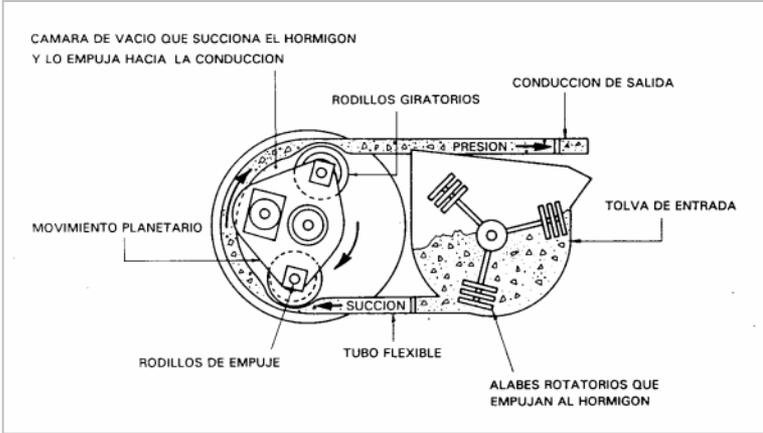
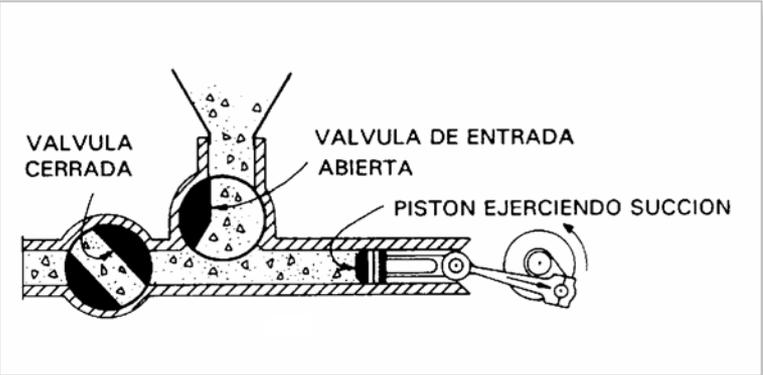
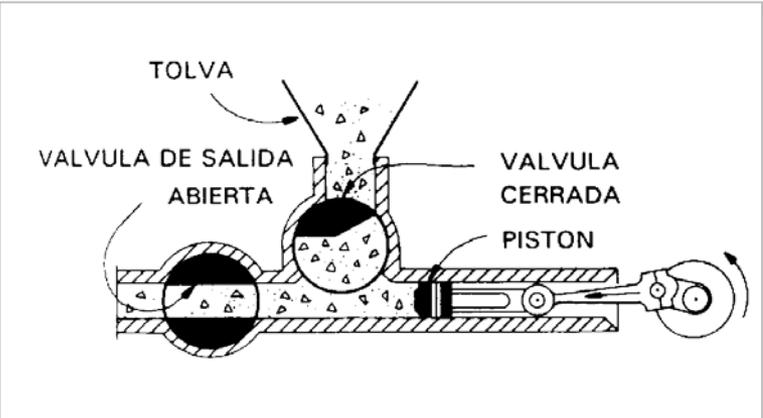
- Cinta transportadora
- Canaleta
- Trompa de elefante



# Transporte del hormigón

## TRANSPORTE CONTINUO

- Bomba de hormigón

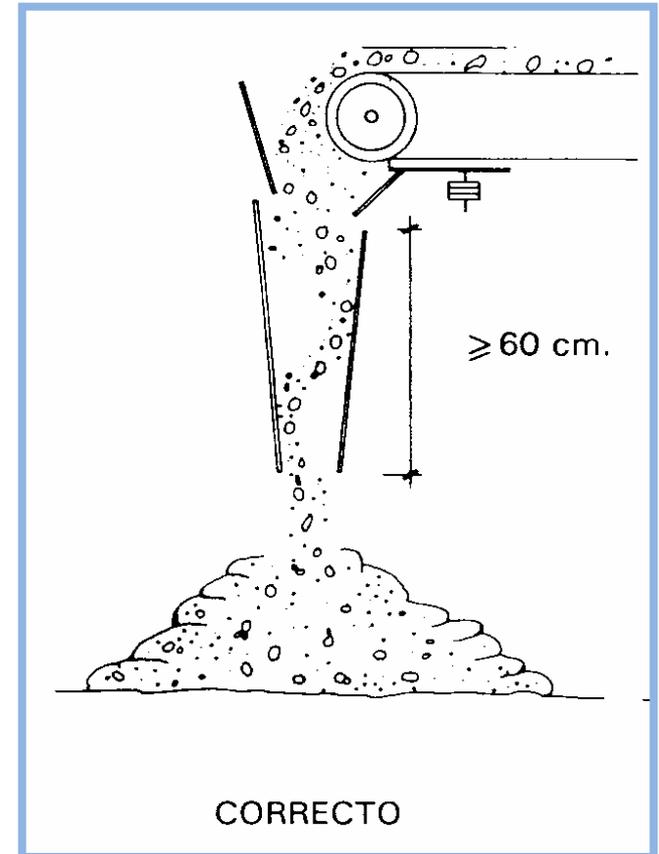
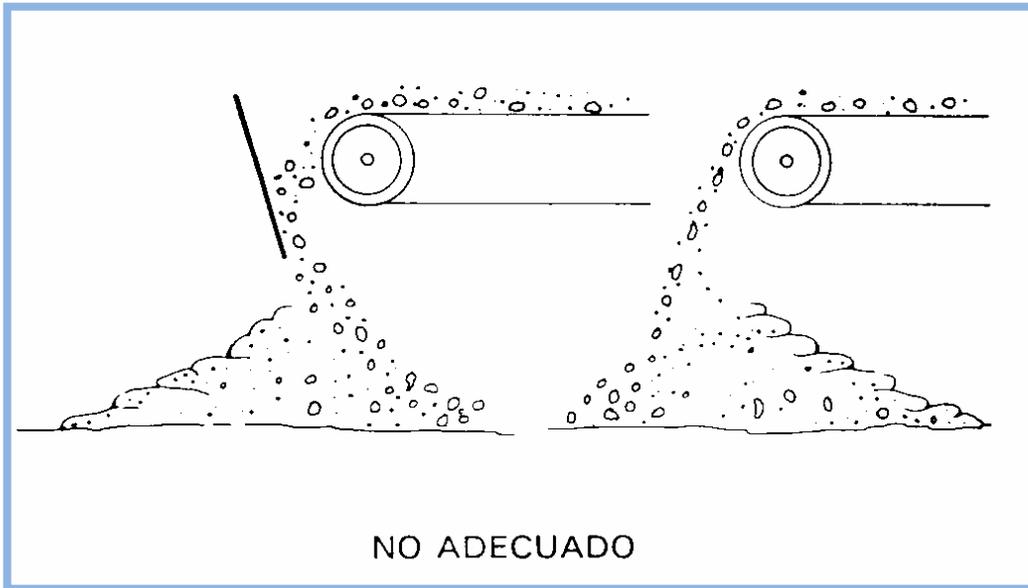


## Puesta en obra

En términos generales, las precauciones a tener en cuenta durante la puesta en obra son:

- Se deben tomar medidas para evitar la caída libre del hormigón desde una altura superior a los dos metros, a fin de impedir que se rompa la homogeneidad de la mezcla al caer más rápidamente el árido grueso que el resto de los componentes
- Antes de verter el hormigón dentro de los moldes es conveniente observar si existen elementos extraños dentro de ellos que puedan crear discontinuidades o la presencia de nieve o hielo que dificulten la unión con el hormigón existente
- Se procurará, en todo momento, que la dirección del vertido sea vertical, trasladando el medio de vertido y evitando el desplazamiento horizontal de la masa
- Deberá evitarse el vertido con pala, así como el extendido con rastrillo, dado que producen segregaciones

### Puesta en obra



## Puesta en obra

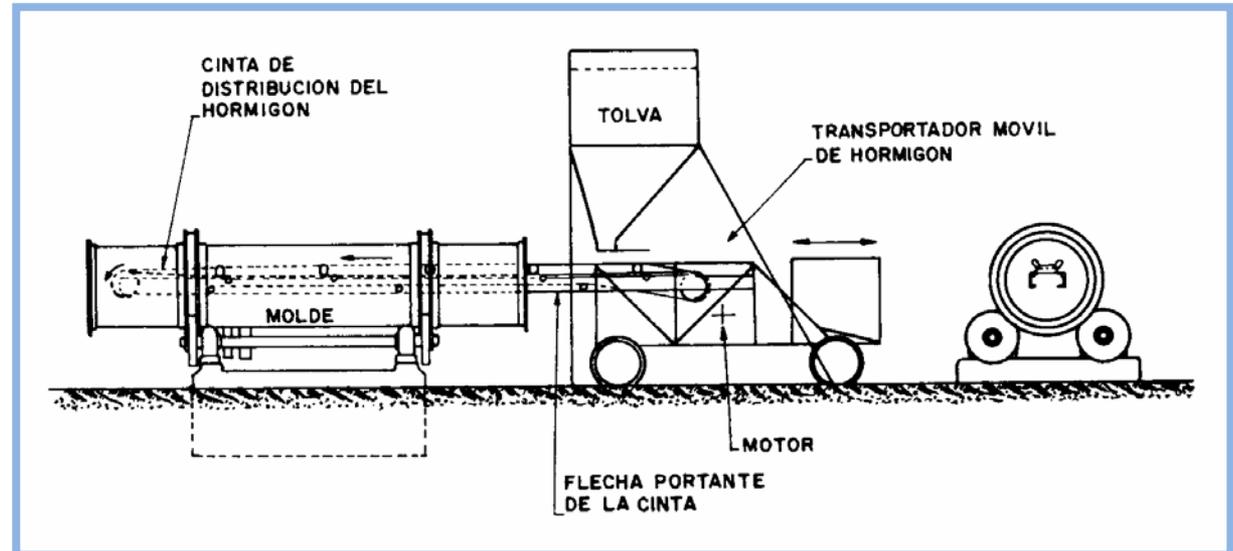
En términos generales, las precauciones a tener en cuenta durante la puesta en obra son:

- Se procurará que el vertido se haga sobre la porción de masa que ya ha sido colocada, evitando verterla delante de ésta
- Deberá evitarse el golpeo del hormigón contra las armaduras y los costeros de los moldes o encofrados, ya que se producen segregaciones de la masa
- Cuando el hormigón se coloca por capas o tongadas, éstas deben tener una altura de 30 a 60 cm, dependiendo del sistema de consolidación que se emplee
- Antes del vertido hay que prever donde van a estar situadas las juntas de hormigonado
- No deben colocarse en obra hormigones con un asiento en el cono superior a 15 cm (consistencia fluida)
- En el caso de hormigones para edificación, se recomienda que el asiento en el cono de Abrams no sea inferior a 6 centímetros

## Puesta en obra

El hormigón simplemente vertido en los encofrados aparecería con numerosas coqueras y elevada porosidad. El proceso de **compactación** tiende a eliminar completamente las coqueras y a reducir la porosidad por debajo del 12-13%

- Picado
- Apisonado
- Centrifugado

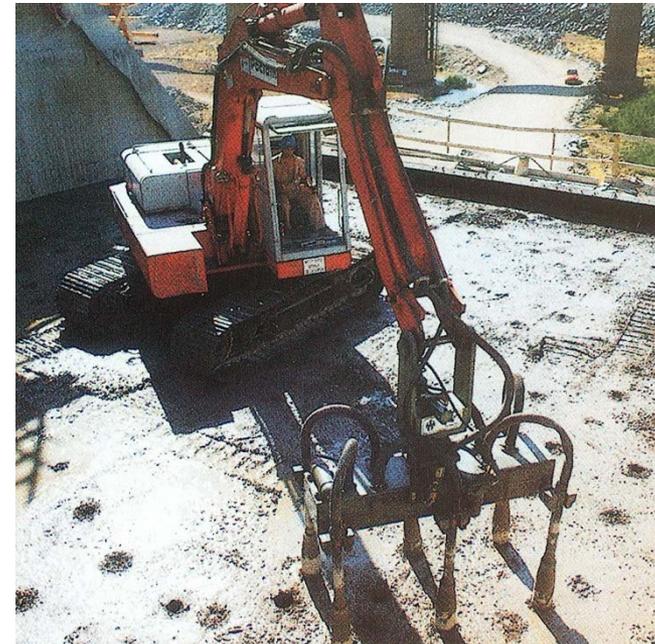


# Compactación

## VIBRACIÓN

La **vibración** es el medio más apropiado para conseguir el equilibrio entre resistencia y docilidad. Las ondas resultantes de la acción de un vibrador pueden transmitirse al hormigón según diferentes técnicas, que se resumen en dos categorías conocidas como **vibración externa** y **vibración interna**

- Vibración interna

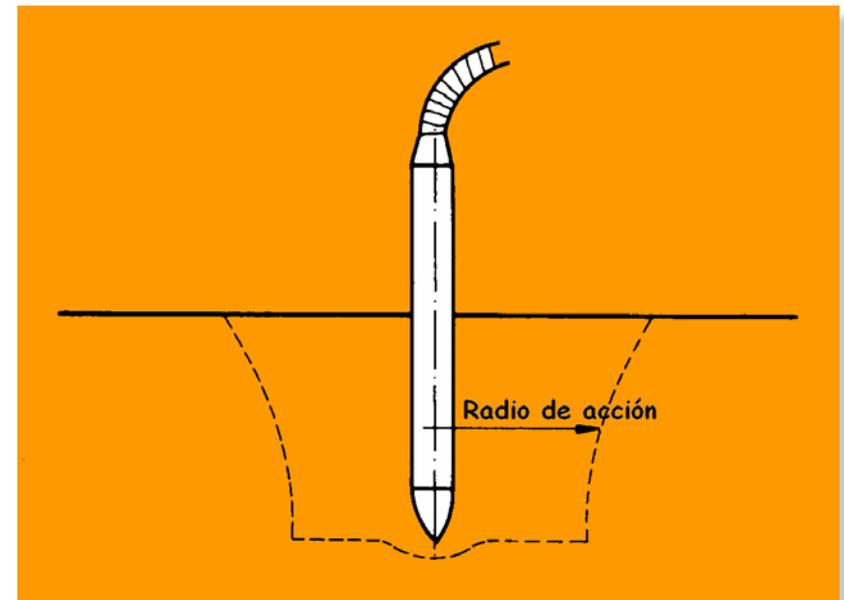
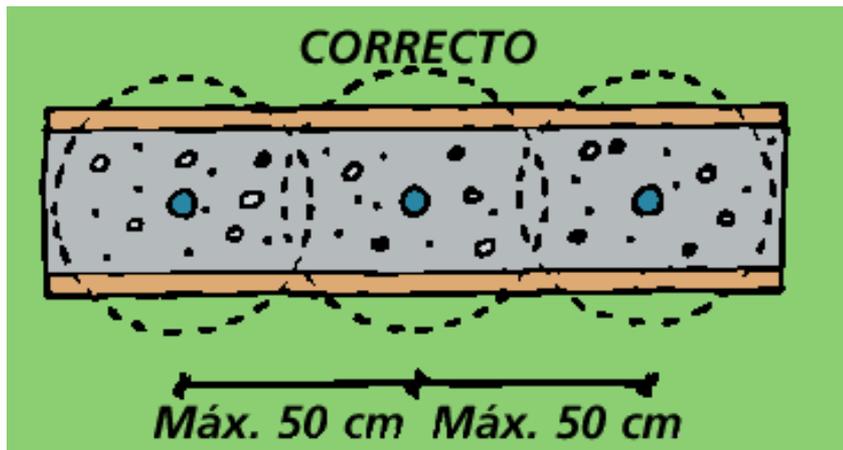


# Compactación

## VIBRACIÓN

La **vibración** es el medio más apropiado para conseguir el equilibrio entre resistencia y docilidad. Las ondas resultantes de la acción de un vibrador pueden transmitirse al hormigón según diferentes técnicas, que se resumen en dos categorías conocidas como **vibración externa** y **vibración interna**

- Vibración interna



# Compactación

## VIBRACIÓN

- Vibración externa



## Juntas de hormigonado

Dos son los problemas que presentan las juntas de hormigonado y que pueden ser causas de fallos, una es la elección de la zona donde hay que realizarlas y la otra, el tratamiento a dar a las mismas

Para lograr una buena adherencia, se debe cuidar el disponer las juntas de hormigonado lo más normal posible a la de las tensiones de compresión, y allí donde su efecto sea menos perjudicial, alejándolas, con dicho fin, de las zonas en las que la armadura esté sometida a fuertes tracciones

**Tratamiento de las juntas:** antes de reanudar el hormigonado, la superficie a unir debe desprenderse de la capa de lechada superficial mediante chorro de arena o de agua, o bien mediante cepillo de alambre, para, posteriormente, eliminar toda traza de suciedad o detritus desprendidos, tras lo cual se procederá a humedecer el área tratada

# Juntas de hormigonado



# Hormigonados especiales

## HORMIGONADO EN TIEMPO FRÍO

En general, se suspenderá el hormigonado siempre que se prevea que la temperatura ambiente puede descender por debajo de  $0^{\circ}$  C dentro de las cuarenta y ocho horas siguientes

Si se hormigona con riesgo de heladas, es conveniente adoptar las medidas oportunas para garantizar que, durante el fraguado y primer endurecimiento, se respeten las siguientes recomendaciones:

- La temperatura del hormigón fresco, en el momento del vertido en el molde o encofrado, no sea inferior a  $+5^{\circ}$  C
- No exista contacto del hormigón sobre elementos (armaduras, moldes, terreno, hormigón puesto en obra con anterioridad) cuya temperatura sea inferior a  $0^{\circ}$  C

# Hormigonados especiales

## HORMIGONADO EN TIEMPO FRÍO

Entre las medidas a considerar para paliar estos inconvenientes, cabe destacar:

- Empleo de cementos de alta resistencia inicial
- Calentado previo del agua de amasado hasta 60 ó 70° C
- Calentado del árido, siendo suficiente hasta unos 20° C y sin superar los 40° C, de forma que se eviten elevados gradientes térmicos
- Garantizar el mantenimiento de la temperatura del hormigón colocado mediante protecciones superficiales con materiales
- Dosificar con baja relación agua/cemento y, más concretamente, emplear poca cantidad de agua de amasado
- Emplear aditivos acelerantes en aquellas situaciones de extrema necesidad
- El empleo de aireantes suele dar buenos resultados

# Hormigonados especiales

## HORMIGONADO EN TIEMPO FRÍO



# Hormigonados especiales

## HORMIGONADO EN TIEMPO CALUROSO

Debe tratarse de asegurar que la temperatura del hormigón en el momento del vertido sea inferior a  $35^{\circ}$  C, en el caso de estructuras normales, y menor que  $15^{\circ}$  C, en el caso de grandes masas de hormigón

Cuando sea preciso hormigonar en ciertas condiciones extremas, las precauciones a tomar serán las siguientes:

- Enfriamiento del agua de amasado
- Protección de los áridos y del resto de materiales componentes contra la insolación
- Control de la temperatura del cemento (no superior a los  $70^{\circ}$  C)
- Rapidez en las operaciones siguientes al amasado
- Enfriamiento de los moldes o encofrados
- Protección de la pieza durante el proceso de fraguado con elementos que le ofrezcan sombra, arpilleras húmedas, plásticos, arena húmeda, etc

# Hormigonados especiales

## HORMIGONADO EN TIEMPO CALUROSO

Si la temperatura ambiente es superior a 40°C o hay un viento excesivo, se suspenderá el hormigonado



## Curado del hormigón

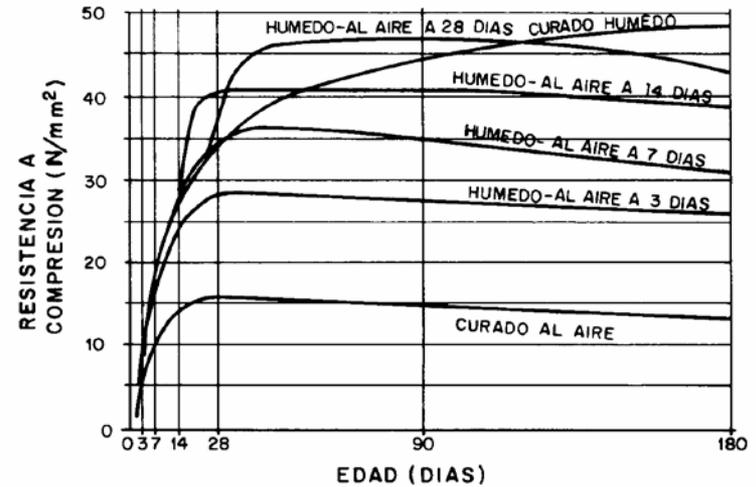
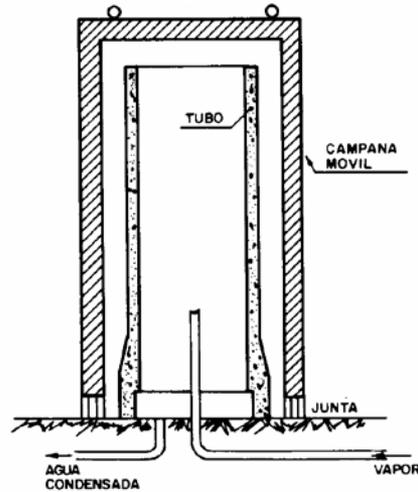
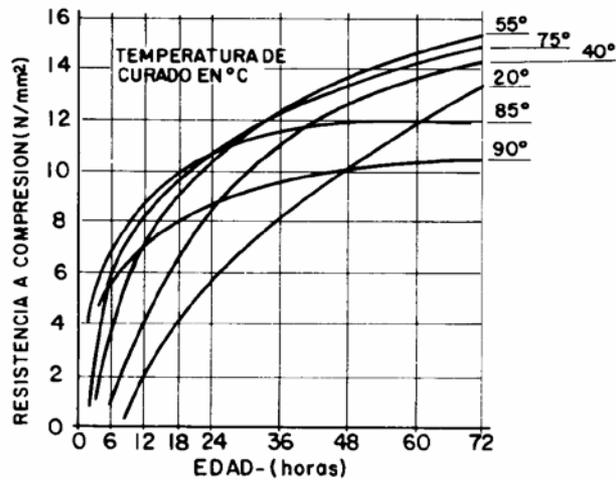
**Curado del hormigón:** conjunto de tratamientos tendentes a conservarlo en unas condiciones de humedad y temperatura determinadas, durante el plazo necesario para asegurar un adecuado endurecimiento

El curado ordinario consiste en mantener la humedad, compensando la pérdida de agua por evaporación mediante la aportación de agua externa o por la creación de barreras impermeables



# Curado del hormigón

Los **curados acelerados** tienen por misión conseguir resistencias iniciales altas a fin de disponer cuanto antes de los moldes, tener más espacio disponible para la fabricación y menos capital inmovilizado, por consiguiente, estos curados son muy importantes en prefabricación



# Desencofrado y desmoldeo

Estas operaciones no se realizarán hasta que el hormigón haya alcanzado la resistencia necesaria para soportar, con seguridad suficiente y sin excesivas deformaciones, los esfuerzos a los que estará sometido

<b>PERÍODOS MÍNIMOS DE DESENCOFRADO DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN</b>				
<b>Temperatura superficial del hormigón (°C)</b>	<b>≥ 24°</b>	<b>16°</b>	<b>8°</b>	<b>2°</b>
Encofrado vertical	9 horas	12 horas	18 horas	30 horas
Losas:				
Fondos de encofrado	2 días	3 días	5 días	8 días
Puntales	7 días	9 días	13 días	20 días
Vigas:				
Fondos de encofrado	7 días	9 días	13 días	20 días
Puntales	10 días	13 días	18 días	28 días

# Hormigón endurecido

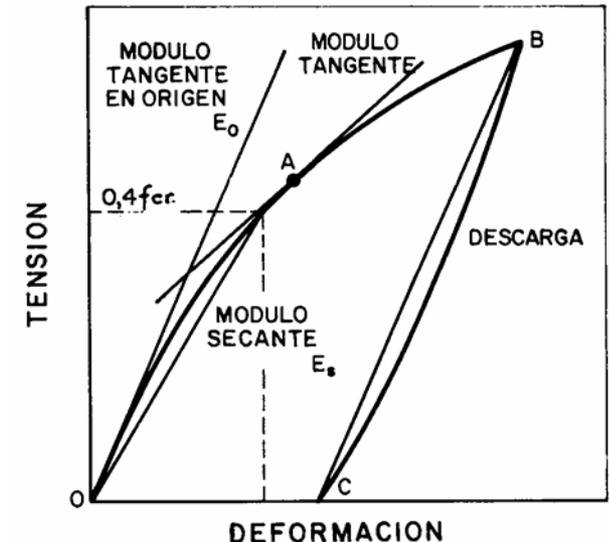
## DENSIDAD

Oscila entre los  $0,5 \text{ kg/dm}^3$  de algunos hormigones ligeros, al valor próximo a  $6 \text{ kg/dm}^3$  que presentan los hormigones pesados de áridos de acero. En los hormigones tradicionales en masa, su valor suele estar próximo a  $2,2 \text{ kg/dm}^3$  y en los armados puede llegar hasta  $2,5 \text{ kg/dm}^3$ , dependiendo de la cuantía del armado

## ELASTICIDAD

La curva tensión-deformación del hormigón no presenta zonas rectilíneas, salvo en los primeros escalones de carga, es decir, no se cumple la ley de Hooke

Para hormigones endurecidos (edad  $\geq 28$  días), los valores del módulo de elasticidad oscilan entre los 15000 y los 45000 MPa



# Hormigón endurecido

## VARIACIONES DE VOLUMEN

Tanto durante el proceso de hidratación del cemento como una vez finalizado el fraguado y primer endurecimiento, el hormigón experimenta una disminución de volumen, lo que se conoce como **retracción**

La contracción total experimentada por el hormigón es la suma de varios procesos sucesivos:

- La **retracción plástica**. Tiene lugar mientras el hormigón se encuentra en estado plástico, es decir, antes de que haya finalizado el proceso de fraguado, experimentando el volumen de la pasta una contracción del orden del 1% con respecto al volumen absoluto de cemento seco más agua
- La **retracción hidráulica o de secado**. Cuando el hormigón ha fraguado y se encuentra en un ambiente no saturado pierde agua, apareciendo una contracción que se denomina retracción de secado

# Hormigón endurecido

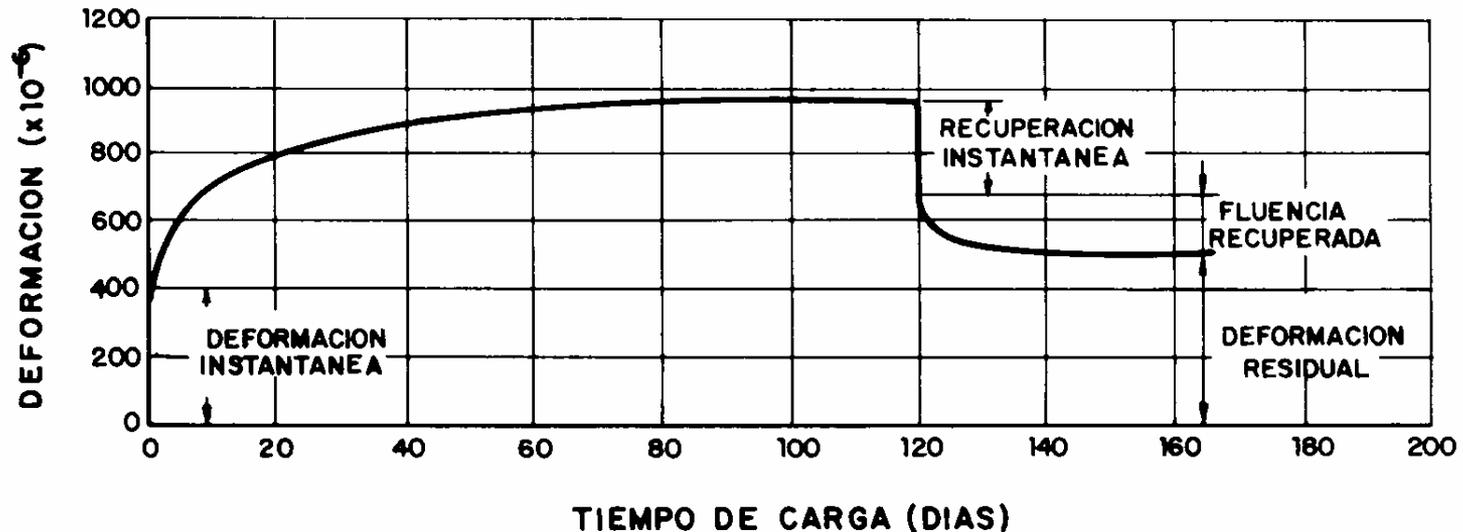
## VARIACIONES DE VOLUMEN



# Hormigón endurecido

## FLUENCIA

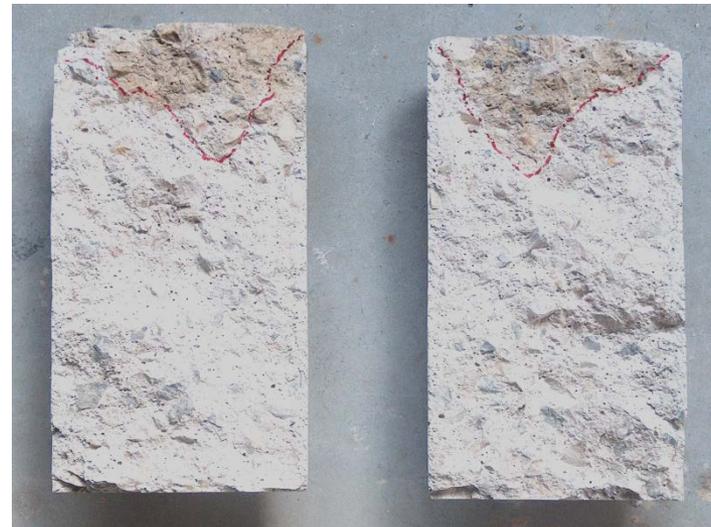
Deformaciones diferidas, tanto elásticas como plásticas, que dependen de la tensión, las cuales se producirán aunque el esfuerzo sea pequeño y son crecientes con el tiempo pero amortiguadas, pudiendo llegar a valer 2 ó 3 veces la deformación elástica inicial



# Hormigón endurecido

## PERMEABILIDAD

La EHE recomienda que, en aquellos casos especiales de agresividad del ambiente, se realicen comprobaciones relativas a la impermeabilidad del hormigón mediante el ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión, considerando que un hormigón es suficientemente impermeable cuando la profundidad de penetración máxima es igual o inferior a 50 mm y la profundidad de penetración media igual o menor de 30 mm



# Hormigón endurecido

## RESISTENCIA A COMPRESIÓN

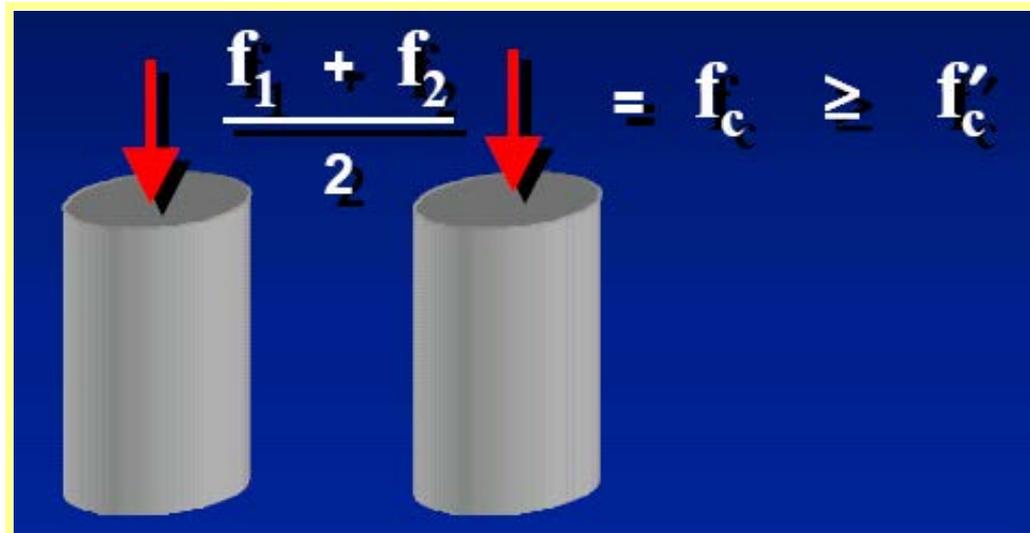
Se obtiene a partir de los resultados del ensayo de rotura a compresión, en número igual o superior a dos, realizados sobre probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, de 28 días de edad, fabricadas, conservadas, refrentadas y rotas por compresión, según el método de ensayo indicado en las normas EN 12390-2 y EN 12390-3



# Hormigón endurecido

## RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Se obtiene a partir de los resultados del ensayo 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 días de edad, fabricadas, conservadas, refrentadas y rotas por compresión, según el método de ensayo indicado en las normas EN 12390-2 y EN 12390-3



# Hormigón endurecido

## RESISTENCIA A COMPRESIÓN

**Resistencia característica de proyecto ( $f_{ck}$ ):** es el valor que se adopta en el proyecto para la resistencia a compresión como base de los cálculos

**Resistencia característica estimada ( $f_{c\ est}$ ):** es el valor que cuantifica la resistencia característica real de obra a partir de un número finito de resultados de ensayos normalizados de resistencia a compresión, sobre probetas tomadas en obra. Abreviadamente se puede denominar resistencia característica

**Resistencia característica real ( $f_{c\ real}$ ):** es el valor que corresponde al cuantil del 5% en la distribución de resistencias a compresión del hormigón colocado en obra

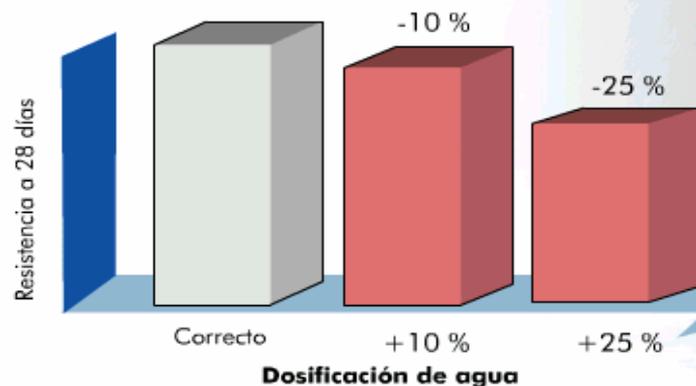
# Hormigón endurecido

## RESISTENCIA A COMPRESIÓN

### Influencia de la cantidad de agua de amasado

en las resistencias a la compresión de los hormigones

Ejemplos :



Un exceso de agua del **25%** reducirá la resistencia a 28 días en un **25%** aproximadamente.

#### CONCLUSIÓN :

La dosificación de agua debe ser limitada estrictamente al mínimo exigido para la manejabilidad del hormigón.

### EVOLUCIÓN DE LAS RESISTENCIAS CON EL TIEMPO

Tipo de esfuerzo	Edad del hormigón en días	3	7	28	90	360
Compresión	Hormigones de endurecimiento normal	0,40	0,65	1,00	1,20	1,35
	Hormigones de endurecimiento rápido	0,55	0,75	1,00	1,15	1,20
Tracción	Hormigones de endurecimiento normal	0,40	0,70	1,00	1,05	1,10

# Hormigón endurecido

## RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Los hormigones se deben denominar de acuerdo al siguiente formato:

T-R/C/TM/A

T: Indicativo que será HM en el caso de hormigón en masa, HA en el caso de hormigón armado y HP en el de pretensado

R: Resistencia característica especificada, en  $\text{N/mm}^2$

C: Letra inicial del tipo de consistencia

TM: Tamaño máximo del árido en milímetros

**HP-40/B/16/IIb**

A: Designación del ambiente

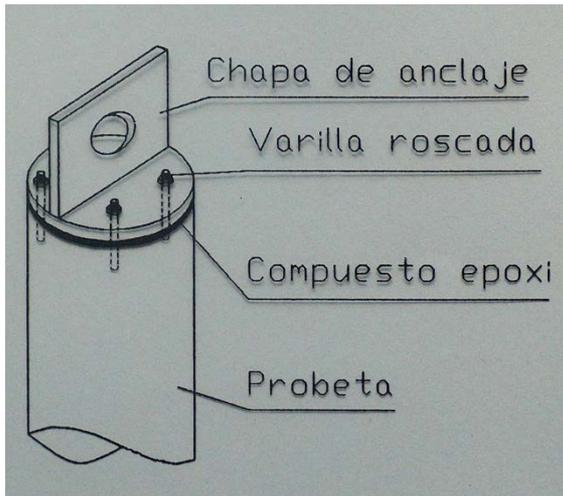
La EHE recomienda los siguientes valores de R: 20, 25, 30  $\text{N/mm}^2$ , ....

# Hormigón endurecido

## RESISTENCIA A TRACCIÓN

El hormigón presenta una resistencia a tracción baja, del orden de la décima parte de su resistencia a compresión. Esta debilidad es causa frecuente de la fisuración del mismo

Existen tres procedimientos para determinar la resistencia a tracción del hormigón, presentando cada uno de ellos ciertas peculiaridades en relación con el método para evaluarla:



# Control de calidad

## CONTROL DE LA CONSISTENCIA

La consistencia del hormigón debe ser la especificada en el proyecto, definiéndola por su tipo, o por el valor numérico de su asiento, expresado en cm. La EHE indica como criterios de aceptación o rechazo:

- Si la consistencia se ha definido por su tipo, la media aritmética de los dos valores obtenidos tiene que estar comprendida dentro del intervalo correspondiente
- Si la consistencia se ha definido por su asiento, la media de los dos valores debe estar comprendida dentro de la tolerancia

TOLERANCIAS PARA LA CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN			
Tipo de consistencia		Tolerancia (cm)	Intervalo resultante
<b>Consistencia definida por su tipo</b>	Seca	0	0 - 2
	Plástica	±1	2 - 6
	Blanda	±1	5 - 10
	Fluida	±2	8 - 17
<b>Consistencia definida por su asiento</b>	Entre 0 - 2	±1	A ± 1
	Entre 3 - 7	±2	A ± 2
	Entre 8 - 12	±3	A ± 3

# Control de calidad

## CONTROL DE LA RESISTENCIA

La Instrucción EHE prevé los siguientes tipos de ensayos para el control de la resistencia del hormigón:

- **Ensayos previos**, realizados en laboratorio con anterioridad al comienzo de la obra, para comprobar que la dosificación propuesta es adecuada a las características del hormigón especificado en el proyecto
- **Ensayos característicos**, tienen por objeto comprobar antes del comienzo del hormigonado, que la resistencia característica real del hormigón que se va a colocar en la obra no es inferior a la de proyecto
- **Ensayos de control**, tienen por objeto comprobar, a lo largo de la ejecución, que la resistencia característica del hormigón de la obra es igual o superior a la de proyecto

# Control de calidad

## CONTROL DE LA RESISTENCIA

CONTROL DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN						
Tipo de ensayos	Previos	Característicos	De control	De información complementaria		
				Tipo a	Tipo b	Tipo c
Ejecución de probetas	En laboratorio	En obra	En obra	En obra	Extraídas del hormigón endurecido	Ensayos no destructivos
Conservación de probetas	En cámara húmeda	En agua o cámara húmeda	En agua o cámara húmeda	Condiciones análogas a la obra	En agua o ambiente según proceda	
Tipo de probetas	Cilíndricas de 15 x 30	Cilíndricas de 15 x 30	Cilíndricas de 15 x 30	Cilíndricas de 15 x 30	Cilíndricas de esbeltez > 1	
Edad de las probetas	28 días	28 días	28 días	Variables		
Número mínimo de probetas	4 x 2 = 8	6 x 2 = 12	Depende del tipo de control	A establecer		
Obligatoriedad	Preceptivos salvo experiencia previa	Preceptivos salvo experiencia previa	Siempre preceptivos	En general no preceptivos		
Observaciones	Destinados a establecer la dosificación inicial	Destinados a confirmar la dosificación definitiva con los medios de fabricación a emplear	A veces deben completarse con ensayos de información	Destinados a estimar la resistencia real del hormigón a una cierta edad y en unas condiciones determinadas		

**Ensayos de información complementaria**, sirven para estimar la resistencia del hormigón de una parte determinada de la obra, a una cierta edad o tras un curado en condiciones análogas a las de la obra

# Control de calidad

## CONTROL DE LA RESISTENCIA

Los ensayos de control se pueden realizar según las siguientes modalidades:

**Modalidad 1** Control estadístico del hormigón, cuando sólo se conozca la resistencia de una fracción de las amasadas que se colocan

**Modalidad 2** Control al 100 por 100, cuando se determine la resistencia de todas las amasadas

**Modalidad 3** Control indirecto (debe adoptarse una resistencia de cálculo  $\leq 10 \text{ N/mm}^2$ )

# Control de calidad

## CONTROL DE LA RESISTENCIA

Cuando en un lote de obra  $f_{c\ est} \geq f_{ck}$  tal lote se aceptará. Si resultase que la  $f_{c\ est} < f_{ck}$ , se procederá como sigue:

Si  $f_{c\ est} \geq 0,9 f_{ck}$  el lote se aceptará

Si  $f_{c\ est} < 0,9 f_{ck}$ , se realizarán los estudios y ensayos que procedan de entre los detallados seguidamente:

- Estudio de la seguridad de los elementos que componen el lote, en función de la  $f_{c\ est}$  deducida de los ensayos de control, para estimar la variación del coeficiente de seguridad respecto del previsto en el proyecto
- Ensayos de información complementaria para estimar la resistencia del hormigón puesto en obra
- Ensayos de puesta en carga (prueba de carga). La carga de ensayo podrá exceder el valor característico de la carga tenida en cuenta en el cálculo

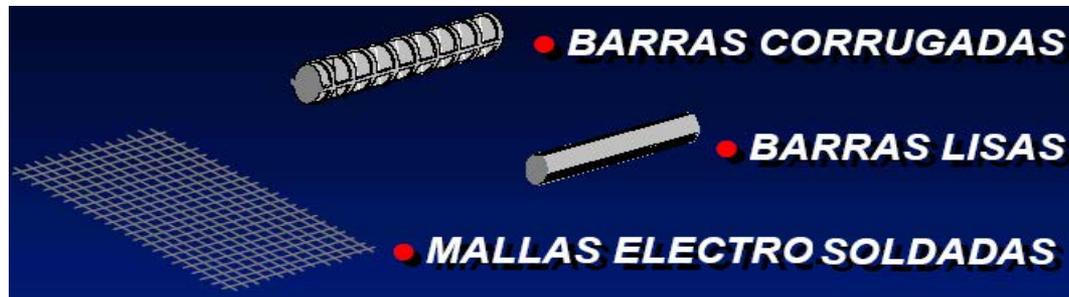
# Hormigón armado

**Armadura:** conjunto de barras de acero que, inmersas en la masa del hormigón, potencian las características del mismo

En el hormigón armado, las barras sólo trabajan cuando el material es solicitado, por lo que a dicha armadura se la conoce como armadura pasiva

La armadura pasiva será de acero y estará constituida por:

- Barras corrugadas
- Mallas electrosoldadas
- Armaduras básicas electrosoldadas en celosía



# Hormigón armado

**Barras corrugadas:** en los cilindros de laminación se les incorpora una serie de estrías y resaltos por los que se identifican, razón por la cual se las denomina como barras de adherencia mejorada

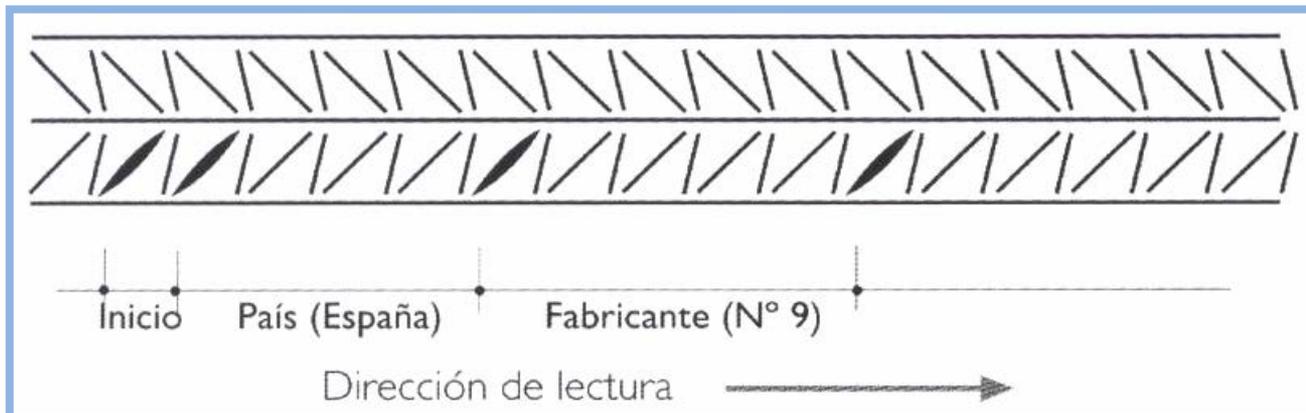


# Hormigón armado

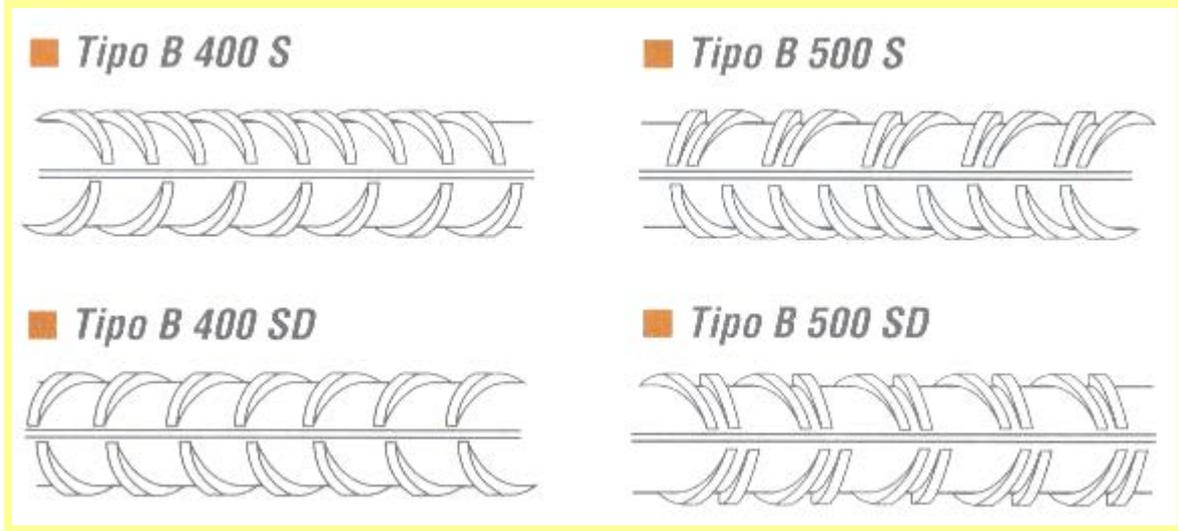
**Diámetro nominal:** número convencional que define el círculo respecto al cual se establecen las tolerancias. El área del mencionado círculo es la **sección nominal** de la barra

Los diámetros nominales de las barras corrugadas se deben ajustar a la serie siguiente: 6 - 8 - 10 - 12 - 14 - 16 - 20 - 25 - 32 y 40 mm

**Sección equivalente** (cm<sup>2</sup>): cociente de su peso en newtons por 0,077 veces su longitud en centímetros (7,85 si el peso se expresa en gramos). La sección equivalente no será inferior al 95,5% de la sección nominal



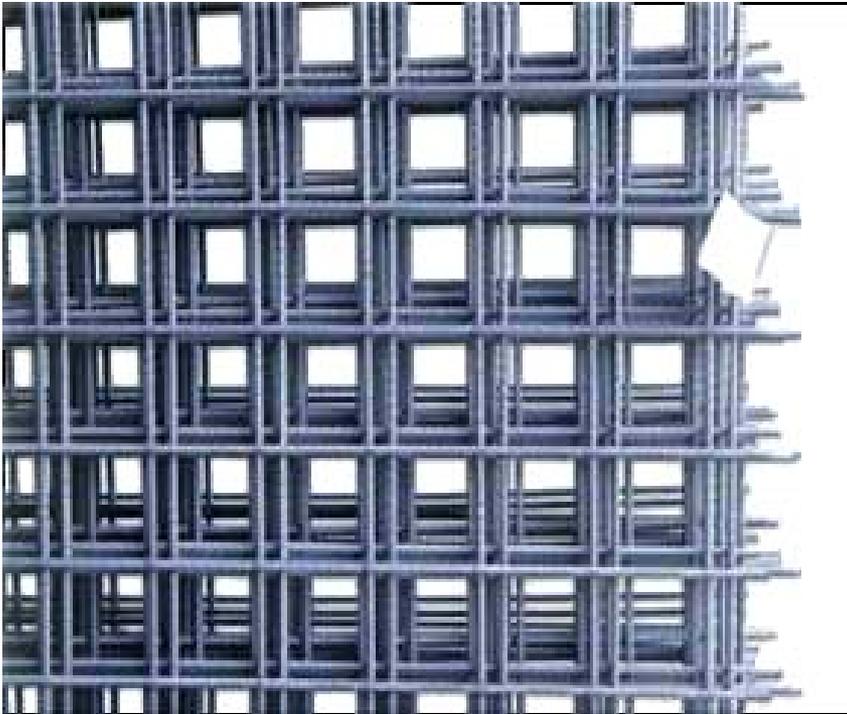
# Hormigón armado



CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LAS BARRAS CORRUGADAS					
Designación	Clase de acero	Límite elástico, $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	Carga unitaria de rotura, $f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	Alargamiento de rotura en base 5 diámetros (%)	Relación $f_s/f_y$
B 400 S	Soldable	$\geq 400$	$\geq 440$	$\geq 14$	$\geq 1,05$
B 500 S	Soldable	$\geq 500$	$\geq 550$	$\geq 12$	$\geq 1,05$
B 400 SD	Soldable	$\geq 400$	$\geq 480$	$\geq 20$	$1,35 \geq f_s/f_y \geq 1,20$
B 500 SD	Soldable	$\geq 500$	$\geq 575$	$\geq 16$	$1,35 \geq f_s/f_y \geq 1,15$

## Hormigón armado

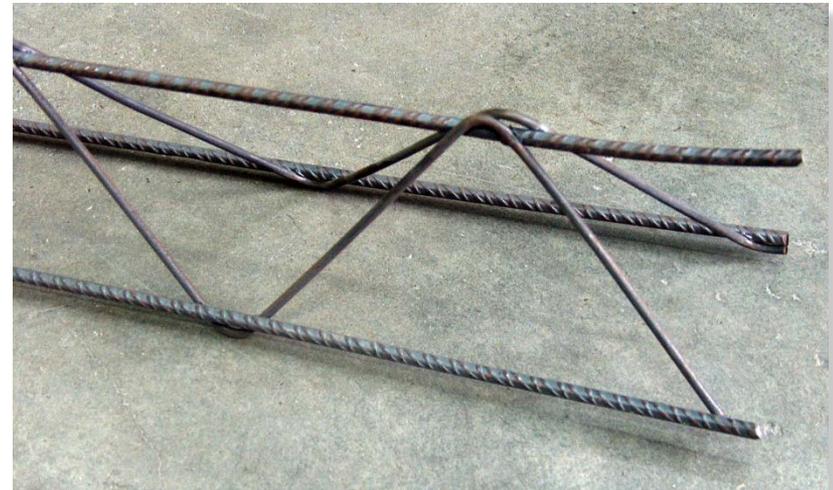
**Mallas electrosoldadas:** productos formados por dos sistemas de elementos que se cruzan perpendicularmente, formando cuadrículas o rectángulos, y cuyos puntos de contacto están unidos mediante procedimientos de soldadura eléctrica



Los diámetros nominales de los alambres corrugados empleados en las mallas electrosoldadas se deben ajustar a la serie siguiente:  
5 - 5,5 - 6 - 6,5 - 7 - 7,5 - 8 - 8,5 - 9 - 9,5 -  
10 - 10,5 - 11 - 11,5 - 12 y 14 mm

# Hormigón armado

**Armadura básica electrosoldada en celosía:** producto formado por un sistema de elementos (barras o alambres) con una estructura espacial y cuyos puntos de contacto están unidos mediante soldadura eléctrica por un proceso automático



Los diámetros nominales de los alambres, lisos o corrugados, empleados en las armaduras básicas electrosoldadas en celosía se ajustarán a la serie siguiente: 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 y 12 mm

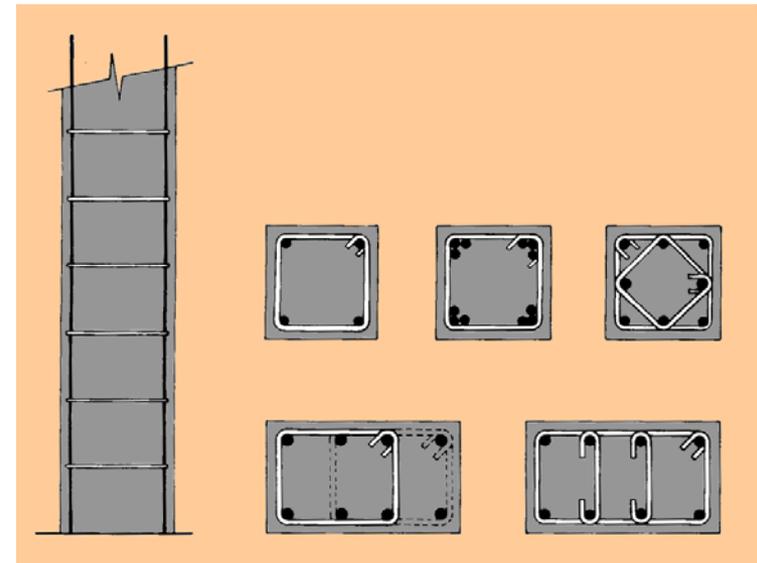
# Hormigón armado

**Armadura principal:** destinada a absorber los esfuerzos a los que va a estar sometida la pieza o estructura de hormigón armado

- **Armadura longitudinal:** colabora frente a esfuerzos de tracción, compresión y flexión
- **Armadura transversal:** absorbe los esfuerzos cortantes y torsores

**Armadura secundaria:** colocada con fines distintos a los puramente resistentes

**Grupo de barras:** dos o más barras corrugadas puestas en contacto. Como norma general, se podrán colocar grupos de hasta tres barras como armadura principal



# Hormigón armado

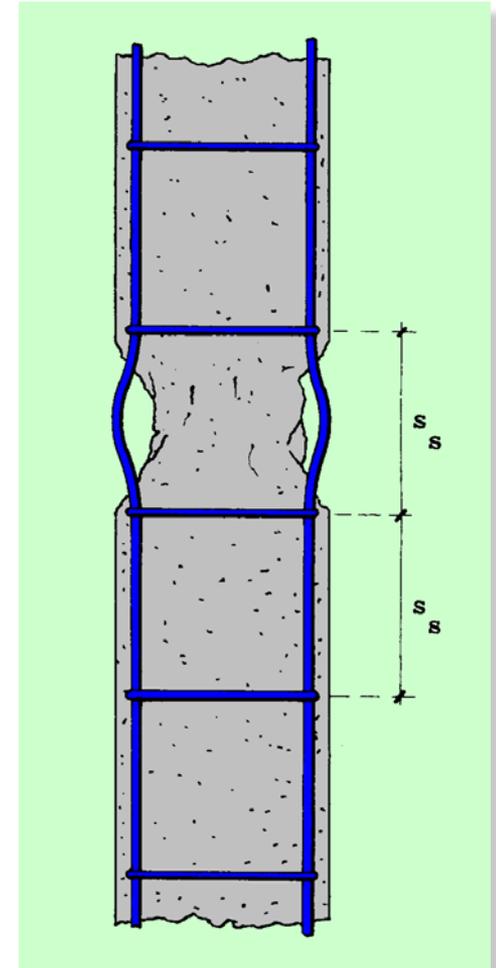
## COLOCACIÓN DE LAS ARMADURAS

Los pilares y soportes ejecutados en obra deberán tener su dimensión mínima mayor o igual a 25 cm

En los pilares y soportes de sección cuadrada o rectangular, la armadura longitudinal se dispondrá, colocando, al menos, una barra en cada esquina de la sección

Los pilares y soportes de sección circular se diseñarán con un mínimo de 6 barras repartidas a lo largo del perímetro, siendo la separación entre dos consecutivas de 35 cm como máximo

Los estribos se disponen zunchando exteriormente las barras longitudinales para evitar el pandeo de éstas últimas



# Hormigón armado

## COLOCACIÓN DE LAS ARMADURAS

Las barras no deben presentar un nivel excesivo de oxidación (pérdida en peso < 1%)

Las barras que se doblen deben ir envueltas por cercos en la zona del codo

Los cercos o estribos de pilares y vigas, se sujetarán a las barras longitudinales mediante atado

La distancia libre, horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas, será igual o superior al mayor de los tres valores siguientes:

- dos centímetros
- el diámetro de la mayor
- 1,25 veces el tamaño máximo del árido

# Hormigón armado

## COLOCACIÓN DE LAS ARMADURAS

**Recubrimiento de una barra:** distancia libre entre su superficie y el paramento más próximo de la pieza

La posición especificada para las armaduras pasivas y, en especial los recubrimientos deberán garantizarse mediante la disposición de los correspondientes elementos (separadores o calzos) colocados en obra

RECUBRIMIENTO MÍNIMO (mm) SEGÚN LA CLASE DE EXPOSICIÓN											
Resistencia del hormigón (N/mm <sup>2</sup> )	Tipo de elemento	I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc
25 ≤ f <sub>ck</sub> < 40	general	20	25	30	35	35	40	35	40	(*)	(*)
	elementos prefabricados y láminas	15	20	25	30	30	35	30	35	(*)	(*)
f <sub>ck</sub> ≥ 40	general	15	20	25	30	30	35	30	35	(*)	(*)
	elementos prefabricados y láminas	15	20	25	25	25	30	25	30	(*)	(*)

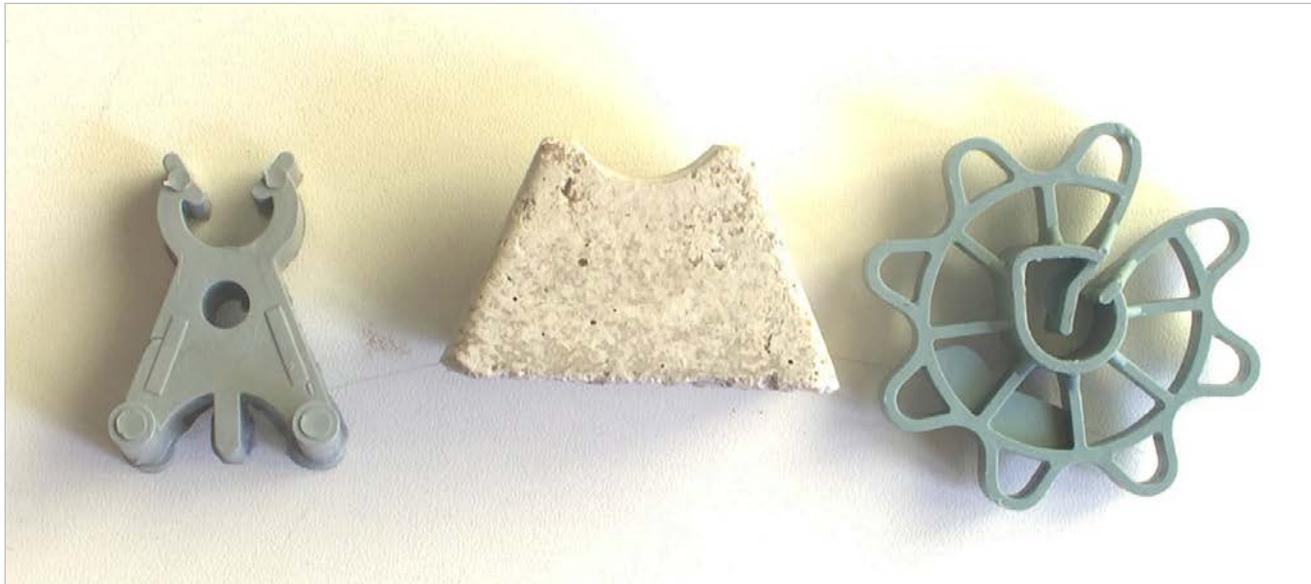
(\*) El proyectista fijará el recubrimiento que garantice la protección de las armaduras

# Hormigón armado

## COLOCACIÓN DE LAS ARMADURAS

**Recubrimiento de una barra:** distancia libre entre su superficie y el paramento más próximo de la pieza

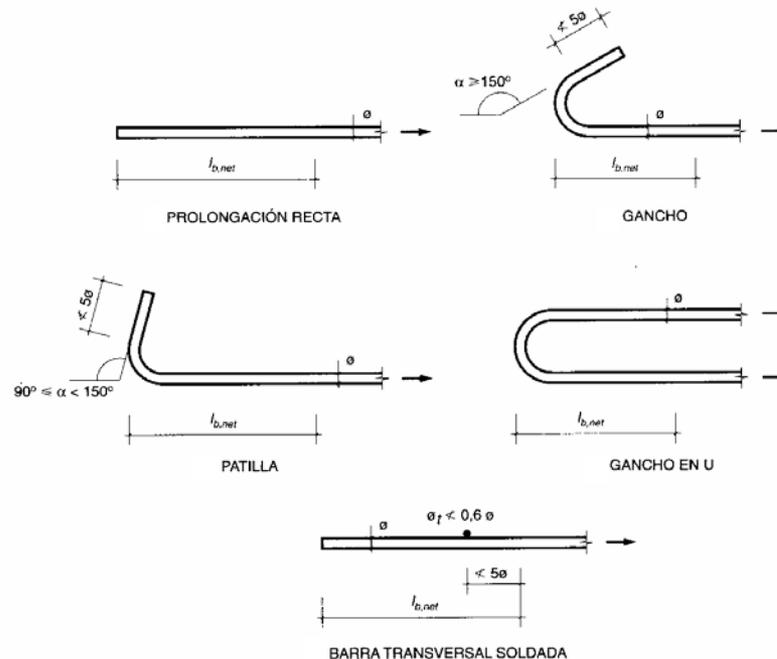
La posición especificada para las armaduras pasivas y, en especial los recubrimientos deberán garantizarse mediante la disposición de los correspondientes elementos (separadores o calzos) colocados en obra



# Hormigón armado

## ANCLAJE DE LAS ARMADURAS

Prolongación de los extremos de las barras para asegurar la transmisión de esfuerzos al hormigón sin peligro para éste. Se efectúan mediante alguna de las disposiciones siguientes: prolongación recta, gancho, patilla o barra transversal soldada



# Hormigón armado

## EMPALME DE LAS ARMADURAS

Los empalmes entre barras deben diseñarse de manera que la transmisión de fuerzas de una barra a la siguiente quede asegurada, sin que se produzcan desconchados o cualquier otro tipo de daño en el hormigón próximo a la zona de empalme

Los empalmes podrán realizarse por solapo o por soldadura. Este último admite tres métodos:

- A tope por resistencia eléctrica
- A tope por arco eléctrico, achaflanando el extremo de las barras
- A solapo con cordones de soldadura longitudinales



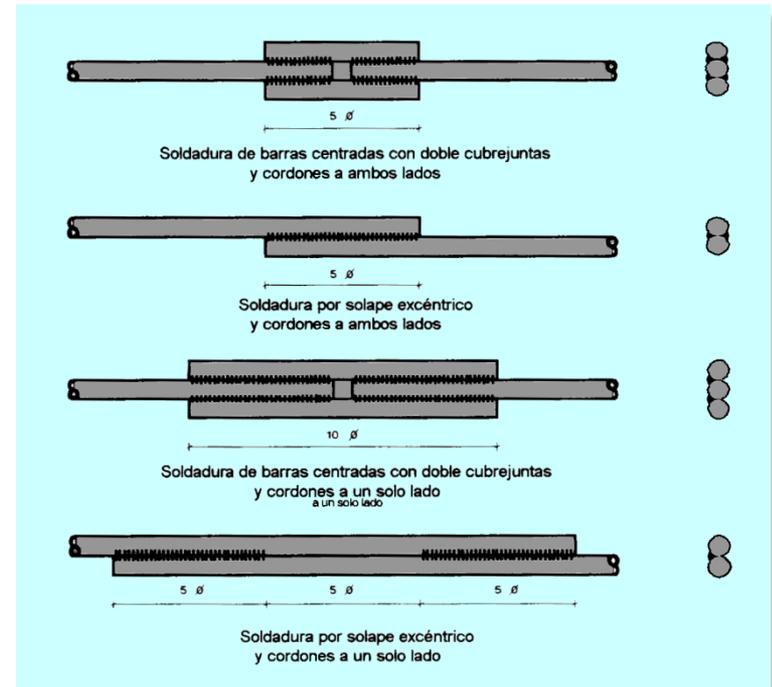
# Hormigón armado

## EMPALME DE LAS ARMADURAS

Los empalmes entre barras deben diseñarse de manera que la transmisión de fuerzas de una barra a la siguiente quede asegurada, sin que se produzcan desconchados o cualquier otro tipo de daño en el hormigón próximo a la zona de empalme

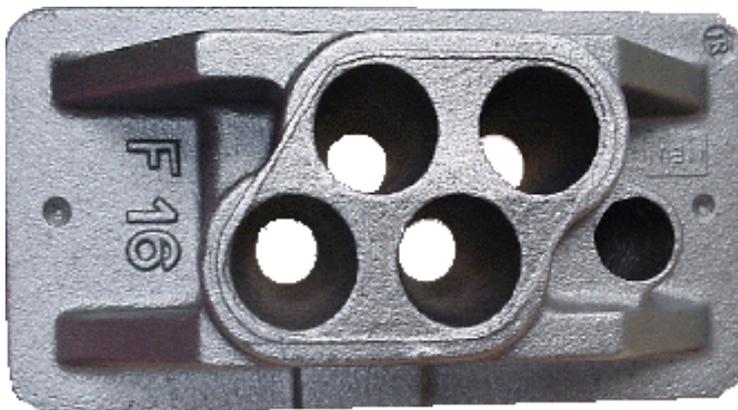
Los empalmes podrán realizarse por solapo o por soldadura. Este último admite tres métodos:

- A tope por resistencia eléctrica
- A tope por arco eléctrico, achaflanando el extremo de las barras
- A solapo con cordones de soldadura longitudinales



# Hormigón pretensado

En el hormigón pretensado, el acero está traccionado incluso sin que la estructura esté cargada, por lo que dicha armadura recibe el calificativo de **armadura activa**



# Hormigón pretensado

La armadura activa será de acero de alta resistencia y estará constituida por:

- Alambre (liso o grafilado)
- Barra (lisa o corrugada)
- Cordón de 7 alambres
- Cordón de 2 ó 3 alambres



# Hormigón pretensado

**CARACTERÍSTICAS DE LOS ALAMBRES DE PRETENSADO**

Designación del acero	Valores nominales		
	Diámetro	Resistencia a la tracción	Masa
	mm	MPa	g/m
Y 1770 C	3,0	1770	55,5
Y 1770 C	4,0	1770	98,6
Y 1860 C	4,0	1860	98,6
Y 1770 C	5,0	1770	154
Y 1860 C	5,0	1860	154
Y 1770 C	6,0	1770	222
Y 1670 C	7,0	1670	302
Y 1670 C	7,5	1670	347
Y 1670 C	8,0	1670	395
Y 1570 C	9,4	1570	545
Y 1570 C	10,0	1570	616

**CARACTERÍSTICAS DE LOS CORDONES DE PRETENSADO**

Designación del acero	Valores nominales		
	Diámetro	Resistencia a la tracción	Masa
	mm	MPa	g/m
Y 1770 S2	5,6	1770	96,7
Y 1770 S2	6,0	1770	111
Y 1960 S3	5,2	1960	107
Y 1860 S3	6,5	1860	166
Y 1860 S3	6,8	1860	184
Y 1860 S3	7,5	1860	227
Y 1860 S7	9,3	1860	408
Y 1860 S7	13,0	1860	785
Y 1770 S7	16,0	1770	1176
Y 2060 S3	5,2	2060	107
Y 1860 S7	15,2	1860	1101
Y 1860 S7	16,0	1860	1176