

Proyecto de edificios altos

Grupo de trabajo 1/5
Proyecto de edificios altos

Esta edición ha sido patrocinada por las siguientes empresas (en orden alfabético):

ACCIONA INGENIERÍA
ARQUING ARQUITECTURA E INGENIERÍA
ARUP
BOMA INPASA
FLORENTINO REGALADO
LIEBHERR
MC2 ESTUDIO DE INGENIERÍA
SACYR-VALLEHERMOSO
SIKA
ULMA
UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID
VALLADARES INGENIERÍA

debiendo agradecer las fotografías facilitadas por todos los miembros del grupo de trabajo, especialmente Florentino Regalado, Arup y Universidad de Sevilla.

Edita:

ACHE (Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural)

I.S.B.N. 978-84-89670-76-1

D. Legal: M-7079-2013

Imprime: Fiselgraf, S.L.

6. Materiales

6.1. INTRODUCCION

En este capítulo se presentan los materiales estructurales más empleados en los edificios altos. En la primera parte se abordan los hormigones que aportan nuevas prestaciones al hormigón convencional (HC), como son los de alta resistencia (HAR), autocompactantes (HAC), ligeros (HLE) o reforzados con fibras (HRF), mejorando un material que en principio presenta limitaciones para su utilización en elementos muy solicitados de los edificios altos. En la segunda parte se presentan los morteros a base de cemento y de alta resistencia, empleados en apoyos de elementos estructurales importantes, placas, anclajes y estructuras de hormigón prefabricado. En la tercera parte se recogen los aceros para armaduras, ya sean pasivas o activas, describiéndolos e indicando su uso en los edificios altos. Posteriormente se muestran los aceros estructurales y chapas nervadas, dejándose para el final del capítulo los distintos tipos de uniones, apoyos y juntas.

En la figura 6.1 se muestra, en valor absoluto, los límites elásticos de los distintos materiales que aparecen en el capítulo. Debido a la escala de estas estructuras, los EA han contribuido al desarrollo del empleo de materiales con mejores prestaciones o bien a la combinación de diferentes materiales y resolver así satisfactoriamente las solicitudes a las que se ven sometidos.

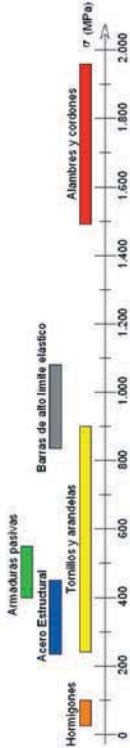


Figura 6.1. Límites elásticos en valor absoluto de los distintos materiales

6.2. HORMIGONES

6.2.1. Introducción

El hormigón en las estructuras de los edificios altos aporta una mayor rigidez, fundamental para las acciones horizontales, un mejor comportamiento frente al fuego e impactos y menor sensibilidad a las vibraciones. Estas ventajas respecto a las estructuras de acero no son suficientes para ser competitivo en este tipo de edificios y por esta razón han surgido los hormigones de altas prestaciones. Estos mejoran propiedades del HC y lo sustituyen o complementan especializándose en diferentes funciones o elementos dentro de la estructura de los edificios altos.

El HAR se utiliza principalmente en los elementos altamente comprimidos como pilares y núcleos, especialmente en plantas inferiores, con resistencias a compresión superiores a los 50 MPa. Incluso se utilizan de muy alta resistencia por encima de los 100 MPa. Esta gran capacidad resistente reduce las dimensiones de los elementos verticales en planta, pero además tiene un mejor comportamiento frente al fuego y mejoran la durabilidad.

El HAC surge debido a la falta de uniformidad y buena compactación del hormigón en zonas de hormigonado complejo o alta densidad de acero, así como por la necesidad de reducción de mano de obra en el trabajo a gran altura. Este hormigón es capaz de fluir en el interior del encofrado y rellenar el volumen por la acción de su propio peso sin ningún tipo de compactación. Esta prestación es de gran importancia en elementos de gran densidad de armado como son los núcleos, pilares o diafragmas. En estos elementos se utilizan frecuentemente hormigones autocompactantes de alta resistencia (figuras 6.2 y 6.3), combinando ambas prestaciones.



Figura 6.2. Preparación para hormigonado en base de pilares mixtos (Torre de Cristal, Madrid)



Figura 6.3. Hormigón Autocompactante de 100 MPa ejecutado (Torre de Cristal, Madrid)

El HLE tiene como principal característica la menor densidad (1.200 kg/m³-2.000 kg/m³) y, por tanto, minor el peso propio de la estructura, de gran importancia para el dimensionado de los soportes y la cimentación. Este hormigón se fabrica con áridos ligeros (AL) que además proporcionan mayor uniformidad y gran poder de aislamiento térmico y acústico. Se suelen utilizar en elementos no muy solicitados como en forjados o elementos no estructurales como recrecidos o paneles de fachada. La compactación del HLE exige mayor energía de vibración lo que aumenta la tendencia a la flotación del AL y, por tanto, es necesario presionar el árido e introducirlo en la masa del hormigón.



Figura 6.4. HLE en forjado mixto de chapa colaborante (Torre Caja Madrid)

El HRF mejora con la aportación de fibras de acero, poliméricas o de vidrio las propiedades a tracción y flexotracción del hormigón, por lo que reducen especialmente las fisuras por retracción. Su uso puede ser especialmente interesante en zonas fuertemente armadas ya que puede evitar, en primer lugar, la utilización de mallazo de reparto y, además, puede implicar la sustitución parcial o total de la armadura convencional, facilitando el buen hormigonado y mejorando la respuesta a la vibración disminuyendo el tiempo de vibrado. Las fibras, además, pueden contribuir a resistir el esfuerzo rasante y mejorar la resistencia a punzonamiento. Es especialmente interesante la combinación con HAC en elementos muy solicitados de gran densidad de armaduras dando lugar al HACRF, de nuevo combinando varias prestaciones.

6.2.2. Normativa vigente

La instrucción EHE-08 [1] incorpora en el articulado el HAR hasta una resistencia de 100 MPa y en los Anejos de la misma instrucción se incorporan las recomendaciones de uso del HAC, HLE y HRF. El Eurocódigo 2 [2] recomienda para HAR una resistencia máxima de 90 MPa en probeta cilíndrica y en el Código Modelo [3] es aplicable hasta 120 MPa. En la tabla 6.1 se incluye un resumen de la normativa aplicable según el tipo de hormigón.

Tabla 6.1.
Normativa vigente sobre hormigón

Hormigón	HAR	HAC	HLE	HRF
EHE-08	Articulado	Anejo 17	Anejo 16	Anejo 14
EC2	Parte 1-1		Parte 1-4	
Otros		European Guidelines for SCC [4]		

6.2.3. Tipificación

La tipificación de los hormigones se divide en cuatro apartados. La primera parte identifica el tipo de hormigón y su resistencia en N/mm² (para el caso del HRF además debe indicarse la resistencia a flexotracción). A continuación se define la consistencia y el tamaño máximo del árido y, por último, se define el tipo de ambiente de exposición. En la tabla 6.2 se resume esquemáticamente la tipificación de estos hormigones.

Tabla 6.2.
Tipificación de hormigones según EHE-08

H. Alta Resistencia	HA-R/C/TM/A
H. Autocompactante	HA-R/AC/TM/A HA-R/ (AC-E+AC-V+AC-RB) /TM/A
H. Ligero	HLE-R/C/TM/A
H. Reforzado fibras	HAF-R/f-R1-R3/C /TM-Tf/A
R	Resistencia característica a compresión especificada, en N/mm ²
C	Consistencia (EHE-08 art. 31.5)
TM	Tamaño máximo del árido en mm (EHE-08 art. 28.3)
A	Ambiente (EHE-08 art. 8.2.1)
AC	Indicativo de autocompactabilidad
AC-E	Escurecimiento (E1, E2, E3) (EHE-08 Anejo 14 art. 39.2)
AC-V	Viscosidad (V1, V2, V3) (EHE-08 Anejo 14 art. 39.2)
AC-RB	Resistencia al bloqueo (RB1, RB2) (EHE-08 Anejo 14 art. 39.2)
f	Tipo de fibra utilizada (A: acero; P: poliméricas; V: de vidrio)
R1-R3	Resistencia característica residual a flexotracción, en N/mm ²
Tf	Longitud máxima de la fibra, en mm

6.2.4. Componentes

A continuación se realiza una descripción de los componentes principales según el tipo de hormigón:

- HAR: Se caracteriza por incluir en su composición una adición denominada microsílíce o humo de sílice. Además, el resto de los componentes de los HAR deben poseer unas características diferenciales con respecto a aquellos componentes utilizados en el HC. Se recomiendan cementos tipo I, de clases altas (52,5 ó 42,5) [5] y compatibles con microsílíce y superfluidificante. Para los áridos se recomienda un tamaño máximo no superior a 20 mm. Como aditivo se utilizan fundamentalmente los superfluidificantes para permitir la puesta en obra dada la menor cantidad de agua.
- HAC: Su componente esencial es el aditivo superplastificante o reductor de agua de alta actividad [6]. Los aditivos moduladores de viscosidad (Viscosity Enhancer Admixture, VEA) se usan para ayudar a reducir la segregación y la exudación y la sensibilidad a la variación de otros constituyentes de la mezcla, especialmente para el contenido de humedad. El tamaño máximo del árido se limita generalmente a 12-20 mm, aunque en ocasiones se han usado tamaños máximos mayores, hasta un máximo de 25 mm [1].
- HLE: El componente esencial es el AL. La aplicación de la arcilla expandida es la más extendida, aunque existen otros minerales naturales que necesitan tratamiento previo. Además, existen áridos ligeros naturales como lavas, piedra caliza porosa, piedra pómez, etc. y áridos artificiales procedentes de residuos a partir de cenizas volantes, escorias porosas, etc. [7].
- HRF: Las fibras son elementos de corta longitud y pequeña sección que se añaden al HC para proporcionarle una mayor energía de rotura. Pueden ser de acero [8], por su fabricación, trelladas, cortadas en láminas, extraídas por rascado o por su forma, rectas, onduladas, corrugadas, conformadas en extremos de distintas

formas, etc. También pueden ser poliméricas [9], fabricadas de polipropileno, polietileno de alta densidad, aramida, nylon, poliéster, etc. y, según sus dimensiones, pueden ser microfibras ($d < 0,30$ mm) para mejorar la fisuración y el comportamiento al fuego o macrofibras ($d \geq 0,30$ mm) cuando colaboran estructuralmente. El límite superior de fibras se fija en el 1,5% en volumen del hormigón [1].

6.2.5. Propiedades mecánicas

Para el proyectista es necesario conocer el valor de las propiedades del hormigón endurecido como son la resistencia a compresión, resistencia a tracción, módulo de deformación y coeficiente de dilatación que se recogen en la normativa vigente y se resumen en la tabla 6.3. Posteriormente, para el cálculo de secciones frente a solicitaciones normales, será necesario conocer el comportamiento de cada uno de los hormigones en el diagrama tensión-deformación.

Tabla 6.3.
Resumen de propiedades mecánicas de los hormigones

	Resistencia a compresión (f_{ck}) N/mm^2	Resistencia a tracción (f_{ctm}) N/mm^2	Módulo Def. Long. Secante (E_{cm}) N/mm^2	Coeficiente de dilatación térmica $^{\circ}C^{-1}$
HC	25-50	$0,3f_{ctm}^{2/3}$ [1]	$8.500 \sqrt[3]{f_{cm}}$	10^{-6} [1]
HAR	50-100	$0,58f_{ctm}^{1/2}$ [1]	$8.500 \sqrt[3]{f_{cm}}$	10^{-6} [1]
HAC	25-50	$0,3f_{ctm}^{2/3}$ [1]	7%-15% inferior al HC [1]	10^{-6} [1]
(HLE) ($\rho = 1.800$ kg/m ³)	25-50	Ligeramente inferior al HC	22.100-26.100 [1] 15.000 [2]	$8 \cdot 10^{-6}$ [1]
(HLE) ($\rho = 2.000$ kg/m ³)	25-50	Ligeramente inferior al HC	27.200-32.300 [1] 19.000 [2]	$8 \cdot 10^{-6}$ [1]
HRF	25-50	Según volumen fibras (v_f)	Para $v_f < 1\%$ como HC	

Aunque estos hormigones se desarrollan para mejorar especialmente la capacidad de resistencia a compresión, la facilidad y la calidad de la ejecución, la reducción de peso o la reducción de acero, existen otras propiedades que son diferentes respecto al HC y que debe tener en cuenta el proyectista como son la retracción, la fluencia y la adherencia, dado que en ocasiones mejoran el comportamiento del HC y en otros casos pueden provocar efectos no deseados en la estructura.

6.2.5.1. Retracción

En cuanto a la retracción, el HAR y HRF mejoran el comportamiento del HC, mientras que el HAC y sobre todo el HLE presentan una mayor retracción.

- HAR: Retracción de secado muy baja por escasa presencia de agua libre, la retracción autógena es mucho mayor que en HC, con un desarrollo temporal muy rápido. La retracción total es algo más baja en HAR, aunque el desarrollo temporal es similar al HC [10]. Al cabo de un año, en el caso de los HAR con microsilíce, la retracción es menor que la de los hormigones convencionales. Es fundamental el curado puesto que si es rápido, la retracción aumenta [11].

- HAC: La retracción endógena es ligeramente superior al HC debido al mayor contenido de pasta, sin embargo, a largo plazo es inferior debido a la menor pérdida de agua por secado. De esta manera, ambos efectos se confunden y compensan [12].
- HLE: La retracción en edad temprana es menor, pero de hasta un 25% mayor a largo plazo debido a la mayor cantidad de agua en su interior. El Eurocódigo 2 señala que el coeficiente de retracción de un hormigón convencional debe mayorarse en un 20% para los hormigones de resistencia HL 20/25 a HL 50/60 y en un 50% para los hormigones de resistencias HL 12/15 a HL 16/20 [13]. Debe señalarse que, en cualquier caso, el tiempo de secado de un hormigón ligero es superior al de un hormigón convencional, sobre todo si los áridos empleados tienen un alto contenido en humedad [14].
- HRF: Al coartar la deformación, las tensiones de tracción aumentan más lentamente y disminuye el riesgo de fisuración. Si se producen las fisuras son en menor número y de menor anchura [15].

6.2.5.2. Fluencia

La fluencia en HAR es menor que en HC, tanto en HAC como en HLE es superior y en HRF apenas se modifica.

- HAR: La fluencia básica (70-80% de la total) es ligeramente inferior y la de secado es menor por su microestructura densa y casi impermeable [10]. La adición de microsilíce reduce la fluencia pudiendo llegar a ser la mitad que en HC [11].
- HAC: Dado el menor contenido de áridos cabría esperar un mayor coeficiente de fluencia, sin embargo, en las investigaciones realizadas no se aprecian diferencias significativas, por lo que se pueden aplicar los modelos habituales [12]. Estas diferencias quedan cubiertas por los factores de seguridad de las tablas y los formularios proporcionados en la Norma Europea EN 206 [14].
- HLE: Mayor que en HC. Los áridos se oponen a la deformación de la pasta con su resistencia intrínseca, y como el módulo de Young de los áridos ligeros es menor que el de los áridos naturales, las deformaciones por fluencia son mayores que en los hormigones normales [11]. La deformación máxima del hormigón debe multiplicarse por 1,3 para los hormigones de resistencias HL 12/15 a HL 16/20 [13]. La fluencia es un fenómeno positivo en los hormigones ligeros ya que reduce las tensiones internas producidas por la retracción tardía y los cambios de temperatura. Sin embargo, en el caso de estructuras pretensadas, el fenómeno de fluencia disminuye la fuerza del pretensado en el tiempo, obligando a un sobredimensionamiento de las estructuras.
- HRF: La adición de fibras no modifica apreciablemente la deformación por fluencia del hormigón. En el caso de fibras sintéticas para uso estructural, el fabricante deberá aportar el coeficiente de fluencia mediante contrastación experimental de resultados [1].

6.2.5.3. Adherencia

Tanto en HAR como en HAC mejora la adherencia, aunque en cargas cíclicas hay que ser prudente por la fragilidad del HAR. Por el contrario, la influencia de las fibras sobre la adherencia de las armaduras pasivas crece bajo cargas cíclicas en el HRF. El HLE presenta muy buena adherencia árido-pasta.

- HAR: Mejora el reparto de la fisuración, aumenta la colaboración del hormigón traccionado entre fisuras, reduce el ancho de fisuras y reduce la longitud de transmisión de piezas pretensadas. Su comportamiento es más elástico y con mayor rigidez, es aconsejable adoptar los mismos diagramas tensión

adherente-deslizamiento que en HC en lo referente a cargas instantáneas monotónicas y cargas duraderas. Sin embargo, en cargas repetidas o cíclicas es necesario ser más prudente, por el comportamiento más frágil del hormigón y menor deslizamiento [10].

- HAC: La adherencia entre las barras de armadura y el hormigón resulta superior según los ensayos realizados, por lo que se pueden utilizar las mismas longitudes de anclaje, tanto de armaduras activas como pasivas [12].
- HLE: Adherencia superior a la de un hormigón convencional por la rugosidad superficial del árido, por la cuidada hidratación de la interfase y la similitud entre los módulos de elasticidad de ambas fases. La característica más representativa de los hormigones ligeros desde el punto de vista mecánico es su extraordinaria adherencia árido-pasta. El mortero es más rico en cemento y está menos fisurado, si bien la resistencia intrínseca de los áridos es menor [11]. En cuanto a las longitudes de anclaje, habrá que tener en cuenta la menor resistencia a tracción de los hormigones ligeros y se multiplicará por un factor ρ que depende de la densidad [1]. El doblado de barras para formación de ganchos y patillas se hará con mandriles con el diámetro mínimo multiplicado por 1,5 y los grupos de barras serán como máximo de dos barras [1]. Otras normativas incluyen la recomendación de reducir los diámetros aumentando el número de barras y no sobrepasar los 20 mm de diámetro, especialmente en grupos [13].
- HRF: Las matrices con fibras dan incrementos de la capacidad adherente de las armaduras pasivas y una menor degradación de la capacidad de respuesta, con un comportamiento más dúctil. Las fibras mejoran las características de anclaje en el caso de empleo conjunto con armaduras pasivas y activas, lo cual puede ser utilizado en cálculos si está avalado por ensayos que lo justifiquen [1].

6.2.6. Diagrama tensión-deformación

En el diagrama de la figura 6.5 se puede observar el comportamiento frágil de los hormigones con mayor resistencia, ya sean HAC o no, dando lugar a una mayor curvatura una vez aparecidas las microfisuras y a un comportamiento con roturas instantáneas y explosivas por su poca capacidad de deformación antes de la rotura.

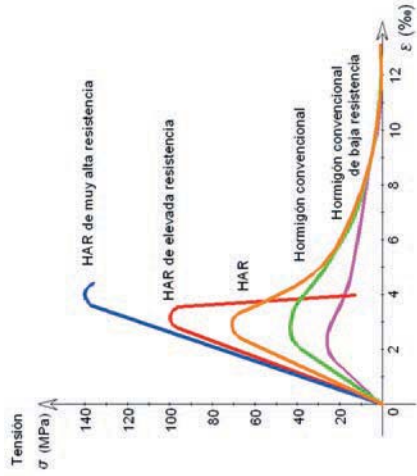


Figura 6.5. Diagrama tensión-deformación [11]

Según la Instrucción EHE-08, el diagrama tensión-deformación de cálculo que se admite para secciones sometidas a solicitaciones normales en los estados límite últimos, es un diagrama simplificado parábola-rectángulo o diagrama rectangular.

Para el HLE es aplicable la utilización de los diagramas teniendo en cuenta la disminución progresiva de la deformación de rotura cuando disminuye la densidad en seco del hormigón ligero. Se puede utilizar el diagrama parábola-rectángulo y el diagrama rectangular variando la deformación última según la densidad (EHE-08 Anejo 16 art. 39.3).

Para el HRF se puede adoptar el diagrama rectangular caracterizado por la resistencia residual a tracción de cálculo $f_{ctR,d}$ (figura 6.6). Para un cálculo ajustado se propone un diagrama multilinear definido por la resistencia a tracción de cálculo $f_{ctR,d}$ y de las resistencias residuales a tracción $f_{ctR1,d}$ y $f_{ctR2,d}$ asociadas a las deformaciones ϵ_1 y ϵ_2 en el régimen de post-pico (figura 6.7).

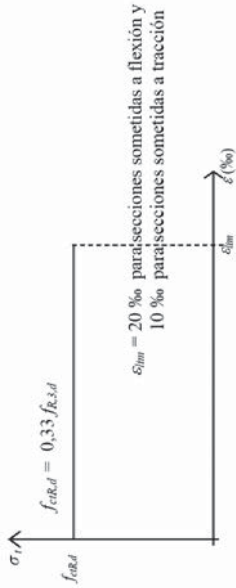


Figura 6.6. Diagrama tensión-deformación rectangular HRF [1]

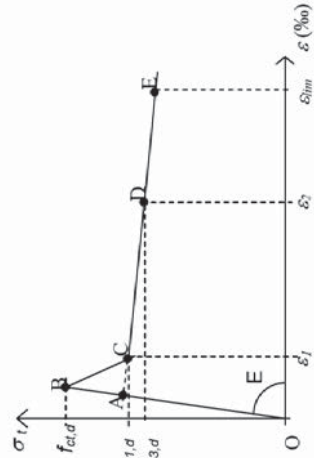


Figura 6.7. Diagrama tensión-deformación multilinear HRF [1]

6.2.7. Durabilidad

6.2.7.1. Corrosión

El HAR se caracteriza por la baja porosidad. Debido a estas características, la velocidad de transporte, tanto en agua como de sustancias agresivas a través de sus poros, disminuye considerablemente, lo que repercute en una mayor durabilidad frente a medios químicamente agresivos. Presentan una mejor protección que el

HC frente a los fenómenos de corrosión de las armaduras, debido a la menor velocidad de penetración de los agentes agresivos.

El HAC con las propiedades adecuadas estará libre de los defectos por vibración y compactación incorrecta del hormigón convencional, y resulta un material de permeabilidad baja y uniforme, ofreciendo menos puntos débiles para acciones de deterioro ambiental y, por tanto, mejor durabilidad. Se suele considerar un comportamiento en estado endurecido similar al de un HC de igual relación agua/cemento (a/c) y elaborado con los mismos materiales [11]. Suele obtenerse una reducción en la velocidad de ingreso de los agentes agresivos [1].

Los HLE tienen una buena durabilidad debida a dos factores: Mayor impermeabilidad y control permanente sobre los áridos. Para resistencias equivalentes los HLE poseen una matriz más resistente que un HC, por lo que es suficiente indicar la clase de exposición y cumplir los requisitos normales. Los recubrimientos mínimos para el HLE deben ser 5 mm superiores a los definidos para los HC [1].

Los HRF, en general, son menos sensibles a la corrosión metálica que el HC, limitándose a la zona superficial. Las fibras de acero se comportan mejor frente a la corrosión que la armadura principal, ya que no están interconectadas. Por este motivo se limita a las zonas más externa del hormigón. En las clases generales de exposición IIIb, IIIc y IV y la clase específica F, el uso de fibras de acero al carbono debe justificarse experimentalmente. En las clases Q se debe justificar el uso de fibras de acero y sintéticas mediante estudio de la no reactividad de los agentes químicos. En general se dosifican con elevados contenidos de cemento y moderadas relaciones a/c por lo que resulta una matriz cementante densa. Es innecesaria la utilización de mallazo de reparto en capas de compresión o recubrimientos superiores a 50 mm [1].

6.2.7.2. Carbonatación

La baja permeabilidad y su alto contenido en cemento indican que el HAR está mejor protegido frente a la carbonatación que el HC. El valor umbral del valor de relación a/c requerido para reducir problemas de carbonatación es mucho mayor por lo que en principio no debe haber problemas de carbonatación, con o sin humo de sílice [10].

En un HAC puede considerarse equivalente o menor que la de un HC de la misma resistencia debido a las características de su estructura de poros, la calidad de la interfase árido-pasta y la presencia de adiciones [12].

Para HLE, con mayor impermeabilidad, la protección frente al CO₂ de ambientes urbanos es mayor que para HC [11].

Los HRF presentan una elevada reserva alcalina (elevado contenido en portlandita) lo que les confiere una gran resistencia a la carbonatación. En general no presentan diferencias significativas con los HC, pero el efecto de las fibras en cuanto a la reducción de la fisuración conlleva un efecto positivo frente a la difusión de agentes agresivos externos desde el entorno [15].

6.2.7.3. Ciclo hielo-deshielo

Una elevada resistencia, la inclusión de aire incorporado y un bajo grado de saturación del árido (y del hormigón) contribuyen a mejorar significativamente el comportamiento frente a las heladas. El HAR se comporta mejor que el HC [10].

El HAC se comporta de manera equivalente al HC [1].

En los HLE la presencia de aire incorporado en el hormigón contribuye a reducir el deterioro [1]. Los hormigones ligeros son más resistentes a los efectos de las heladas y las sales de deshielo que los hormigones convencionales. Esta resistencia se incrementa sensiblemente en hormigones ligeramente porosos (porosidad > 5% en volumen). Aunque la absorción total del hormigón ligero es mayor que la de un hormigón convencional, los poros se rellenan sólo parcialmente, incluso después de un largo periodo de inmersión [11].

No se han encontrado diferencias significativas entre los HC y los HRF [15].

6.2.7.4. Reactividad árido-álcali

Para el HAC se pueden suponer las mismas consideraciones y comportamiento que un HC o un HAR de prestaciones equivalentes. Al igual que en un HC, el uso de puzolanas o cenizas volantes como adición reduce la velocidad del proceso expansivo [12].

La mejor impermeabilidad de los HLE reduce el contenido de agua; además, la arcilla expandida es un árido completamente inerte y carece de silicatos en su composición, por lo que mejora su comportamiento [11].

El elevado pH que se suele encontrar en HRF, cuando se emplea alto contenido en cemento, hace recomendable el empleo de áridos adecuados con el fin de evitar esta reacción [15].

6.2.7.5. Erosión e impacto

En cuanto a la erosión es destacable el mal comportamiento frente a la erosión del HLE. No se recomienda el empleo de HLE para clase de exposición E. Los recubrimientos mínimos deben ser 5 mm superiores respecto al HC [1].

El empleo de fibras de acero mejora la resistencia a la erosión [1]. Los hormigones reforzados con fibra metálica presentan un aumento considerable de la absorción de energía frente a cargas de impacto [15].

6.2.8. Bombeabilidad

En fase de proyecto debe tenerse en cuenta un aspecto constructivo clave como es la puesta en obra del hormigón a más de cien metros de altura. En los edificios altos, la bombeabilidad de los hormigones a gran altura es de gran importancia. La cohesión queda determinada en función de la presión de bombeo, que a su vez es función de la altura, y existe un gradiente de presiones que si se sobrepasa provoca la rotura de la mezcla. La granulometría de los áridos debe tener el mínimo de finos compatible con el bombeo [11].

Los HAR y los HAC poseen una elevada docilidad o trabajabilidad, así como mayor experiencia acumulada para el bombeo en la ejecución, por lo que son aptos en este aspecto. Sin embargo, dependiendo de la presión de bombeo, en el HLE pueden producirse sangrados del agua absorbida por los áridos, por lo que son necesarios ensayos previos, tanto del árido ligero como del hormigón, para que no afecte a las características del hormigón fresco. El empleo de fibras en los HRF puede provocar una pérdida de docilidad, cuya magnitud será función del tipo y longitud de la fibra empleada, así como de la cuantía. Esto debe considerarse específicamente al solicitar la consistencia, especialmente en caso de adición de fibras en obra [1].

6.3. MORTEROS

6.3.1. Introducción

En los edificios altos se utilizan morteros a base de cemento, principalmente en rellenos por vertido bajo placas de apoyo y reparto, en anclajes de elementos metálicos (armaduras, pernos, etc.) y en nudos o apoyos de elementos estructurales de hormigón prefabricado. Frecuentemente, por la gran carga de estos elementos, es necesario utilizar en proyecto morteros de elevadas resistencias mecánicas o grandes espesores, menos comunes en otras edificaciones.

6.3.2. Características

Estos morteros son fluidos, permiten una colocación por vertido, son autonivelantes, garantizando un reparto homogéneo de cargas y evitando dejar aire ocluido en su interior. Son de retracción compensada y ligeramente expansivos para evitar pérdida de capacidad de carga. Tienen una buena adherencia al hormigón, mortero o acero, proporcionando una unión monolítica y resiste bien los golpes y vibraciones.

6.3.3. Propiedades mecánicas

En la tabla 6.4 se presentan las principales características de los morteros en valores aproximados, que deberán ser detallados por los fabricantes en obra.

Tabla 6.4.
Propiedades aproximadas de los morteros

	Densidad (Kg/l)	Granulometría (mm)	Expansión a 24 horas	Resist.Comp. (MPa)	Resist.Flexotr. (MPa)	Adherencia (MPa)
Mortero	2,3	0-3 0-8 (>30 mm)	max. 3%	25-35 (24h) 50-70 (28d)	4-5 (24h) 7-9 (28d)	10 (b.corr.) 3 (barra lisa)
MAR	2,3	0-3	max. 3%	65-75 (24h) 90-100 (28d)	6-7 (24h) 10-12 (28d)	10 (b.corr.) 3 (barra lisa)

6.3.4. Aplicación

Los soportes deben estar limpios, sanos, exentos de zonas huecas, grasas, aceites y lechadas superficiales. Los elementos metálicos deberán estar exentos de óxido. Los soportes absorbentes se humedecerán previamente hasta la saturación evitando el encharcamiento. No se debe aplicar cuando haya riesgo de heladas.

La aplicación debe ser inmediata después de su amasado para aprovechar su efecto expansivo. Para rellenos bajo placas (figura 6.8), éstas deberán ir provistas de un orificio de entrada del mortero y otro para facilitar la evacuación del aire desplazado.

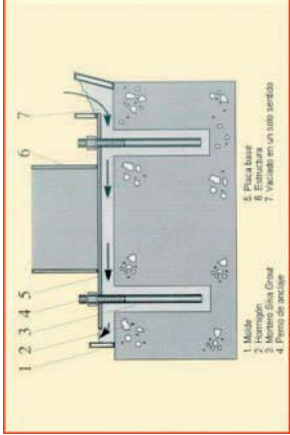


Figura 6.8. Mortero fluido bajo placa de anclaje

Cuando sean necesarios espesores superiores a 30 mm se deben utilizar morteros con granulometría mayor (hasta 8 mm), con lo que se puede llegar a espesores de 80 mm. También se pueden utilizar micro-hormigones añadiendo árido de 13 a 10 mm; incluso se pueden realizar zunchados. Según los fabricantes, existe la posibilidad de añadir fibras, permitiendo mayores espesores, incluso la acumulación de capas por tongadas.

6.4. ACERO PARA ARMADURAS

6.4.1. Introducción

Se definen los aceros para armaduras como elementos lineales circulares, bien en forma de barra o como alambres y cordones trabajando principalmente a tracción embebidos en el hormigón.

Se clasifican en armaduras pasivas, cuando no se requiere el tesado de las barras, y en armaduras activas, cuando se requiere el tesado de las mismas. La necesidad del tesado de la barra hace que el acero empleado tenga un límite elástico entre 2 y 4 veces superior a las armaduras pasivas llegándose a límites elásticos cercanos a los 2.000 N/mm².

Las armaduras activas se emplean frecuentemente en los edificios altos cuando las solicitaciones son muy grandes, como ocurre en cimentaciones superficiales o en los cinturones de rigidez. También se emplean cuando los requerimientos de la arquitectura así lo exigen como en forjados de grandes luces o en elementos singulares del edificio.

6.4.2. Armaduras pasivas

Están formadas por barras corrugadas, por mallas electrosoldadas y por armaduras básicas soldadas en celosía siendo estas características comunes a la edificación normal.

A partir del diagrama tensión-deformación de una barra de acero (figura 6.9) para armaduras quedan definidas las principales características técnicas de las armaduras pasivas. En el diagrama, en abscisas se dibuja el porcentaje del alargamiento unitario de la barra y en ordenadas la tensión de la misma.