

2.- HORMIGÓN

02

Tipos de hormigón y sus propiedades

1 Propiedades del hormigón

Desde su invención en el siglo XIX se ha convertido en el material estructural más utilizado. Su evolución desde las primeras construcciones empíricas con grandes errores de diseño hasta las actuales tipos especializados para cada aplicación ha transcurrido un siglo largo que lo ha consolidado como un material de altas prestaciones. Esta evolución es el resultado de las investigaciones llevadas a cabo en los planos químicos, físicos, mecánicos y estéticos. Su comportamiento al fuego los convierte en el material estructural más seguro antes ese tipo de siniestro. El conocimiento de sus debilidades permite elaborar estructuras seguras y duraderas. Piénsese que la estructuras de hormigón construidas en los años cincuenta están en pleno uso sin señales de deterioro. Por lo que cabe pensar que los nuevos conocimientos en materia de durabilidad permitirán construir estructuras de hormigón relativamente baratas con una vida útil superior a los 150 años. Una duración que supera la que el dinamismo de las ciudades actuales necesita, dado los rápidos cambios de necesidades por el desarrollo poblacional.

1.1 Propiedades generales

El hormigón presenta dos estados fundamentales desde el puntos de vista práctico. El estado fresco o plástico en el que admite ser manipulado para su adaptación a los encofrados previstos y el estado endurecido en el que ha adquirido una rigidez tal que impide su manipulación sin producir fracturas visibles o no irreversibles. Estos estados son sinónimos de las fase de colocación en obra y de uso.

1.1.1 Propiedades del hormigón fresco

El hormigón fresco es el producto inmediato del amasado de sus componentes. Desde el primer momento se están produciendo en su masa reacciones químicas que condicionan sus características finales como material endurecido. Reacciones que se prolongan sustancialmente hasta un años después de su amasado. El hormigón fresco es un masa heterogénea de fases sólidas, líquidas y gaseosas que se distribuyen en igual proporción si está bien amasado.

Las propiedades fundamentales de este estado del hormigón son las siguientes:

- Consistencia
- Docilidad
- Homogeneidad
- Masa específica

Consistencia: Es la capacidad del hormigón fresco de deformarse. Principalmente se mide mediante el descenso en centímetros en el ensayo del cono de Abrams.

Docilidad: Es sinónimo de trabajabilidad del hormigón fresco. Es su capacidad de ser puesto en su lugar de destino con los medios de compactación de que se dispone. Principalmente se mide mediante el descenso en centímetros en el ensayo del cono de Abrams.

Homogeneidad: Es la cualidad de distribución por toda la masa de todos los componentes del hormigón en las mismas proporciones. A la cualidad de homogeneidad se opone el defecto de la segregación o decantación. Se mide por la masa específica de porciones de hormigón fresco separadas entre sí.

Masa específica: Es la relación entre la masa del hormigón fresco y el volumen ocupado. Puede medirse con el hormigón compactado o sin compactar. La densidad del hormigón fresco compactado es una medida del grado de eficacia del método de compactación empleado. Se mide en kg/m^3

Tiempo abierto: Es el período de tiempo que transcurre entre el amasado del hormigón y el principio del fraguado. Es una propiedad muy importante pues es en el que se puede manipular el hormigón sin merma de sus características.

1.1.2 Propiedades del hormigón endurecido

El carácter de hormigón endurecido lo adquiere el hormigón a partir del final de fraguado. El hormigón endurecido se compone del árido, la pasta de cemento endurecido (que incluye el agua que ha reaccionado con los compuestos del cemento) y las red de poros abiertos o cerrados resultado de la evaporación del agua sobrante, el aire ocluido (natural o provocado por un aditivo). Las propiedades del hormigón endurecido son:

La densidad: Es la relación de la masa del hormigón y el volumen ocupado. Para un hormigón bien compactado de áridos normales oscila entre 2300- 2500 kg/m^3 . En caso de utilizarse áridos ligeros la densidad oscila entre 1000-1300 kg/m^3 . Y en caso de utilizarse áridos pesado la densidad oscila entre 3000-3500 kg/m^3 .

Compacidad: Es la cualidad de tener la máxima densidad que los materiales empleados permiten. Un hormigón de alta compacidad es la mejor protección contra el acceso de sustancias perjudiciales.

Permeabilidad: Es el grado en que un hormigón es accesible a los líquidos o a los gases. El factor que más influye en esta propiedad es la relación entre la cantidad de agua añadida y de cemento en el hormigón (a/c). Cuanto mayor es esta relación mayor es la permeabilidad y por tanto más expuesto el hormigón a potenciales agresiones.

Resistencia: El hormigón endurecido presenta resistencia a las acciones de compresión, tracción y desgaste. La principal es la resistencia a compresión que lo convierte en el importante material que es. Se mide en Mpa (Megapascuales) y llegan hasta 50 Mpa en hormigones normales y 100 Mpa. en hormigones de alta resistencia. La resistencia a

tracción es mucho más pequeña pero tiene gran importancia en determinadas aplicaciones. La resistencia a desgaste, de gran interés en los pavimentos se consigue utilizando áridos muy resistentes y relaciones agua cemento muy bajas.

Dureza: Es una propiedad superficial que en el hormigón se modifica con el paso del tiempo debido al fenómeno de carbonatación. Un método de medirla es con el índice de rebote que proporciona el esclerómetro Smichtd.

Retracción: Es el fenómeno de acortamiento del hormigón debido a la evaporación progresiva del agua absorbida que forma meniscos en la periferia de la pasta de cemento, y el agua capilar. Es el agua menos fijada en los procesos de hidratación. Además en el hormigón endurecido está presente el agua en distintos estados:

- Agua combinada químicamente o de cristalización
- Agua de gel
- Agua zeolítica o intercrystalina

2 Tipos de Hormigón

Hace unos años hablar de hormigón evocaba una instalación sencilla en una obra donde se fabricaba el material de acuerdo a las indicaciones de la dirección facultativa o siguiendo recetas simples tales como 1:2:3 (proporciones de cemento, arena y grava). Hoy en día cabe hacer varios grupos de tipologías de hormigón desde otros tantos puntos de vista:

2.1 Tipos por propiedades

2.1.1 Tipos generales

Básicamente hay dos tipos de hormigón: El hormigón en masa y el hormigón estructural. Éste último es resultado de la inclusión en su masa de barras o alambres de acero para compensar la baja resistencia del hormigón a tracción. Cuando el hormigón es reforzado por armaduras pasivas se llama hormigón armado y cuando es reforzado por armaduras activas se llama hormigón pretensado. Son armaduras pasivas las sufren tensiones cuando se carga el elemento de hormigón al que refuerzan. Y se llaman activas cuando sufren tensiones antes de que el elemento sea cargado.

Las armaduras activas pueden ponerse en tensión antes o después del vertido y endurecimiento del hormigón. Si lo son antes al hormigón resultante se le denomina hormigón pretensado con armaduras postesas. Si lo son después se denomina hormigón pretensado con armaduras pretesas. Este último se denomina también hormigón pretensado de armaduras adherentes.

El término «tensión» significa esfuerzos unitarios, que pueden ser tanto de tracción como de compresión. Sin embargo, le término «teso» implica una tensión de tracción.

2.1.2 Tipos de hormigón por la resistencia

La EHE establece una serie de valores nominales para la resistencia del hormigón:

Tabla 1	
CLASE DE RESISTENCIA N/mm ²	
20 - 25 - 30 - 35 - 40 - 45 - 50	
El valor de 20 N/mm ² está reservado al hormigón en masa. No puede emplearse para otros hormigones	



Quando la EHE habla de resistencia tipificada está refiriéndose a un valor característico, o sea, aquel que debe ser igualado o superado por el 95 % de los valores potenciales en la obra. Los comentarios de la Comisión Permanente al apartado 30.2 de la EHE, alude a los valores inferiores al valor característico especificado como «fracciones defectuosas». Esta calificación olvida, quizás que el valor característico es convencional y que se podría haber tomado con igual resultado un valor asociado al cuantil 10 ó 20 %. Los valores inferiores al valor característico no son defectuosos, sino propios de la amasada. Su «inexistencia» sería una contradicción tan grave que «habría que buscarlos», del mismo modo que habría que hacerlo cuando al quitar el último vagón de un convoy observáramos perplejo que «ya no había último vagón».

La EHE cuando habla de un valor concreto de resistencia está refiriéndose a los obtenidos como media de un mínimo de dos determinaciones experimentales con probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura elaboradas de acuerdo con UNE 83301:91 y ensayadas a compresión de acuerdo con UNE 83304:84.

2.1.3 Tipos de hormigón por el endurecimiento

La EHE clasifica a los hormigones por la rapidez relativa de su endurecimiento en función del tipo de hormigón utilizado para su elaboración y la relación agua/cemento.

Tabla 2						
CLASE DE ENDURECIMIENTO						
Relación agua/cemento	Tipos de cemento					
	32,5	32,5 R	42,5	42,5 R	52,5	52,5 R
> 0,60	N	N	N	N	N	N
≤ 0,60	N	N	N	R	R	R
≤ 0,50	N	R	R	R	R	R

N.- Hormigón de endurecimiento **normal**
R.- Hormigón de endurecimiento **rápido**

2.1.4 Tipos de hormigón por la docilidad

La EHE mantiene los dos modos de tipificar la docilidad, por consistencia y por asiento. En esto no cambia respecto de la EHE-91. Tanto la consistencia como el asiento especificados se comprueban experimentalmente con el método de la norma UNE 83313:90. El asiento tiene un rango de **0 - 12** centímetros.

Tabla 3	
Clases de Consistencias	
Consistencia	Asiento cm
Seca	0 - 2
Plástica	3 - 5
Blanda	6 - 9
Fluida	10 - 15

Tanto para la consistencia como para el asiento se proporcionan tolerancias que permiten tomar decisiones en el control.

Tabla 4		
Tolerancias de la consistencia por clases		
Consistencia	Tolerancia cm	Intervalo
Seca	0	0 - 2
Plástica	± 1	2 - 6
Blanda	± 1	5 - 10
Fluida	± 2	8 - 17

Tabla 5		
Tolerancias del asiento		
Asiento cm	Tolerancia cm	Intervalo
Entre 0 - 2	± 1	A ± 1
Entre 3 - 7	± 2	A ± 2
Entre 8 - 12	± 3	A ± 3



Aun que el asiento se presente como un intervalo la expresión «entre» avisa de que el asiento se especifica con un solo valor en cm. Esta es la razón de que en la tabla 6.6.1.3.c el intervalo no se pueda definir y quede pendiente de conocer el valor de

«A». La consistencia, por el contrario, se especifica como un intervalo y, al hacerlo como «blanda», por ejemplo, se está queriendo decir «entre 6 y 9 cm».

2.2 Hormigones según el tipo de armado

Además de la clasificación en función del modo de fabricación cabe clasificar al hormigón en función de su tipo de armado. Desde este punto de vista, caben dos tipos básicos: El hormigón armado y el hormigón pretensado. Éste último se divide, a su vez, en dos tipos de armaduras adherentes o de armaduras no adherentes. A ambos se suma el hormigón en masa, utilizado en grandes macizos donde predomina la necesidad de masa antes de otras características.

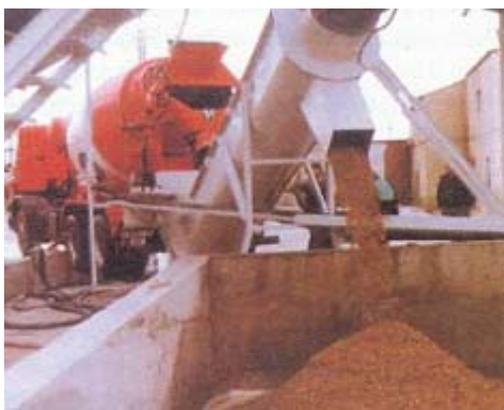
2.3 Hormigones según el tipo de propiedad adicional

A la tradicional composición del hormigón de cemento, agua y áridos, se le añadieron en los años ochenta las adiciones resultantes de determinados procesos industriales. Pero este cambio no produjo efectos importantes sobre el hormigón mismo. Al contrario, en sus primeros usos, produjo hormigones poco durables por la alegre sustitución de cemento por ceniza traspasando umbrales de seguridad al respecto.

Sin embargo, la paulatina utilización de polímeros como aditivos mientras el hormigón fue una tarea de la obra y la rápida difusión cuando el hormigón se convirtió en un sector industrial especializado, sí ha provocado un cambio notable en el catálogo de hormigones.

Como resultado se puede hablar de hormigones ligeros, hormigones reforzados por fibras y hormigones autocompactables. Además de una larga lista de aplicaciones secundarias como material de rehabilitación.

2.4 Hormigones según el carácter de los materiales



En la fabricación de hormigón ya se había empleado residuos de procesos industriales, tales como las cenizas volantes o el humo de sílice. Es decir se fabricaba hormigón con connotaciones medioambientales. Pero la influencia de las políticas medioambientales está surtiendo efecto en estos momentos con el empleo de áridos reciclados. Es decir con el empleo de áridos procedentes de hormigones previamente demolidos.



2.5 Hormigones elaborados en obra

Arriba una instalación de obra completa, que si cumple determinadas condiciones puede considerarse una central y a la derecha una hormigonera elemental de 100 litro de hormigón. Las primera es una tipo muy utilizado en obras de cierta envergadura en las que se presume un consumo alto de hormigón y, La segunda es un tipo que, afortunadamente, está en vías de desaparición, incluso para la fabricación de morteros. Entre ambas se sitúan un amplia gama de instalaciones que permiten controlar con mayor o menor rigor la dosificación del hormigón, última causa de que el hormigón alcance o no las características buscadas. En especial, ha sido, tradicionalmente, muy complicado conseguir que las instalaciones de obra controlasen la cantidad de agua añadida, dado que los dosificadores, cuando existían eran corregidos en función de las exigencias de los operarios que estaban colocando el hormigón en los encofrados. Provocando así una modificación de la dosificación que alteraba la relación agua/cemento y, con ella características tan importantes como la resistencia o la durabilidad. Las instalaciones más primitivas para fabricar hormigón deben ser sustituidas por formas más seguras de garantizar las características del hormigón fresco.



2.6 Hormigones elaborados en central

El hormigón preparado en central no tiene como rasgo distintivo la condición de central (instalación que cumple las condiciones del artículo 69 de la EHE), puesto que también



puede ser central una instalación de obra, sino la de estar dosificado en instalaciones externas a la obra desde las que se expide a cada tajo. Es decir, una central puede no producir hormigón preparado pero el hormigón preparado debe ser fabricado en central.

El hormigón preparado, una vez dosificado, es colocado en diversos grados de mezclado en las cubas – hormigoneras en las que, al tiempo que son transportado a la obra se termina de mezclar para llegar listos para el empleo en la obra.

En la fotografía se puede comprobar como un camión recibe una carga de hormigón para su transporte. Las cubas de los camiones tienen una capacidad comprendida (hoy en día) entre 6 y 10 m³.

2.7 Hormigón prefabricado

La próxima revolución del hormigón está relacionada con el hormigón prefabricado. Todavía no ha alcanzado gran presencia en las obras de edificación de viviendas pero sí en las obras de edificación industrial.



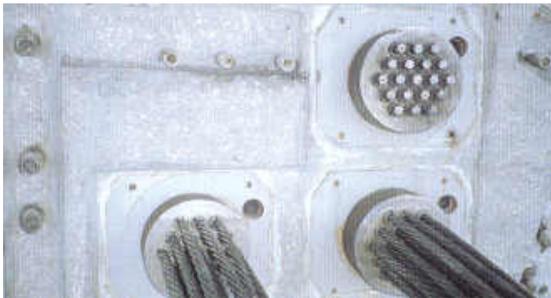
En la fotografía se pueden observar los paneles de hormigón prefabricado utilizados para la fachada de un edificio industrial.

2.8 Hormigón armado

El hormigón armado es el resultado de combinar debidamente hormigón fresco y armaduras pasivas de acero para producir un elemento que resiste acciones que provocan tensiones de compresión y de tracción. Estos elementos se consiguen tanto en obra como en factorías (prefabricados).

En la fotografía se observa el vertido de hormigón sobre las armaduras pasivas dispuestas para componer un elemento superficial de hormigón armado. El dispositivo en primer plano es un vibrador que permite la compactación del hormigón fresco. El hormigón armado se caracteriza porque sus armaduras (pasivas) no están sometidas a tensiones hasta que la pieza recibe las acciones previstas.

2.9 Hormigón pretensado



La característica distintiva del hormigón pretensado es que sus armaduras (activas) están sometidas a tensiones antes de que la pieza de la que forman forma esté sometida a las acciones previstas. Desde este punto de vista existe el hormigón de armaduras pretensas y postesas. En el primero las armaduras son tesadas (objeto de tensiones de tracción) antes del hormigonado de la pieza (pretesado de armaduras). En el



segundo las armaduras son tesadas después del hormigonado de la pieza. En el primer caso la transferencia de tensiones al hormigón se produce por contacto directo entre las armaduras y el hormigón endurecido al proceder al corte de las armaduras. En el caso de pretensado no adherente se procede introduciendo las armaduras a través de las vainas previstas antes del hormigonado y tesando las armaduras

con posterioridad (postesado). En este caso, la transferencia de tensiones de las armaduras al hormigón se produce cortando las armaduras acuñadas en los extremos, pues no hay contacto entre éstas y el hormigón a lo largo de la pieza.

3 Hormigones especiales

3.1 Hormigones ligeros

Los hormigones ligeros son hormigones de densidades menores a las de los hormigones normales hechos con áridos comunes. La disminución de la densidad de estos hormigones se produce por una presencia de vacíos en el árido, en el mortero o entre las partículas de árido grueso. Esta presencia de vacíos ocasiona la disminución de la

resistencia del Hormigón, por lo que muchas veces la resistencia no es la condición predominante para estos hormigones, y en otros casos se compensa.

En construcciones de Hormigón, el peso propio de la estructura representa una proporción importante en la carga total de la estructura por lo que reducir la densidad del mismo resulta muy beneficioso. Así se reduce la carga muerta, con la consiguiente reducción del tamaño de los distintos elementos estructurales, llegando a los cimientos y al suelo con menores cargas. El uso de Hormigones ligeros depende de las consideraciones económicas.

La densidad del hormigón endurecido a los 7 días de curado húmedo y 21 días de secado al aire, ambos en condiciones normalizadas de humedad y temperatura no será menor de 800 kg/m³ ni mayor de 2000 kg/m³. Su composición, elaboración, colocación y compactación serán tales que el hormigón endurecido tenga una estructura cerrada y masa compacta, libre de vacíos macroscópicos.

Ventajas y Desventajas:

- a. Buen aislante térmico por su contenido de aire
- b. Durable
- c. No es altamente resistente a la abrasión
- d. Es mas caro
- e. El amasado, manejo y colado requiere más precauciones
- f. Es apto en general para pretensados, cascarones, edificios de gran altura.

Clasificación de los Hormigones ligeros según su método de Producción:

- a. Hormigón de Árido Ligero: Uso de áridos ligeros porosos de baja gravedad específica aparente.
- b. Hormigón Aireado, celular, espumoso o gaseoso: Se introducen vacíos dentro del Hormigón que se distinguen de los huecos producidos por el arrastre de aire.
- c. Hormigón sin finos: Se omite el árido de finos, por lo que gran número de vacíos intersticiales están presentes, los áridos gruesos son de peso específico normal.

Clasificación según el uso

- a. Hormigón Ligero Estructural: Se clasifica en función de una resistencia mínima, una densidad en estado seco que generalmente no excede los 1840 kg/m³.
- b. Hormigón usado en unidades de Mampostería
- c. Hormigón aislante: Se clasifica en función de su coeficiente de conductividad térmica, que debe estar por debajo de los 0.3 J/m²/s °C/m y su densidad es más baja que para los hormigones ligeros estructurales.

Piedra Pómez: de color claro, vidrio volcánico parecido a una espuma. No son débiles estructuralmente y proporcionan un hormigón con densidad de entre 700 a 1400 kg/m³. Tienen características aislantes buenas pero gran contracción y absorción. Algunos áridos apropiados son

- a. Escoria: es una roca vidriosa vesicular, parecida a las cenizas industriales. El hormigón que forma es similar al de la piedra pómez.

b. Cenizas Volcánicas:

Artificiales: Se clasifican de acuerdo al material base y al método de fabricación

- a. Áridos producidos por aplicación de calor para expandir la pizarra, arcilla, esquisto, la pizarra diatomácea, perlita, obsidiana y vermiculita.

Arcilla, Pizarra y Esquistos: Se obtienen al calentar los materiales crudos en un horno giratorio (Temperatura entre 100 y 1200°C. Una vez que se produce la expansión del material por la generación de gases que quedan atrapados en la masa del material). La estructura porosa lograda se retiene mediante el enfriamiento, de modo que la gravedad específica del material es menor a la inicial. La expansión también puede realizarse mediante un cable aglutinado. Tal que el material humedecido se lleva bajo quemadores y el calor va penetrando en forma gradual en toda la profundidad de la capa del material. Su viscosidad es tal que los gases expandidos quedan atrapados, luego se enfría y se lo comprime o se usa el material paletizado inicialmente.

El material paletizado produce partículas con una capa sobre el interior celular. Las partículas son casi esféricas y tienen una capa vidriosa semiimpermeable, por lo que tienen menor absorción de agua, son más fáciles de mezclar por lo que producen hormigones muy trabajables, pero resultan por supuesto más caros.

- **Las arcillas y pizarras** tienen una densidad de 650 a 900 kg/m³ para el caso del proceso mediante Cable aglutinado y de 300 a 650 kg/m³ cuando se hacen en el horno giratorio. Los hormigones que se obtienen tienen densidades entre 1400 a 1800 kg/m³. Tiene la ventaja de que se obtienen resistencias más elevadas que con cualquier otro árido ligero.
- **La Perlita** es una roca volcánica vidriosa. Cuando se calienta rápidamente entre 900 a 1100 °C, se expande por la evolución del vapor y forma un material celular con densidades de entre 30 a 240 kg/m³. El Hormigón hecho con este material tiene resistencias muy bajas, alta contracción (por su bajo módulo de elasticidad) y es más que nada usado como aislante. El Hormigón es de secado rápido.
- **La Vermiculita** es un material con una estructura parecida a la de la mica. Cuando se calienta a 650 a 1000 °C, se expande varias veces (hasta 30 veces su volumen original) por la exfoliación de las laminillas. La densidad de la vermiculita es entre 60 a 130 kg/m³. El hormigón hecho con este material tiene una resistencia muy baja y muy alta contracción pero es un muy buen aislante.

A veces el material crudo se reduce al tamaño deseado antes de calentarlo, o puede triturarse una vez que se ha expandido.

- a. Áridos obtenidos por procedimientos de enfriamiento especiales para proporcionar la expansión de la escoria de alto horno. La escoria expandida se puede producir por dos procedimientos. Proceso de Surtidor de agua: En el primero se pone en contacto con la escoria fundida una pequeña cantidad controlada de agua en forma de rocío al ser descargada del horno en la producción de hierro. Se genera entonces vapor y este hincha a la escoria todavía plástica por lo que la escoria se endurece en forma

porosa.

Proceso de Máquina: La escoria fundida se agita con una cantidad controlada de agua. El vapor queda atrapado y hay además formación de gases por reacciones entre los constituyentes de la escoria y el vapor de agua. Produce una densidad de entre 300 a 110 kg/m³ según los procesos de enfriamiento y del tamaño de las partículas y gradación. El Hormigón obtenido tiene densidades de 950 a 1750 kg/m³

- b. Árido de escoria de hierro vítreo o ceniza: se obtiene de los residuos de hornos industriales de alta temperatura, fusionados o aglutinados en grumos. La escoria debe ser libre de variedades o elementos perjudiciales que puedan expandirse en el Hormigón, que ocasiona falta de solidez. Hay que tener en cuenta los contenidos de sulfatos solubles y los límites de pérdida de ignición sobre todo para hormigones exteriores. Generalmente no es recomendado para hormigones armados u hormigones que requieran durabilidades importantes.

Propiedades del Hormigón de Árido Ligeros

- Permiten que los rangos de densidades oscilen entre 300 a 1850 kg/m³
- Los rangos correspondientes de resistencia van entre 0.3 a 40 Mpa e incluso mayores
- Las resistencias más elevadas se obtienen con contenidos elevados de Cemento (500 kg/m³. Puede necesitarse hasta 70% más que con áridos normales.
- Todos los áridos ligeros producen hormigones totalmente diferentes entre si por lo que se requiere un cuidadoso control.
- Las propiedades del Hormigón además se ven afectadas por la graduación del árido, el contenido de cemento y la relación agua / cemento por lo que es difícil clasificar al H^o según el árido usado.
- La conductividad térmica está relacionada con la densidad
- Los áridos ligeros tienen mayor y más rápida absorción de agua
- Las mezclas son más ásperas, lo cual se puede disminuir con el arrastre de aire, reduciendo el requerimiento de agua. Generalmente los contenidos de aire totales por volumen son de 4 a 8% por 20 mm de tamaño máximo de árido, y de 5 a 9% por 10 mm de tamaño máximo.
- La trabajabilidad disminuye si se usan tanto áridos finos de peso ligero como áridos gruesos de peso ligero por lo que se recomienda usar áridos finos de peso normal y áridos gruesos de peso ligero (Hormigón semiligero). Generalmente estos hormigones requieren de 12 a 14% menos de agua de mezcla para lograr una misma trabajabilidad que uno ligero.
- La contracción por fraguado de un H^o semiligero es menor que la de un H^o ligero.
- Debe protegerse a las armaduras de corrosión por la profundidad de carbonatación que puede ser hasta el doble que para áridos normales, requieren mayores recubrimientos.
- En el caso de escoria vítrea de utilizarse acero este debe estar debidamente protegido.
- El movimiento de humedad (contracción por fraguado reversible) es mayor para Hormigones ligeros que para hormigones normales.
- Los coeficientes de expansión térmica son menores para áridos ligeros, esto produce disminución en las deformaciones por variaciones de temperatura, pero puede crear problemas cuando se trabaja con ambos tipos de árido.

- La resistencia al congelamiento y deshielo es mayor debido a la mayor porosidad del árido ligero, siempre que este no haya estado saturado.
- La resistencia al fuego es mayor por que los áridos ligeros son menos propensos a astillarse

Hormigón celular

Otra forma de obtener hormigones ligeros es mediante la incorporación de **gas** en la masa del mortero a los efectos de producir una estructura celular que con tenga vacíos entre 0.1 y 1 mm. La característica de estos vacíos es que su **piel** que debe resistir el mezclado y la compactación. El hormigón que resulta de este proceso se llama Celular, aunque no se lo debería llamar hormigón debido a que no hay árido grueso en él. Se pueden obtener de dos maneras:

- Hormigón Gaseoso: Mediante **reacciones químicas** que generan un gas en el mortero fresco de modo que la consistencia del mismo debe ser tal que permita que el gas se expanda pero no se escape. Por lo tanto se combinan la **velocidad** de evolución del gas, la consistencia y el **tiempo** de fraguado. El mas usado en este proceso es el polvo de **aluminio**, que se divide finamente en proporciones del orden del 0.2% de la masa de cemento, puede usarse además polvo de zinc, aleaciones de aluminio o peróxido de hidrógeno. Reacciona entonces el polvo activo con el hidróxido de calcio o los álcalis, y en esta reacción se liberan burbujas de hidrógeno.
- Hormigón Espumoso: Se produce por la adición de un agente espumoso (jabones de resina o proteínas hidrolizadas) a la mezcla. Se realiza el mezclado a alta velocidad y el agente incorporado estabiliza e introduce burbujas a la mezcla. A veces se incorpora directamente una espuma estable en una mezcladora común. Puede hacerse sin arena para propósitos no estructurales como el aislamiento se obtienen densidades entre 200 a 300 kg/m³. Generalmente sus densidades oscilan entre 50 y 1100 kg/m³ para morteros hechos con arenas muy finas.

Principalmente se usa para depósitos de asilamiento de calor por su baja conductividad térmica y por sé incombustible. Estructuralmente se usa para bloques con curado en autoclave o elementos premoldeados. Se usa para pisos. Puede aserrarse, clavarse es bastante durable. Tiene alta absorción de agua pero el índice de penetración del agua es bajo porque no se llenan los poros más grandes. Tiene resistencia medianamente buena al congelamiento y puede usarse en la construcción de muros. En el caso de ser armado el acero puede ser corroído, por lo que necesita protección, estas generalmente implican un detrimento de la adherencia.

Hormigón sin Finos

Este hormigón se obtiene omitiendo el árido fino de la mezcla por lo que hay una aglomeración de partículas de árido grueso. Cada partícula se encuentra rodeada de la pasta de cemento en un espesor de 1.3 mm. Dentro del cuerpo existen grandes poros, esto produce resistencias menores, pero debido a que estos poros son importantes no hay movimiento capilar dentro del hormigón, y por lo tanto baja penetración de esta.

La densidad de estos áridos depende de la curva granulométrica del árido grueso que usemos, cuando se usan áridos de un mismo tamaño la resistencia disminuye 10%

respecto a los áridos bien graduados del mismo peso específico. La condición es que ningún árido debe ser menor a los 5 mm. Deben evitarse los áridos con aristas angulosas porque puede producirse trituración local.

Este hormigón requiere muy poca compactación y solo se aplica vibración por periodos cortos, si no la pasta de cemento tiene a escaparse. No tiene problemas de segregación por lo que puede ser lanzado de alturas significantes.

Su resistencia varía entre 1.4 y 14 Mpa, según sea su densidad. En este tipo de Hormigones existe un valor óptimo para la relación agua cemento para cualquier árido. Si la relación a/c es mayor la pasta de cemento tenderá a drenarse de las partículas de árido y si fuera demasiado baja la pasta no sería lo suficientemente adhesiva y no se formaría la composición entre áridos y pasta. Generalmente la óptima está entre 0.38 y 0.52 dependiendo del contenido de cemento necesario para recubrir el árido.

2.12 Hormigones con fibras

El hormigón con fibras se define como un hormigón, hecho con cemento, que contiene áridos finos y gruesos y fibras discontinuas. Las fibras pueden ser naturales o artificiales que tienen como fin reforzar la masa del cemento incrementando la resistencia a la tensión ya que se retarda el crecimiento de las grietas y aumentar la dureza transmitiendo el esfuerzo a través de la sección agrietada. El refuerzo de fibras mejora la resistencia al impacto y la resistencia a la fatiga y disminuye la contracción por fraguado.

Las fibras que más se utilizan son de acero, de vidrio y de polipropileno y por otro lado las de Carbono y Aramida. Las propiedades son las que se muestran en la tabla a continuación:

Tipo de Fibra	Densidad	Resistencia a Tracción (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Alargamiento %
Acero	7.84	500 a 2000	200	0.5 a 3.5
Vidrio	2.60	2000 a 4000	70 a 80	2 a 3.5
Polipropileno	0.90	400 a 700	8 a 16	8
Carbono	1.90	2600	230	1
Aramida	1.45	3600	65 a 130	2.1 a 4
Hormigón	2.3	5 a 8	30	

Las cantidades usadas de fibra van entre el 1 al 5% por volumen, y sus propiedades deben ser bastante más altas que las de matriz. El flujo plástico de las fibras debe ser muy bajo para que no ocurran esfuerzos por relajación. El módulo de Poisson debe ser

similar para que no ocurran esfuerzos laterales inducidos, que pudiera afectar la adherencia entre las superficies de contacto.

La longitud de la fibra debe ser mayor que el tamaño máximo de las partículas de árido.

La adherencia mejora en fibras de superficie rugosa, extremos agrandados. La orientación de la fibra también influye siendo máximo el beneficio cuando la fibra es unidireccional y paralela al esfuerzo de tracción aplicado y es de menor influencia cuando se orientan al azar en tres dimensiones.

El mezclado de las fibras se realiza al final del proceso de amasado, Estos hormigones tienen menos docilidad que los hormigones tradicionales. Debe preverse una dispersión uniforme de las fibras y prevenirse una segregación o enredo de las fibras. Estos hormigones tienen mayores contenidos de cemento (de 300 a 500 kg/m³) y de árido fino como así también tamaños menores de árido grueso.

El hormigón con **fibra de acero** se usa también como hormigón proyectado. El contenido de fibra generalmente está entre 1 al 3% en volumen y con el aumento de este se incrementan las propiedades mecánicas pero se perjudica la trabajabilidad. Por ejemplo la resistencia a flexión se incrementa de 2 a 3 veces respecto a la de un hormigón no reforzado, creciendo con la relación de forma de las fibras. La resistencia al impacto crece entre 4 a 6 veces respecto al hormigón normal. Resultan muy caras, el 1% de árido de fibras de este tipo implica duplicar el costo del Hormigón aproximadamente.

Se usan para Pavimentos industriales, pistas de aeropuertos, elementos prefabricados, túneles evitando así la colocación de la malla electro soldada. Son más vulnerables a la corrosión que el Hormigón armado convencional, aunque su comportamiento es muy bueno si no hay figuración. Cuando el ambiente es agresivo el hormigón tiende a fisurarse por lo que es imprescindible el uso de acero inoxidable.

En los hormigones con **fibra de vidrio** la longitud de este tipo es de hasta 40 mm y los contenidos usuales son de alrededor del 5%. Su mezclado es diferente al de las fibras de acero, por ejemplo cuando se trata de capas delgadas, las fibras en madeja se alimentan dentro de una pistola de aire comprimido que las corta y las rocía con la lechada de cemento.

Lo que se denomina colocación por proyección. La fibra de vidrio debe ser resistente al ataque de los álcalis del cemento. Son muy utilizadas en paneles de Fachadas más que nada con propósitos arquitectónicos o de revestimiento. También se usa para tabiques antifuego, muros antirruido y como encofrados perdidos.

En los hormigones con **fibra de polipropileno** las fibras son de polímeros, (plásticas) son también resistentes a los álcalis. El problema que tienen es que sus propiedades mecánicas son bajas (con módulos de elasticidad pequeños y adherencia reducida). Las longitudes de las fibras van entre 10 a 60 mm. Estas son agregadas en la hormigonera en cantidades de 1 a 3% del volumen.

Se usan mayormente como refuerzo de morteros, controlando la fisuración por retracción, para elementos prefabricados (mejoran la resistencia al impacto y al fraccionamiento de

las piezas terminadas) y para Hormigones proyectados, en los que se producen menores pérdidas por rebote y se consiguen mayores espesores sin descuelgues de material.

2.13 Hormigones con polímeros

Los polímeros son cadenas de monómeros, que según su estructura química cuenta con diferentes propiedades y particularidades. Estos elementos tienen alto peso molecular. Los polímeros pueden ser termoplásticos o termoestables. Los primeros cuentan con cadenas largas, lineales y paralelas que no se unen transversalmente y presentan propiedades evidentes ante cambios de Temperatura. Los termoestables tienen cadenas orientadas al azar que si se enlazan transversalmente y no muestran variación ante los cambios de temperatura. Estos materiales son químicamente inertes pero presentan el inconveniente de tener un módulo de Elasticidad bajo y un flujo plástico alto, además tienden a degradarse con el sol, agentes químicos, microorganismos, etc. Esto puede ser disminuido mediante el uso de antioxidantes y estabilizadores para reducir la oxidación y la degradación ultravioleta.

Los materiales más usados son las formulaciones epoxídicas, resinas acrílicas, poliéster, poliuretanos, etc. Se usan para producir tres tipos de compuestos: Hormigón – Polímero, Hormigón impregnado con polímero y Hormigón de cemento Pórtland polímero.

Hormigón impregnado con polímero se seca el horno común y se lo satura con un monómero, luego por radiación gama o por métodos térmicos se produce la polimerización. Esto se hace generando radicales libres. Estos hormigones tienen resistencia a tracción compresión e impacto mayores, los módulos de elasticidad más altos u menor flujo plástico y contracción por secado. Tiene mayor resistencia a los ciclos de congelamiento y deshielo, y al ataque químico, esto se debe a que la porosidad y permeabilidad de estos hormigones son más bajas. Presentan el problema de que su coeficiente de conductividad térmica es más elevado y que las propiedades se deterioran una vez que ha sido expuesto al fuego. Este tipo de Hormigones resulta de muy alto costo, aunque puede impregnarse parcialmente algunos miembros de la estructura.

Hormigón Polímero: se forma al polimerizar un monómero mezclado con árido a temperatura ambiente. Cuando se adiciona silano al sistema monómero este actúa como acoplador y mejora la adherencia en las superficies de contacto entre el polímero y el árido, así como la resistencia del compuesto. Lo más importante es cuidar que el árido que se use en este hormigón debe tener un contenido de humedad bajo y graduarse para ser trabajable. La forma de trabajarlo para el colado es similar al Hormigón común. Algunos de estos son muy volátiles pudiendo producir mezclas explosivas por lo que hay que tener cuidado y trabajar con los elementos adecuados. Generalmente se usa en reparaciones rápidas, en la fabricación de muros precolados reforzados con fibra, en bloques, tubos de pared delgada etc. Hormigón de Cemento Portland Polímero: Se agrega al Hormigón fresco un polímero en forma de solución acuosa o un monómero que es polimerizado in situ. Se usan con un agente anti espumante para que no quede demasiado aire atrapado. Tiene mayor durabilidad y adhesión que los hormigones comunes. Tienen resistencias alta a la congelación y deshielo y a la abrasión y al impacto. El flujo plástico es mayor que en el hormigón común. Se usa para cubiertas para puentes, tableros, reparaciones

2.14 Hormigón proyectado

Son hormigones enviados a través de una manguera y proyectado neumáticamente a gran velocidad contra una superficie. La fuerza del chorro produce la compactación del material contra la superficie, y permite que el Hormigón permanezca en esa posición, incluso cuando las superficies son verticales. Se usa para secciones finas y ligeramente reforzadas como bóvedas o techos, cubiertas de túneles. Se usa para hacer reparaciones de Hormigones normales deteriorados, estabilización de taludes de roca, etc. El hormigón proyectado va adquiriendo espesor hasta 10 cm, por esto no se necesita encofrado, pero por otro lado su contenido de cemento es más elevado y los equipamientos y capacitación necesarios para realizar este tipo de trabajo son más caros que en el Hormigón común. Hay dos procesos para el proyectado, uno se mezclan el cemento y los áridos y son llevados a una alimentadora mecánica donde la mezcla es transferida por un distribuidor a velocidad conocida en una manguera que conduce a una boquilla, dentro de esta se adapta un tubo perforado que incorpora el agua presurizada para mezclar con los otros ingredientes, luego la mezcla es proyectada a gran velocidad.

En el proceso de vía húmeda, todos los elementos son mezclados, esta mezcla se introduce en la cámara del equipo y desde allí es enviada mediante una bomba, esta se inyecta en una boquilla donde neumáticamente se le da gran velocidad. Este proceso permite mayor control del agua que se le coloca a la mezcla que se mide en la premezcla. Pueden incorporarse aditivos y las condiciones de trabajo son mejores que para el caso de la mezcla seca. La consistencia del hormigón proyectado debe ser relativamente seca para que el material se sostenga en cualquier posición, y debe estar lo suficientemente húmeda para lograr la compactación sin excesivo rebote. Generalmente las partículas gruesas tienden a rebotar, esto debe ser debidamente observado para que no se produzcan acumulaciones de material de rebote en posiciones que serán incorporadas a las capas siguientes. Los rangos de relaciones a/c son de 0.35 a 0.50 con poca exudación. Los tamaños máximos de áridos son de 15 mm para hormigón y de 8 mm para gunita. Es muy importante el curado de estos hormigones ya que el secado rápido se produce por la alta relación superficie/volumen. Se recomiendan las secciones poco armadas y las capas delgadas.

2.15 Hormigón pesado

Los hormigones pesados se utilizan como protección contra las radiaciones producidas en las plantas en base a energía nuclear. La obtención de estos queda condicionada al empleo de áridos bajo peso específico, para lo cual se obtienen normalmente de rocas mineralizadas o bien, aunque con menor frecuencia, se recurre a áridos constituidos por granalla o trozos metálicos.

Las variedades más usadas para áridos provienen de los minerales de hierro, tales como la magnetita, la ilmenita y la hematita, cuyos pesos específicos oscilan entre 4.2 y 4.8 kg/dm³. Se utilizan también dentro de este tipo de áridos los provenientes de la barita, que proporciona áridos con pesos específicos comprendidos entre 4.0 y 4.4 kg/dm³.

También se obtienen a partir de trozos de barras de acero redondo, recortes de planchas de acero o granalla. Su peso específico es similar al del hierro, es decir 7.5 a 7.8 kg/dm³. Estos deben cumplir en líneas generales las mismas condiciones estipuladas para los áridos convencionales. Sin embargo, para su empleo debe tenerse en consideración que

los áridos provenientes de minerales de hierro son muy fracturables debido a su construcción interna, por lo que están expuestos a variaciones de sus características durante su uso en obra, en especial de su granulometría y contenido de finos.

Los áridos obtenidos de deshechos metálicos presentan también algunas características de heterogeneidad, provenientes principalmente del estado de su superficie, la cual debe presentar algún grado de oxidación incipiente para favorecer la adherencia.

El principal uso de los hormigones pesados ha sido de escudo protector contra las radiaciones provenientes de energía nuclear. La capacitación de estas radiaciones depende del tipo de emisión que se trate, pudiendo indicarse que las ondas de corta longitud (rayos x, rayos gama) se necesitan la interposición de un elemento de la mayor densidad posible, para lo cual los hormigones pesados de cualquier tipo proveen una solución económica, al permitir disminuir el espesor de la pantalla de protección. En cambio, las partículas atómicas, como son los neutrones, requiere, además, la presencia de un alto contenido de átomos de hidrogeno en la pantalla, condición que es bien cumplida por los hormigones pesados provenientes de áridos de minerales de hierro hidratado, con un gran contenido de agua de cristalización y hormigones preparados con la mayor dosis de agua posible. Además son utilizados en las fundaciones de elementos de excesiva esbeltez evitando el pandeo. Se puede aprovechar en el acopio como base para materiales de mucho peso.