H O R M I G O N E S L I V I A N O S

CONSIDERACIONES GENERALES:

La denominación de **"HORMIGONES LIVIANOS"** cubre toda una gama de materiales de construcción de muy variadas características, cuya principal propiedad es su reducido peso específico, y que sólo tienen de común – en lo que atañe a su composición – el empleo de cemento portland en su elaboración.

Desde el punto de vista de sus elementos componentes algunos de estos materiales no son, en realidad, hormigones, si se reserva esta denominación a los productos constituidos por cemento, agregados gruesos y agregados finos de origen mineral.

Los hormigones livianos aprovechan esencialmente la elevada resistencia que ofrece el aire confinado en pequeñas celdas al paso del calor.

En términos generales los hormigones livianos pueden ser considerados como el resultado de la tendencia generalizada de obtener un material de construcción que, con las características de los hormigones tradicionales, reúna en grado apreciable cualidades de liviandad, capacidad aislante y economía.

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Los hormigones ordinarios – ejecutados con agregados de alto peso específico y elaborados de manera de obtener con el cemento y el agua una masa tan compacta como posible – se caracterizan por su elevado peso específico, su gran resistencia mecánica y por ser impermeables al agua y al aire y relativamente buenos conductores de los ruidos y del calor. En términos generales, estas propiedades son tanto más acentuadas cuanto más denso y compacto es el hormigón.

Por el contrario, los hormigones livianos presentan como principal característica su reducido peso específico y su elevada capacidad de aislación térmica. Esta última aumenta – según una cierta ley- a medida que disminuye el peso específico y la resistencia mecánica.

Teniendo en cuenta que en la elaboración de hormigones livianos, siguiendo los distintos procesos que más adelante se describen, es posible hacer variar el peso específico entre límites muy amplios, es fácil comprender la gran diversidad de productos que puede obtenerse.

Es conveniente adaptar el peso específico y la resistencia del producto a elaborar a la función que han de desempeñar dentro de la construcción los elementos a ejecutarse y, algunas veces, supeditar aquellas características a las condiciones de transporte y de manipuleo entre otras, que pueden exigir un mínimo de resistencia al hormigón. También pueden intervenir otros factores,

por ejemplo la importancia de la retracción – a veces considerable para ciertos hormigones livianos -, el comportamiento a la intemperie, a la penetración de la lluvia, a la ascención capilar de la humedad, etc.

CLASIFICACIÓN

La multiplicidad de tipos existentes dificulta la clasificación de los hormigones livianos en categorías y divisiones netamente diferenciadas en base a los distintos métodos de elaboración, ya que algunos utilizan simultáneamente varios de ellos. La clasificación general consignada en el Cuadro 1 constituye, no obstante, una base aceptable. Esencialmente se basa en los tres procedimientos que, en forma individual o simultánea, conducen a la elaboración de los distintos tipos de hormigones livianos, a saber:

1. Formación de numerosas pequeñas celdas por incorporación de aire o gas en el seno de la masa de hormigón fresco y su mantenimiento hasta que aquél se endurezca **(Hormigones Celulares)**

2. Utilización de agregados livianos **(Hormigones de Agregados Livianos)**

3. Realización de grandes huecos por la supresión de los elementos finos del agregado, el cual tendrá una granulometría uniforme **(Hormigones Carnosos o "Sin Finos")**

I) HORMIGONES CELULARES

Generalidades:

Resultan del fraguado y endurecimiento de una mezcla formada pro cemento portland y agua – con o sin agregados finos- que ha sido sometida a un tratamiento mecánico, físico o químico previo, destinado a crear una gran cantidad de pequeñas cavidades esféricas regularmente repartidas en el seno de la mezcla y todas de dimensiones aproximadamente iguales. Los alvéolos, una vez formados, deben permanecer indeformables y sin experimentar desplazamientos en el curso de todas las operaciones que sufre la mezcla durante su elaboración y posteriormente a la misma.

De las consideraciones precedentes se desprende que los llamados hormigones celulares no son, en realidad, hormigones en cuanto no responden a su clásica definición universalmente aceptada. Constituyen, cuando intervienen agregados finos en su elaboración morteros finos recubriendo los alvéolos. Sin embargo, la denominación anterior queda justificada en estos casos por extensión considerando que cada alvéolo reemplaza un grano de agregado grueso, de tal manera que pueden ser considerados como hormigones

HORMIGONES LIVIANOS

- I) HORMIGONES CELULARES
  - (A) Hormigón gaseoso
    - (1) Dos productos químicos que reaccionan entre sí
      - Acid.clorhíd.y bicarb.de sodio
      - Cloruro de cal y agua oxigenada
      - Carburo de calcio y agua
    - (2) Un producto químico que reacciona c/el cemento
      - Polvos metálicos (aluminio, zinc, magnesio, calcio, bario, litio)
      - Sales (carbonatos, bicarbonatos)
    - (3) Un produc. que sufre proceso de fermentación
      - Levaduras orgánicas
      - Fermentaciones lácticas
  - (B) Hormigón de espuma
- II) HORMIGONES DE AGREGADOS LIVIANOS
  - (A) Hormigón de agregados livianos inórganicos.
    - (1) Naturales
      - (a) Rocas sedimentarias
        - (a1) Tierras diatomáceas
        - (a2) Conchillas calcáreas
      - (b) Rocas ígneas
        - (b1) Piedra pómez
        - (b2) Escorias volcánicas (Puzzo
        - (b3) Tobas (caliza porosa)
    - (2) Artificiales
      - (a) Especialm. fabricad.
        - (a1) Arcillas y pizarras expan.
        - (a2) Silicatos expand. (Perlita extra livianos (Vermiculita
      - (b) Subproductos
        - (b1) Escorias
        - (b2) Escorias granuladas de altos hornos
        - (b3) Escorias expandidas
        - (b4) Cascotes de ladrillos
  - (B) Hormigones de agregados livianos orgánicos
    - (1) Madera
      - (a) Aserrin
      - (b) Virutas
      - (c) Fibras
    - (2) Otros agregados: Paja; desechos de cáñamo lino, etc.: cáscara de arroz; cáscara de papas; vainas de porotos; corcho granulado, etc.
- III) HORMIGONES CAVERNOSOS O "SIN FINOS"

compuestos de una lechada de cemento, agregados finos y agregados gruesos constituidos por las células generadas.

Clasificación:

Según cuál sea el procedimiento utilizado para su elaboración – en lo concerniente a la forma en que se originan las células en la mezcla – los hormigones celulares pueden clasificarse en dos grupos:

a) Hormigón gaseoso o "gasbeton"

b) Hormigón de espuma

a) HORMIGÓN GASEOSO O "GASBETON"

Las células o burbujas se obtienen por desprendimiento de gases en el seno de la mezcla como consecuencia de reacciones químicas producidas en la misma.

El proceso debe efectuarse bajo una presión de los gases tal que las burbujas se distribuyan uniformemente dentro de la mezcla, pero suficientemente moderada para que permanezcan en su interior. La presión debe mantenerse durante el tiempo necesario para que el material adquiera resistencia de manera de evitar la ruptura de las burbujas o su deformación.

Las experiencias demuestran que los procesos de producción de gas y de fraguado deben, en lo posible, ser simultáneos, pues, si el fraguado termina y continúa el desprendimiento de gas, hay peligro de destrucción total o parcial del material o bien debilitamiento del mismo. En cambio, si la producción de gas es muy rápida, y termina mucho antes que el fraguado, las pequeñas burbujas se reunirán en otras de mayor tamaño, mal distribuidas, existiendo el peligro de su destrucción; y si esto no llega a suceder, el material obtenido contendrá pocos alvéolos y será mal aislante y de reducida resistencia.

Existen, dentro de este grupo, tres procedimientos especiales:

1.- Incorporación a la mezcla de dos productos químicos susceptibles de reaccionar mutuamente y provocar un desprendimiento de gas en presencia del agua de mezclado. Por ejemplo:

a) ácido clorhídrico y bicarbonato de sodio, con desprendimiento de gas carbónico:

$$HCl + NaHCO_3 = NaCl + H_2O + CO_2 \nearrow$$

b) cloruro de cal y agua oxigenada, con desprendimiento de oxígeno

$$CaOCl_2 + H_2O_2 = CaCl_2 + H_2O + O_2 \nearrow$$

c) carburo de calcio y agua, con desprendimiento de acetileno

$$C_2Ca + 2H_2O = C_2H_2 + Ca\ (OH)_2$$

2.- Incorporación a la mezcla de un solo producto químico susceptible de reaccionar con el cemento en presencia del agua y provocar un desprendimiento de gas. Por ejemplo:

a) polvos metálicos (aluminio, zinc, magnesio, calcio, bario, litio, etc. y aleaciones)
b) sales (carbonatos, bicarbonatos)

3.- Incorporación a la mezcla de un producto susceptible de provocar un desprendimiento de gas pro fermentación bajo el efecto del calor de hidratación del cemento. Por ejemplo:

a) levaduras orgánicas
b) fermentaciones lácticas

Este último procedimiento no ha sido aún convenientemente experimentado y sólo se lo cita a título informativo.

Los diversos procedimientos de fabricación difieren esencialmente según las condiciones en las que se incorporan los agentes reactivos a la mezcla y según el momento en que la reacción comienza a producirse. En otras palabras, los reactivos pueden ser incorporados antes del mezclado o una vez que éste haya concluido. Consecuentemente, el desprendimiento gaseoso se realizará en la mezcladora o bien en los moldes una vez colocada la mezcla.

Generalmente se hace necesario agregar agentes estabilizadores destinados a regular el desprendimiento gaseoso y aumentar la resistencia de las burbujas formadas en el seno de la mezcla. Las distintas variantes indicadas dan lugar a las diferentes patentes comerciales que se conocen.

b) <u>HORMIGÓN DE ESPUMA</u>

La formación de los alvéolos resulta de incorporar a la mezcla un producto que, por agitación, es susceptible de generar una espuma abundante de burbujas de aire de la dimensión deseada. Se puede, asimismo, preparar la espuma con anterioridad e incorporarla como agregado ordinario a la mezcla.

Todos los productos espumígenos conocidos pueden ser utilizados con este fin pero, como la presencia del agua de mezclado hace decrecer la tensión superficial, es necesario agregar a dicho producto un agente estabilizador destinado a asegurar la tenacidad de las burbujas hasta que se produzca el correspondiente endurecimiento de la mezcla.

Como agentes espumígenos suele utilizarse: detergentes; jabones resinosos y colas animales o vegetales; saponina; sulfo – ácidos de la naftalina; resinas vinílicas; proteínas hidrolizadas; etc.

En el hormigón de espuma el colado de la mezcla se efectúa siempre después de realizada la expansión, cosa que no siempre ocurre en el hormigón gaseoso.

Elaboración:

En la elaboración de los hormigones celulares en general el mezclado tiene una importancia fundamental sobre la calidad del producto. La duración del mezclado influye directamente sobre la resistencia y la densidad del hormigón, cuanto mayor es el tiempo de mezclado menor es la densidad en ambos tipos de hormigón celular.

Asimismo, las características de las mezcladoras, en cuanto a su velocidad de rotación y la forma de sus paletas, influye sobre las propiedades del hormigón que se elabora en razón de la calidad de la mezcla que permite obtener.

En cuanto a la composición de la mezcla deben hacerse algunas consideraciones generales sobre las características de las materias primas utilizadas.

Composición de la mezcla: Intervienen en la misma los siguientes elementos:

1.- Materias primas

a) cemento portland
b) agregados inertes
c) agua de mezclado

2.- Adiciones

a) agentes expansivos propiamente dichos
b) estabilizadores y eventuales productos de adición.

En lo referente al cemento portland, la finura de molido, las proporciones relativas de los distintos elementos químicos que intervienen en su composición y, consecuentemente, el calor de hidratación, juegan un papel preponderante en los distintos procesos de elaboración de hormigones celulares.

A título de ejemplo, diremos: **1)** Un cemento de grano extremadamente fino utilizado en la elaboración de un hormigón gaseoso a base de polvo de aluminio puede provocar en éste una reacción tan violenta que las burbujas de gas se

reunirán formando otras de mayor tamaño y escaparán de la mezcla. **2)** Las proporciones relativas de silicatos doble y triple de calcio y de aluminato de calcio provocarán, al producirse el fraguado del cemento, un desprendimiento de calor por hidratación de magnitud muy variable. Este efecto calorífico puede modificar sustancialmente la temperatura de la mezcla y, consecuentemente, cambiar el volumen de las burbujas que se desprendan.

En lo que se refiere a los agregados, las propiedades de los hormigones celulares variarán fundamentalmente con el tamaño de sus granos.

En general, la elaboración de mezclas para hormigones celulares requiere una elevada relación agua – cemento medida en peso. Su valor oscila generalmente entre 0,7 y 2. La razón más evidente de esta necesidad reside en la fineza de las materias primas utilizadas. Lamentablemente, esta circunstancia trae aparejado un serio inconveniente en los productos elaborados: una considerable retracción de los mismos en el caso de hormigones curados al aire.

Los agentes expansivos intervienen en los distintos procesos de elaboración siguiendo las modalidades indicadas más arriba, pero la incorporación de ciertos elementos en las mezclas puede hacer variar la marcha del fenómeno de expansión, estabilizando las burbujas o regularizando sus dimensiones y su proceso de formación.

Se indica a continuación distintos métodos para la elaboración de hormigones celulares:

A) <u>ELABORACIÓN DEL HORMIGÓN GASEOSO O "GASBETON":</u>

Los elementos esenciales que intervienen en su elaboración son: cemento, agua y una sustancia que produzca desprendimiento de gas.

Los elementos a utilizarse serán exclusivamente los enumerados cuando se quiera elaborar un hormigón de peso específico aparente seco muy reducido (del orden de 500 kg/m^3). Si, en cambio, se desea obtener un hormigón de mayor resistencia aunque menor capacidad aislante, la mezcla estará constituida por cemento, agua, agente de activación, y arena fina, pudiendo adicionarse agregados inertes livianos – como piedra pómez, escorias, etc. – cuya incorporación disminuye la cantidad necesaria de cemento por metro cúbico, para una resistencia a la compresión determinada.

Tipo 1) El procedimiento más utilizado es el que se basa en la combinación de hipoclorito de calcio y agua oxigenada.
Tipo 2) Como agentes de activación, destinados a producir el desprendimiento gaseoso, se han ensayado distintos polvos metálicos finamente divididos: aluminio, zinc, magnesio, calcio, bario, litio, etc.

Los mejores resultados han sido obtenidos con el polvo de aluminio.

Su grado de fineza influye preponderantemente sobre la velocidad con que se produce la reacción química, sobre el tamaño y número de los alvéolos y, consecuentemente, sobre la magritud del coeficiente de conductibilidad térmica del material que se elabora.

En líneas generales puede decirse que, a mayor fineza del polvo de aluminio, se obtiene – a igualdad de peso específico – una mayor resistencia como resultado de una mayor uniformidad en la distribución de los poros.

La cantidad de polvo de aluminio necesaria para elaborar un hormigón gaseoso de peso específico determinado depende – a igualdad de los demás factores – del tamaño de sus granos. En general, dicha cantidad oscila entre 0,25 y 0,50% del peso del cemento. Las experiencias de laboratorio realizadas con este tipo de hormigones revelan un mejor comportamiento cuando se utiliza reducida cantidad de polvo fino (que pasa por tamiz de 6400 mallas).

La reacción química básica que tiene lugar como resultado de la incorporación del polvo de aluminio a la mezcla es la siguiente:

$$2Al + 3Ca(OH)_2 = 3CaO.Al_2O_3 + 3H_2 \nearrow$$

El polvo de aluminio forma aluminatos con los compuestos alcalinos del cemento, liberando hidrógeno.

El volumen de gas realmente aprovechable alcanza al 40 a 50% del volumen teóricamente desarrollable. En efecto, la cantidad de polvo de aluminio a agregar para obtener un hormigón gaseoso que tenga un determinado volumen de poros (en % del volumen final) y para una determinada relación agua – cemento, puede ser calculada a priori. Sin embargo, no todo el gas producido queda retenido en la masa en forma de poros: una parte escapa a través de la pasta y otra reacciona una vez comenzado el endurecimiento del cemento, por lo cual escapa a través de las paredes.

Por otra parte, el grado de fineza del polvo de aluminio que se utiliza influye manifiestamente en la velocidad con que se producirá la reacción química correspondiente. En efecto, utilizando polvo de aluminio de grano grueso la gasificación dura entre 20 y 30 minutos; con polvo de grano mediano, de 1 á 2 horas y con polvo de grano fino, 2 á 2 1/2 horas.

Las experiencias realizadas demuestran que las cantidades porcentuales necesarias de polvo de aluminio con relación al peso del cemento pueden reducirse considerablemente regulando el pH del medio.

En efecto, se ha podido constatar que, aumentando la concentración iónica se consigue un mayor aumento de volumen, pareciendo ser que el valor óptimo del pH oscila alrededor de 13.

La incorporación a la mezcla de soluciones de NaOH al 10%, al aumentar la concentración iónica, permite reducir considerablemente las cantidades de polvo de aluminio necesarias para obtener un hormigón gaseoso de determinas características.

A) ELABORACIÓN DEL HORMIGÓN DE ESPUMA:

En la elaboración de hormigones de espuma han sido utilizados los siguientes tipos de agentes espumígenos:

a) detergentes
b) jabones resinosos y colas animales o vegetales
c) saponina (producto glucósido contenido en la saponaria, planta cariofilea)
d) sulfo – ácidos de la naftalina (estabilizados, por ejemplo, con geles de sílice)
e) resinas vinílicas
f) proteínas hidrolizadas, etc.

Existen diversos procesos de elaboración:

1.- La espuma se genera dentro de la mezcla. El agente espumígeno debe ser incorporado a la mezcla con posterioridad a todos los demás componentes. La velocidad aconsejada para la mezcladora es de 80 a 90 revoluciones por minuto. Concluido el período de mezclado, la consistencia de la mezcla debe ser cremosa. Mezclas más viscosas pueden dar lugar a la formación de grandes burbujas de aire, con la correspondiente disminución de las propiedades características del material que se elabora.

En términos generales, la cantidad de agente espumígeno requerido para obtener un peso específico aparente determinado dependerá de los siguientes factores:

a) tipo de mezcladora utilizada
b) cantidad de materiales componentes mezclados
c) consistencia de la mezcla
d) proporciones de la mezcla
e) duración del período de mezclado
f) tipo y calidad del agente espumígeno utilizado
g) velocidad de mezclado

variando entre el 2 y el 7% de cemento en peso.

2.- La espuma se genera en aparatos especiales. Posteriormente se incorpora a la mezcla como un agregado más, continuando el mezclado hasta obtener una mezcla tan homogénea como sea posible. El material así elaborado se colocará en los moldes cuidando de que no sufra vibraciones ni golpes para evitar que se produzcan pérdidas considerables de espuma.

El peso específico de la espuma variará entre 30 y 80 kg/m^3 y será preparada en soluciones de agentes espumígenos al 2 a 4%.

Espuma:

Uno de los agentes espumígenos más efectivos es el jabón resinoso, elaborado mezclando hidróxido de sodio con resina en la proporción 1:6.

Para incrementar la resistencia y estabilidad en las paredes de las burbujas de espuma se mezcla el jabón resinoso con cola de carpintero, utilizando una relación resina – cola de 1:1 ½. Son también conocidos los generadores de espuma a base de otros productos, pero la emulsión resina – cola ha sido utilizada preferentemente en la producción de losas para techo.

La emulsión resina – cola se elabora preparando una solución de cola de carpintero, hirviendo el jabón resinoso y, posteriormente, mezclando la solución de cola con el jabón resinoso.

La solución de cola se prepara embebiendo la cola en agua durante 1 a 1 ½ horas a 40 – 50º C hasta obtener un líquido homogéneo.

El jabón resinoso se prepara de la siguiente manera: se diluye la cantidad requerida de hidróxido de sodio con agua a una densidad de 20º Baumé controlada por un areómetro. Después, la solución alcalina es llevada al punto de ebullición y la resina, previamente separada en pequeñas piezas no mayores de 5 mm, es echada gradualmente en la solución en estado de ebullición, la cual es continuamente agitada durante el vertido. Se hierve la mezcla durante 1 ½ a 2 horas hasta que la resina se disuelva completamente y el jabón resinoso tenga un color homogéneo sin grumos ni granos.

Después de enfriar el jabón resinoso hasta 60º C, se vierte la solución de cola calentada hasta 40º C en pequeñas cantidades, agitando continuamente. La emulsión resultante se deposita en recipientes cerrados de madera.

Curado:

Los métodos de fabricación de hormigones celulares, que requieren una gran cantidad de agua de mezclado, traen como consecuencia que dichos productos sufran una considerable retracción – que puede sobrepasar los 5 mm/m- si son tratados en las condiciones normales de endurecimiento al aire.

Además, las experiencias demuestran que la hidratación total del cemento en hormigones celulares endurecidos al aire se produce al cabo de períodos muy prolongados. Esta circunstancia crea la necesidad de instalar grandes áreas de curado con la adecuada protección del sol y de las corrientes de aire y de disponer stocks de gran magnitud, con los inconvenientes que ello trae aparejado.

El tratamiento bajo presiones de vapor de 6 a 10 atmósferas a temperaturas comprendidas entre 150 y 200º C durante un período que varía entre 8 a 24 horas permite eliminar los inconvenientes mencionados. La duración de este tipo de curado y la presión del vapor dependen del peso específico y del hormigón y de las dimensiones de los elementos.

El método de curado tiene una gran influencia sobre la resistencia y la retracción de los hormigones celulares, dando lugar a productos de diferente calidad. El curado en autoclave permite obtener una resistencia muy superior (próxima a la resistencia definitiva) en un lapso mucho menor.

En términos generales puede decirse que con curado a presión se obtienen resistencias del orden del doble de los logrados con endurecimiento al aire.

II) HORMIGONES DE AGREGADOS LIVIANOS

Generalidades:

Resultan de la sustitución de los agregados minerales ordinarios (densos) que se utilizan en la elaboración de hormigones comunes, por agregados livianos inorgánicos u orgánicos.

La estructura que presentan estos hormigones es, aparentemente, semejante a la de los hormigones ordinarios, pero contiene en su interior una gran cantidad de alvéolos que ocupan un volumen considerable. Mientras en los hormigones celulares anteriormente descriptos los alvéolos están distribuidos uniformemente en su masa, los hormigones de agregados livianos presentan una distribución heterogénea de vacíos repartidos en los agregados.

Para que estos hormigones reúnan las características esenciales requeridas es indispensable que los agregados livianos estén repartidos de manera muy regular en la mezcla, que no estén colmatados por el mortero de cemento y que no presenten una gran absorción de agua.

Clasificación:

Existe una gran diversidad de agregados livianos de distintas propiedades, características y origen, utilizados en la elaboración de hormigones livianos, pudiendo ser clasificados éstos teniendo en cuenta el agregado que ha intervenido en su composición.

A) HORMIGONES DE AGREGADOS LIVIANOS INORGÁNICOS:

Pueden ser clasificados en dos grandes grupos:

1.- **Agregados naturales**, provenientes de yacimientos minerales y utilizados directamente después de diversas operaciones de molido y clasificación.

2.- **Agregados artificiales**, provenientes de una transformación térmica, efectuada por el hombre, de distintos productos minerales utilizados solos o en mezcla.

Dentro de la primera categoría pueden establecerse los siguientes subgrupos:

a) rocas de origen sedimentario
b) rocas de origen ígneo

En la segunda categoría

a) agregados provenientes de la transformación de substancias inorgánicas especialmente extraídas a tal efecto
b) agregados provenientes de la recuperación de residuos de substancias inorgánicas extraídas para otros usos.

1.- **Agregados naturales**

a) Rocas de origen sedimentario:

a_1) Tierras diatomáceas o diatomita o sílice fósil. Consiste esencialmente en residuos microscópicos del esqueleto silíceo de un organismo fósil. Presenta una contextura formada por innumerables poros y canales, con una densidad aparente muy reducida, lo que permite obtener un hormigón muy liviano, y por lo tanto, muy poco resistente. Como consecuencia, la capacidad de absorción de agua es considerable, debiendo tomarse precauciones especiales para evitar retracciones importantes y fisuraciones durante el período de fraguado y endurecimiento.

a_2) Conchillas calcáreas. Material frágil, de estructura laminar. Se lo utiliza previa trituración o al estado natural.

b) Rocas ígneas

b_1) Piedra pómez. Material de origen volcánico, de estructura celular esponjosa obtenida naturalmente por distensión de la materia bajo la acción de una fuerte presión de gas en su interior y un enfriamiento rápido.

Al estado natural se la encuentra en bancos de un metro o más de espesor, mezclada con cenizas volcánicas, detritos y esquistos, que deben ser eliminados por lavado y flotación, con lo que se reduce su peso específico aparente que, en estado seco, varía entre 500 y 700 kg/m^3

La piedra pómez mezclada con arena silícea o arena de pómez y cemento portland origina hormigones livianos de excelente calidad, de

peso específico aparente – para material suelto y seco – comprendido entre 650 y 1600 kg/m^3

b_2) Escorias volcánicas. Material de origen volcánico de células más grandes, menos numerosas y más irregulares que la piedra pómez. Su peso específico aparente para material suelto y seco varía entre 700 y 1500 kg/m^3.

b_3) Tobas. Cenizas volcánicas más o menos consolidadas en una roca porosa.

2.- **Agregados artificiales**

a) Especialmente fabricados

a_1) Arcillas y pizarras expandidas. Tienen la propiedad – cuando son calentadas rápidamente y a una temperatura adecuada – de dilatarse o hincharse, dando lugar a un producto poroso de estructura celular.

La materia prima proveniente de la cantera – previa trituración, molido y convenientemente mezclado – es introducida en hornos especiales cuya temperatura alcanza los 1100 a 1400º C en la zona más caliente. En ella el material arcilloso, en principio de fusión, se vuelve plástico, formándose una superficie de protección sobre las partículas. Mientras tanto, en el interior de la mezcla se produce un desprendimiento de gases provenientes del agua de combinación y principalmente de las materias combustibles y de los carbonatos que contienen las materias primas, o que pueden serle especialmente añadidas a tal efecto. Este desprendimiento gaseoso da lugar a la formación de pequeñas celdas que le proporcionan al material su configuración alveolar característica. Asimismo, se produce una notable expansión de las partículas arcillosas que origina una marcada rugosidad superficial.

Al ser descargado del horno el material se presenta bajo la forma de nódulos clinkerizados. Se procede entonces a un enfriamiento lento y a un posterior molido y tamizado.

Los alvéolos de las arcillas y pizarras expandidas tienen, en general, mayor dimensión que los de la piedra pómez, aumentando con el grosor de los granos, y pudiéndose graduar a voluntad regulando el tiempo de enfriamiento posterior al desprendimiento gaseoso.

Según el tamaño de los granos, el peso específico aparente del material suelto y seco varía entre 350 kg/m^3 para granos gruesos (9,5 a 19 mm) y 1200 kg/m^3 para granos finos (0 a 4,75 mm).

Las arcillas y pizarras expandidas son conocidas en la práctica bajo muy diversas denominaciones comerciales, a saber: Haydite, Cravelite,

Lytag, Porag, Rocklite, Nodulite, etc. y también se las designa clinker de arcilla, marga expansiva, etc. Particularmente, en el campo de la construcción ha sido adoptado el nombre de Haydite, denominación que proviene de su inventor Stephen Hyde quien, por primera vez, obtuvo un producto de las características mencionadas en el año 1913 en EE.UU.

En la elaboración de hormigones livianos a base de arcillas y pizarras expandidas la dosificación correspondiente dependerá del peso específico que se desee obtener.

a_2) Silicatos expandidos extra – livianos.

***)** Perlita. Roca volcánica vítrea compuesta de feldespato y silicato de alúmina, que contiene 2 a 5% de agua combinada, la cual no se elimina por simple secado sino solamente a la temperatura de fusión, provocando una expansión notable. El material así obtenido presenta una contextura de partículas o nódulos de forma perlada; de allí su nombre.

Entre las denominaciones comerciales de este producto se encuentran: Permalite, Superlite, Peralex, Ryolex, Agite, etc.

El peso específico aparente del material suelto y seco varía, según el tamaño de los granos, entre 150 y 250 kg/m^3

Los hormigones livianos elaborados a base de perlita tienen pesos específicos aparentes que varían entre 450 y 950 kg/m^3

***)** Vermiculita. Mineral de aspecto micáceo que, desde el punto de vista de su composición química, es un alúmino – silicato de hierro y de magnesio. Por calentamiento a una temperatura que varía entre 700 y 1300º C puede sufrir una expansión de 30 a 35 veces su volumen inicial. Dicha expansión es debida a la liberación de vapor de agua por efecto del calor y varía según el origen y la constitución de la vermiculita. Este proceso se denomina exfoliación.

La vermiculita exfoliada se presente, en general, bajo la forma de granos de diferentes tamaños, desde polvo fino hasta granos de 30 mm. el peso específico aparente del material suelto y seco es de 100 a 200 kg/m^3. El material triturado a la dimensión conveniente deberá sufrir un calentamiento brusco, y simultáneamente, un batido activo a efectos de regularizar la acción calorífica en toda la masa.

Los hormigones livianos a base de vermiculita pueden alcanzar pesos específicos aparentes variables entre 350 y 1200 kg/m^3.

b) Subproductos

b_1) Escorias. Residuos de la combustión del carbón en hornos industriales. Son materiales de estructura celular en que ciertas partes han sufrido un proceso de vitrificación; otras están constituidas por cenizas y el resto es carbón o coke sin consumir. Son materiales de naturaleza sílico – aluminosa con presencia de diversos áridos (calcio, magnesio, hierro, etc.) y ciertos compuestos de azufre.

Para su empleo como agregados en la elaboración de hormigones livianos es necesario tomar una serie de precauciones para asegurar un buen comportamiento.

Se utilizan esencialmente las escorias duras calcinadas que presenten rastros de fusión superficial, molidas y clasificadas según las granulometrías deseadas.

La presencia de granos de carbón sin quemar puede conducir a una inestabilidad del hormigón elaborado con estos agregados, debido a que, en presencia de la cal del aglomerante y de la humedad, da lugar a la formación rápida de eflorescencias.

El tenor máximo de materias combustibles aconsejado oscila entre 10 y 35%.

Asimismo, el porcentaje de sulfatos no debe pasar de 1% para evitar eflorescencias y la destrucción del producto por expansión.

Deberán realizarse ensayos de estabilidad para verificar el cumplimiento de las especificaciones precedentes.

b_2) Escorias granuladas de altos hornos. Producto obtenido por enfriamiento brusco de las escorias en fusión provenientes de altos hornos de la industria siderúrgica. El enfriamiento se produce por presencia de gran cantidad de agua que se agrega a tal efecto. Mediante el mencionado proceso se obtiene un material amorfo, de contextura vidriosa. El tamaño de los granos oscila entre 0 y 5 mm.

El peso específico del material suelto y seco (que varía entre 900 y 2000 kg/m^3) y la resistencia propia de este tipo de agregado varían con su composición química (en general, es tanto más liviano y menos resistente cuanto mayor es el tenor de óxido de calcio y menor el de hierro y manganeso), con su temperatura y con la velocidad de su enfriamiento a la salida del alto horno.

b_3) Escorias expandidas. Producto obtenido directamente a partir de escorias en fusión provenientes de altos hornos de la industria siderúrgica, de los que salen a una temperatura de 1400º C. Sometido el material a chorros de agua a presión en cantidad limitada y controlada que producen una gran evaporación y una agitación posterior, el vapor de agua se reparte en forma de burbujas en la masa

de las escorias. Al cabo del enfriamiento y solidificación se obtiene un material de gran estabilidad, lleno de poros regulares y bien formados. Después del molido y cribado correspondientes se obtienen las escorias expandidas bajo la forma de agregado liviano.

Los tamaños de granos utilizados preferentemente van de 0 a 0,15 mm, recibiendo el nombre de arena de escorias los agregados de este tipo cuyos granos oscilan entre 0 y 3 mm.

b_4) Cascotes de ladrillos. Material proveniente de los hornos de ladrillos o de la recuperación de escombros. Constituye un agregado liviano de mayor peso específico aparente que los descriptos anteriormente (peso específico del material suelto y seco: 900 a 1200 kg/m^3). Su porosidad depende de la naturaleza de las tierras utilizadas y del proceso de elaboración.

Si proviene de escombros, éstos serán triturados, cribados y clasificados en dos o tres grupos de acuerdo al tamaño de los granos. Se eliminarán los granos cuya dimensión sea inferior a 3 mm pues son los que contienen mayor cantidad de impurezas perjudiciales, en particular polvo de yeso, con lo que se logrará, además, una mejor adherencia con el cemento. Si se desea obtener granos finos se procederá a la retrituración de los elementos de tamaño superior.

B) <u>HORMIGONES DE AGREGADOS LIVIANOS ORGÁNICOS.</u>

En la elaboración de hormigones livianos se han empleado en distintas oportunidades, con resultados contradictorios, materiales de origen orgánico de los tipos y características más diversas.

En razón de su naturaleza todas estas substancias, utilizadas como agregados, dan origen a la obtención de hormigones extremadamente livianos y de excelentes cualidades aislantes pero de muy reducida resistencia a las acciones físicas y químicas.

En general, estos agregados presentan las siguientes características perjudiciales para la mezcla, que deben ser contrarrestadas:

1) Importantes cambios de volumen al variar el contenido de humedad.

2) Acción retardadora del proceso de fraguado y endurecimiento del cemento.

Con respecto al punto **1)** debe tenerse en cuenta que las variaciones de volumen del agregado fibroso, una vez incorporado a la mezcla, serán menores cuanto mayor sea el contenido de cemento. Sin embargo, como este último incremento trae aparejado un aumento de peso específico y de conductibilidad térmica, deberá estudiarse en cada caso la dosificación más conveniente. Asimismo, para lograr un buen comportamiento de los productos elaborados con

este tipo de hormigón, deberán ser sometidos a un adecuado estacionamiento previo a su utilización para lograr su conveniente desecación.

Por otra parte, ciertas substancias que entran en la composición química de los agregados fibrosos (tanino, carbohidratos solubles, aceites aromáticos, etc.), cuando su contenido es apreciable, afectan desfavorablemente el proceso de fraguado del cemento.

Los inconvenientes precedentemente expuestos tienden a resolverse mediante distintos procesos de pretratamiento de los agregados fibrosos, que reciben el nombre de mineralización por impregnación de aquéllos.

En efecto, los métodos que a continuación se describen aseguran la conservación del agregado fibroso dentro de la mezcla y neutralizan la acción de las substancias nocivas sobre el cemento. Además cumplen una función anticombustible; aumentan en cierta medida la dureza del agregado fibroso y disminuyen su capacidad de absorción y su higroscopicidad.

Existen dos procedimientos clásicas de mineralización:

1) Impregnar el agregado fibroso con soluciones salinas o básicas: cloruros, sulfatos, silicato de sodio, etc.

2) Empapar el agregado fibroso con una lechada de cal y posteriormente – una vez secado y endurecido – sumergirlo en una solución de silicato de sodio. (1:7 en peso)

Es habitual complementar el tratamiento utilizado con la incorporación de cloruro de calcio al agua de mezclado (5% del peso del cemento) como acelerador de fragüe. Esta adición logra que el proceso de fragüe comience antes que las substancias perjudiciales del agregado orgánico puedan afectar el cemento. La cantidad de cloruro de calcio que se incorpora es mayor que la habitualmente utilizada como acelerador de fragüe en hormigones comunes ya que la naturaleza absorbente del agregado impide el acceso de todo el cloruro al cemento de la mezcla.

Otro método de pretratamiento, utilizado por el Institut National du Bois, reemplaza el silicato de socio del procedimiento **1)** por una emulsión bituminosa. Se indica a continuación la fórmula utilizada para la elaboración de un hormigón, previo tratamiento del agregado orgánico:

A)	Agua	150 cm^3
	Agregado fibroso, humedad 15%	1250 cm^3
	Emulsión bituminosa de ruptura lenta	200 cm^3
B)	Cemento portland	500 cm^3
C)	Cal libre	118 g
	Agua	200 cm^3
	Cloruro de calcio	16 g
D)	Agua	100 cm^3

Numerosos ensayos realizados –entre otros por la Building Research Station – ha establecido que el uso de mezclas de cemento portland y cal hidratada en determinadas proporciones (1/3 a ½ de cal por cada parte de cemento en volumen) mejora las propiedades del producto por contrarrestar el efecto adverso del agregado orgánico en lo referente al proceso de fraguado y endurecimiento, aumentando a su vez la resistencia.

Los hormigones de agregados livianos orgánicos pueden ser clasificados en dos grupos:

1) Hormigones a base de aserrín, virutas y fibras de madera

2) Hormigones a base de otros agregados orgánicos.

1) <u>Hormigones a base de aserrín, virutas y fibras de madera:</u>

Tienen la particularidad de ofrecer características muy variables para las diversas especies vegetales. Muchas de ellas contienen tanino en cantidades apreciables, substancia que tiene la propiedad de reaccionar sobre el hormigón. Es, por lo tanto, preferible – con miras a evitar todo inconveniente ulterior – descartar todos los materiales ricos en tanino (roble, sauce, alerce, olmo, castaño, etc.), aconsejándose la utilización de maderas blandas: pino, abeto, alerce, álamo, etc.

La descomposición de la madera por efecto de la humedad produce el ácido húmico, cuya acción sobre los hormigones es particularmente nociva. En virtud de que la madera es susceptible de absorber importantes cantidades de agua, dando lugar a los efectos físicos consecuentes, es indispensable someterla previamente a uno de los tratamientos ya mencionados.

a) Aserrín.

Tiene particular importancia para la calidad del hormigón a elaborar la granulometría del aserrín, aconsejándose tamizarlo y utilizar sólo los elementos de grosores comprendidos entre 1 y 5 mm.

Una vez preparado y secado el aserrín, se lo mezcla con el cemento y luego se le agrega el agua necesaria, mezclando hasta obtener una consistencia

uniforme. Posteriormente se lo cuela y compacta como cualquier hormigón liviano.

Las dosificaciones son muy variables, oscilando las proporciones entre 1:1 y 1:5 (cemento : aserrín, en volúmenes sueltos). Los mejores resultados se han obtenido para las relaciones 1:2 y 1:3.

A medida que aumenta la relación cemento – aserrín se obtiene mayor resistencia, durabilidad y peso específico aparente y disminuye la capacidad de aislación térmica y la absorción del material.

Para cada dosificación existe una cantidad óptima de agua que produce la máxima resistencia. Para mezclas corrientes se considera aceptable una relación agua – cemento en peso de 1 a 1,25; para mezclas pobres dicho valor debe aumentarse a 2 ó 2,5.

La cantidad de agua a usarse en la mezcla es difícil de medir debido a la gran capacidad de absorción del aserrín. Considerando aserrín saturado, el exceso de agua – medido en relación al cemento – que debe agregarse varía entre 0 y 0,25. De lo que antecede se deduce que existe una relación agua – cemento óptima para cada tipo de aserrín.

Para obtener resultados favorables se aconseja tomas las siguientes precauciones:

a) El aserrín debe ser empleado con una humedad inferior al 50%

b) Se mezclará el aserrín con el cemento (a mano o mecánicamente) hasta obtener un color uniforme; luego se agregará el agua necesaria hasta lograr una mezcla trabajable y de consistencia uniforme, evitándose la formación de grumos.

c) El moldeo se efectuará por capas de 5 a 7,5 cm de espesor, convenientemente apisonadas.

d) Después de moldearse la mezcla se procederá a su curado durante un período mínimo de 7 días.

e) No se aplicarán cargas hasta después de 2 ó 3 semanas de colada la mezcla.

Las mezclas que se aconsejan son las comprendidas entre 1:2 y 1:3 (cemento-aserrín, en volúmenes sueltos). Con estas dosificaciones se obtienen elementos fácilmente aserrables y clavables, con resistencias a la rotura comprendidas entre 40 y 140 kg/cm^2 a los28 días y un peso específico aparente que oscila entre 900 y 1200 kg/m^3. Relaciones mayores (1:4 ó 5) conducen a resistencias muy reducidas y valores excesivos de retracción.

Con el agregado del 2 al 5% de cloruro de calcio puede acelerarse el fraguado con el doble propósito de que dicho proceso comience antes que las substancias perjudiciales de al madera puedan afectar al cemento y de poder desmoldar más rápidamente.

b) Virutas de madera:

Provienen de las máquinas cepilladoras usuales en carpintería. Después de haber sido eliminado el aserrín y previo tratamiento de mineralización, las virutas son mezcladas cuidadosamente con la cantidad de cemento correspondiente a la resistencia y al peso específico del hormigón que se desea obtener. Una vez que las virutas están perfectamente recubiertas de cemento y agregada el agua necesaria, la mezcla se cuela en moldes de forma apropiada, comprimiéndose ligeramente hasta obtener el espesor deseado. Posteriormente se procede al curado de práctica.

c) Fibras de madera:

Se obtienen de los residuos producidos por las máquinas cepilladoras especiales. Tienen la forma de cintas delgadas de 4 a 5 mm de ancho, 0,2 a 0,4 mm de espesor y longitud variable.

En la elaboración de hormigones con este tipo de agregado debe procederse previamente a la mineralización de las fibras por inmersión en grandes cubas que contienen las soluciones indicadas; luego se las sumerge en otros recipientes llenos de una espesa lechada de cemento. Algunas veces estas dos operaciones se efectúan combinadamente en un solo recipiente. A la salida da las cubas las fibras de madera son despojadas – por medio de sacudidas- del exceso de pasta de cemento.

A la mezcla de fibras y cemento no se le incorpora ningún agregado fino, de tal manera que este hormigón no difiere de los llamados hormigones cavernosos o "sin finos" más que en la forma muy particular, las dimensiones y la naturaleza de su agregado.

Las fibras recubiertas con la lechada de cemento son colocadas en moldes de forma y dimensiones apropiadas, siendo necesario – por la elasticidad de la mezcla – someterla a una compresión dentro de los moldes, regulando el espesor y la compacidad del elemento moldeado.

La presión debe ser mantenida durante 24 horas como mínimo para permitir el desmolde. Los elementos así obtenidos deberán sufrir un período de estacionamiento lo suficientemente prolongado para permitir un secado conveniente que impida la retracción ulterior, incompatible con la función que deberá cumplir en las construcciones.

2) <u>Hormigones a base de otros agregados de origen orgánico:</u>

Han sido ensayados con buenos resultados hormigones livianos a base de otros agregados de origen orgánico, a saber: paja; cáscara de arroz; cáscara de papas; vainas de porotos; desechos de cáñamo; lino; etc. Todos ellos poseen las características generales anteriormente señaladas, siendo indispensable someterlos a un tratamiento de mineralización previo a la elaboración de la mezcla.

a) hormigón de granulado de corcho:

Merece tratarse separadamente por sus características especiales. El corcho es un material microporoso estimándose que contiene alrededor de 12 millones de células por cm^3, lo que representa cerca del 95% de su volumen aparente. Por lo tanto, el granulado de corcho puede ser utilizado como agregado liviano cuando se desean obtener hormigones de peso específico muy reducido.

Dada la imposibilidad de aglomerar el granulado de corcho directamente con cemento portland, es necesario mezclarlo con un ligante especial antes de agregar el cemento.

El aspecto exterior del hormigón de granulado de corcho es semejante al de un hormigón cavernoso correctamente elaborado.

En su elaboración se recomienda utilizar el mínimo de agua de mezclado; ejecutar una mezcla muy homogénea mediante un mezclado prolongado; colocarlo cuidadosamente; proceder a un secado lento y evitar los golpes que puedan dar lugar a fisuraciones.

III) <u>HORMIGONES CAVERNOSOS O "SIN FINOS"</u>

<u>GENERALIDADES:</u>

Los hormigones cavernosos – también llamados "sin finos" o de textura abierta- son mezclas constituidas por agregados gruesos o medianos (con exclusión de finos) y cemento portland destinado a aglomerarlos.

Estos hormigones se diferencian esencialmente de los ordinarios en la granulometría de los agregados utilizados, obteniéndose la disminución de peso específico por la formación de grandes huecos en su masa como consecuencia de la supresión del agregado fino y por la reducción del porcentaje de cemento. Esto es posible por el hecho de que el aglomerante tiene como única función envolver los granos de agregado grueso y vincularlos entre sí, y porque el lugar ocupado en el hormigón ordinario por el agregado fino es reemplazado, en los hormigones cavernosos, por huecos colmados de aire.

<u>MATERIAS PRIMAS:</u>

El agregado a utilizar será duro, bien lavado, perfectamente redondeado o de forma cúbica, no debiendo contener arcillas, arenas ni carbonillas.

Mientras se cumplan las especificaciones precedentes podrán utilizarse tanto agregados ordinarios (pesados) como agregados livianos lográndose, lógicamente, con estos últimos, una mayor disminución del peso específico del hormigón que se elabora.

Las dimensiones límites del agregado son 5 y 30 mm, aunque se aconseja mantenerse en lo posible dentro de los 15 a 20 mm. De cualquier manera, lo que interesa es reducir al mínimo la diferencia entre las dimensiones de los granos extremos.

En cuanto a la cantidad de cemento queda dicho que será la indispensable para recubrir y adherir las diversas partículas. La proporción habitual es de 1 parte de cemento por 8 a 9 partes de agregados, medidas en volúmenes sueltos.

La posibilidad de reducir la cantidad de cemento se explica fácilmente teniendo en cuenta que la superficie desarrollada total de los agregados contenidos en un volumen dado de hormigón cavernoso es inferior a la de un hormigón que contenga, además, agregados finos. Por lo tanto, la considerable cantidad de cemento necesaria para recubrir estos últimos, se elimina.

Todo exceso de cemento no hará más que reducir el volumen de los huecos formados en el seno del hormigón cavernoso.

En cuanto al agua de mezclado, la cantidad a utilizar será la mínima necesaria para recubrir cada elemento de agregado con una fina película de lechada de cemento. El excedente de agua producirá el lavado de los agregados y colmatará los huecos. El hormigón se hará entonces más heterogéneo, con una mala distribución del cemento, un deficiente recubrimiento de los granos y consecuentemente, una apreciable disminución de la adherencia.

La relación agua – cemento en peso aconsejada oscila entre 0,25 y 0,50.

De lo que antecede se deduce la importancia de terminar la cantidad óptima de agua, siendo necesario para tal fin la ejecución de ensayos previos en cada caso.

En general, la relación agua – cemento en peso será de 0,4 a 0,5, dependiendo de la naturaleza y tenor de humedad de los agregados.

ELABORACIÓN:

Podrá realizarse en hormigones comunes. Debe mezclarse primeramente el agregado con una parte del agua si no es poroso; si fuera poroso y absorbente se lo humedecerá antes cuidadosamente. Luego se agrega el cemento mezclando simultáneamente y, finalmente, el resto del agua.

El tiempo de mezclado será de 2 a 3 minutos, o el que sea necesario para obtener una mezcla de color uniforme, con los granos bien recubiertos de lechada de cemento.

COLADO:

El hormigón se colará dentro de los 20 minutos de su elaboración. La compactación se hará por apisonado suave, evitando el vibrado que puede provocar la disgregación del material. Se hormigonará por capas sucesivas, colándose cada una antes que comience el endurecimiento de la anterior.

PROPIEDADES

Como ya se ha indicado reiteradamente la propiedad fundamental de los hormigones livianos – y tal como se deduce de la denominación genérica – es su reducido peso específico aparente, presentando, consecuentemente, una elevada capacidad de aislación térmica y relativamente bajos valores de resistencia.

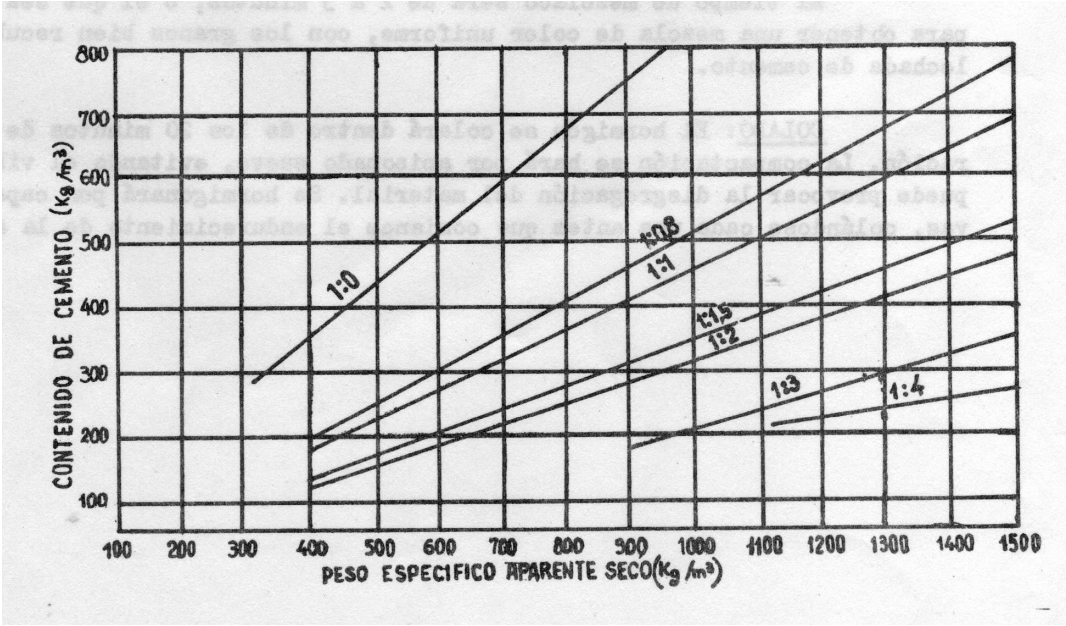
Teniendo en cuenta que los límites entre los cuales oscilan las características tecnológicas mencionadas varían con los distintos tipos de hormigones livianos, cada uno de los cuales presenta, además, características propias, corresponde considerarlos separadamente.

I.- HORMIGONES CELULARES:

a) Peso específico aparente:

Como ya se ha indicado en el capítulo correspondiente se podrán elaborar hormigones celulares de pesos específicos aparentes en estado seco comprendidos entre 300 y 1400 kg/m^3, según el procedimiento de fabricación que utilice y de la dosificación adoptada.

En la ***Fig. 1*** se representa la relación entre el peso específico aparente seco de los hormigones celulares y el contenido de cemento para distintas relaciones cemento – arena.



b) <u>Resistencia</u>

Depende de los siguientes factores:

1) Homogeneidad del hormigón
2) Dosificación (cemento, agregados y agua)
3) Peso específico
4) Procedimiento de curado (al aire o en autoclave)

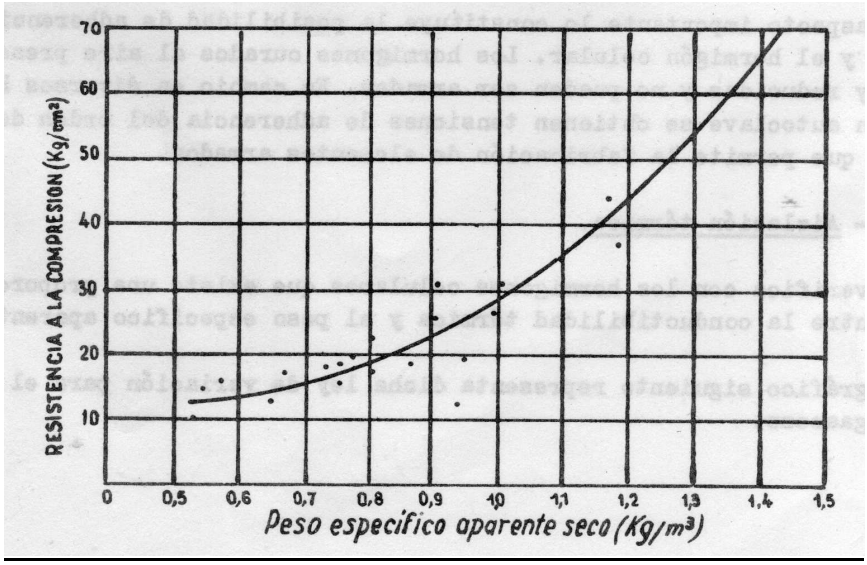
1) El procedimiento de elaboración tiene gran influencia sobre las propiedades de los hormigones celulares en general y sobre su resistencia en particular, existiendo la tendencia a presentar una mayor densidad en la parte inferior de las piezas moldeadas, y consecuentemente, distintas resistencias de una zona a la otra del mismo producto.

   En consecuencia, para obtener productos de resistencia uniforme deberá controlarse cuidadosamente el proceso de elaboración a efecto de asegurar la obtención de hormigones celulares homogéneos.

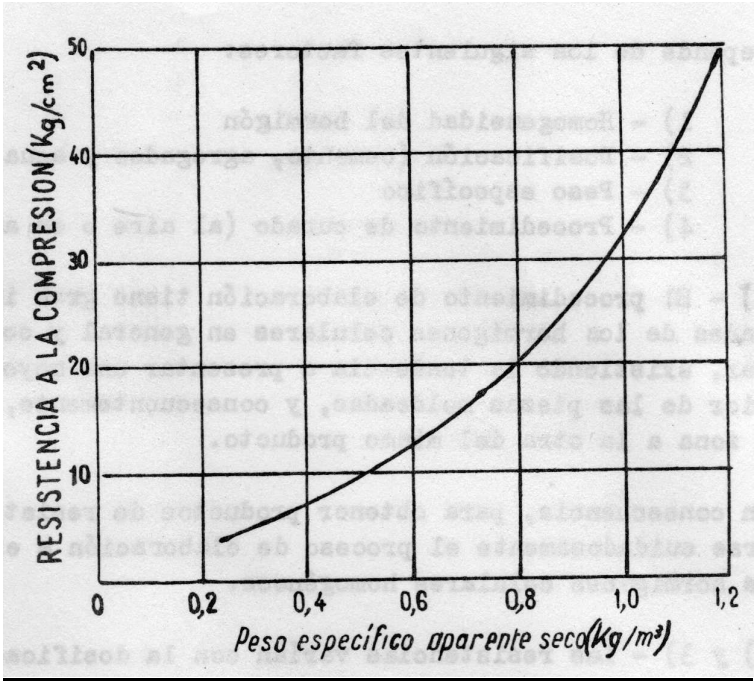
2) y 3) Las resistencias varían con la dosificación del cemento así como con su grado de fineza y su origen. Asimismo tienen gran influencia las características del agregado, la relación cemento – agregado y la relación agua - cemento.

   En términos generales la resistencia crece con el peso específico, pero cada tipo de hormigón celular tiene su propia ley de variación que no es aplicable a los productos elaborados mediante procesos diferentes.

Hormigón gaseoso a base de polvo de aluminio



Hormigón de espuma



4) En general, puede admitirse que los hormigones celulares curados en autoclave presentan resistencias a la compresión del orden del doble de los que corresponden a materiales semejantes curado al aire.

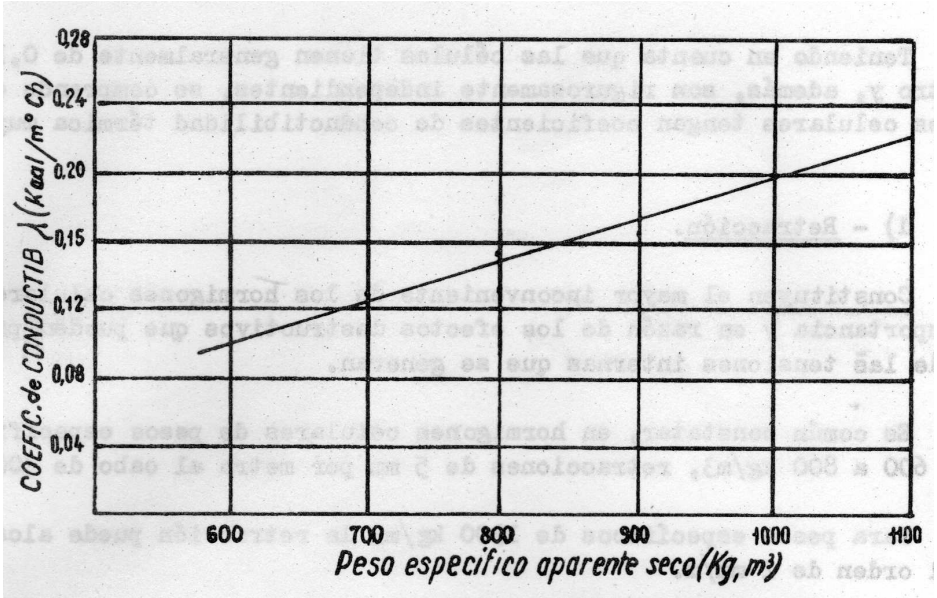
   Por otra parte el curado en autoclave permite obtener una resistencia muy superior (próxima a la resistencia definitiva) en un lapso mucho menor.

Un aspecto importante lo constituye la posibilidad de adherencia entre las armaduras y el hormigón celular. Los hormigones curados al aire presentan resistencias muy reducidas y no pueden ser armados. En cambio en diversos hormigones curados en autoclave se obtienen tensiones de adherencia del orden de 10 a 20 kg/cm^2, lo que permite la fabricación de elementos armados.

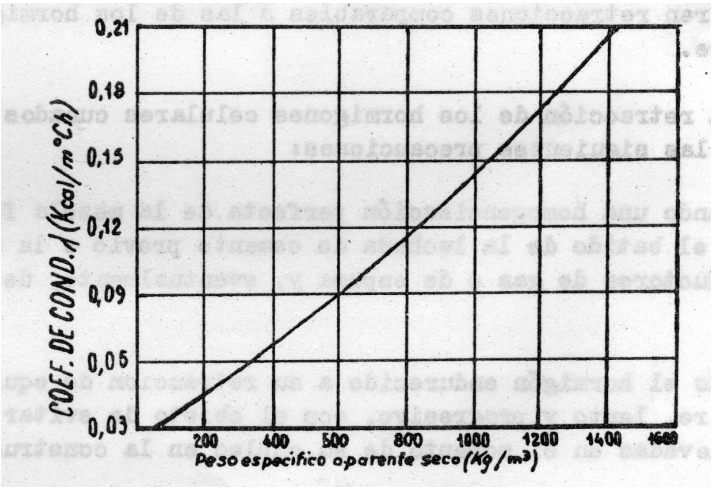
b) <u>Aislación térmica:</u>

Se verifica con los hormigones celulares que existe una proporcionalidad directa entre la conductibilidad térmica y el peso específico aparente seco.

El gráfico siguiente representa dicha ley de variación para el caso del hormigón gaseoso.



Para el hormigón de espuma la ley de variación es la siguiente



Es sabido que el aire alcanza su máximo poder aislante cuanto más pequeñas son las capas del mismo y menor es su movimiento. Estas dos condiciones se cumplen simultáneamente en los hormigones celulares los que, por este motivo, presentan excelentes cualidades como aislantes térmicos.

Como resultado de ensayos realizados con hormigones celulares se obtuvo que a 0º C de temperatura, el coeficiente de transmisión para una célula de 0,1 mm de diámetro es de 0,0207 y de 0,0378 para una célula de 5 mm. A 300º C se obtuvieron respectivamente los valores 0,04 y 0,1983 para las mismas células, siempre llenas de aire.

Teniendo en cuenta que las células tienen generalmente de 0,1 a 1 mm de diámetro y, además, son rigurosamente independientes, se comprende que los hormigones celulares tengan coeficientes de conductibilidad térmica muy reducidos.

d) <u>Retracción.</u>

Constituyen el mayor inconveniente de los hormigones celulares por su propia importancia y en razón de los efectos destructivos que pueden producirse a causa de las tensiones internas que se generan.

Es común constatar, en hormigones celulares de pesos específicos del orden de 600 a 800 kg/m^3, retracciones de 5 mm por metro al cabo de 300 días.

Para pesos específicos de 1300 kg/m^3 la retracción puede alcanzar valores del orden de 2 mm/m.

La retracción decrece a medida que aumenta el peso específico, y es prácticamente nula para hormigones celulares curados en autoclave.

Estos últimos, sin embargo, sometidos a humedecimientos y secados sucesivos, sufren retracciones comparables a las de los hormigones celulares curados al aire.

La retracción de los hormigones celulares curados al aire puede reducirse con las siguientes precauciones:

1. Asegurando una homogeneización perfecta de la mezcla fresca, especialmente mediante el batido de la lechada de cemento previo a la introducción de los agentes productores de gas o de espuma y, eventualmente, de los agregados inertes.
2. Llevando el hormigón endurecido a su retracción de equilibrio mediante un secado al aire, lento y progresivo, con el objeto de evitar tensiones internas demasiado elevadas en el momento de su empleo en la construcción.
3. Incorporando agregados livianos o cascotes triturados de productos celulares de modo de formar un verdadero hormigón de mortero celular.

Cualquiera sea el procedimiento de curado es necesario, para evitar el peligro de fisuración, que los productos elaborados sean tales que no sufran más que variaciones de dimensiones tan reducidas como sea posible bajo la acción de humedecimientos y secados sucesivos a los que pueden estar sometidos en el almacenaje y durante o después de la ejecución de la obra.

e) <u>Absorción de agua</u>

En virtud de su estructura característica, los hormigones celulares son capaces de absorber cantidades de agua muy reducidas. En efecto, los poros encierran aire o gas a una presión que difiere poco de la atmosférica. Cuando se sumerge y mantiene el hormigón en agua, ésta penetra por las paredes entre células hasta que se produce la igualación de presiones del agua y del aire o gas encerrado. Teniendo en cuenta el elevado porcentaje de vacíos con relación a los llenos, se deduce que dicha penetración será muy limitada.

La absorción de agua por capilaridad crece con la disminución de las dimensiones de las células, siendo de fundamental importancia que éstas presenten una contextura cerrada sin intercomunicaciones.

Esta propiedad es muy importante tanto en lo que concierne al comportamiento del material frente a la humedad de las construcciones como a su resistencia a los ciclos de congelación y deshielo.

La higroscopicidad es mínima y limitada. Su aumento de peso es de 13% a los 60 días y 21% al cabo de 360 días.

f) <u>Resistencia al fuego.</u>

Como consecuencia de su reducida conducción térmica y teniendo en cuenta que están constituidos por materiales inorgánicos e inertes, se deduce que los hormigones celulares presentan un buen comportamiento al fuego.

g) <u>Aislación acústica.</u>

La intensidad de las ondas sonoras es amortiguada por el paso sucesivo a través de las paredes de las células y de las capas de aire o gas en reposo encerrado en aquéllas. Por tal motivo, los hormigones celulares constituyen buenos aislantes del sonido, lo que ha sido comprobado por ensayos especiales de laboratorio que arrojan excelentes resultados en cuanto a la reflexión, transmisión y absorción del sonido.

h) <u>Posibilidad de ser clavados y aserrados.</u>

Los hormigones celulares son clavables y aserrables, dependiendo esta propiedad de la densidad y de la proporción de agregados duros. Cuanto más

pesado es el hormigón y mayor es la cantidad de agregados silíceos menor es la facilidad de ejecutar dichos trabajos. Desde este punto de vista, los elementos curados en autoclave – en que la sílice se transforma en silicato – son más fáciles de trabajar que ciertos hormigones fraguados al aire.

i) Fragilidad

El hormigón celular es un material bastante frágil, por lo que se hace necesario tomar precauciones durante su transporte y colocación en obra para evitar roturas. La fragilidad crece a medida que disminuye su peso específico.

j) Imputrescibilidad

Por estar constituidos por materiales inorgánicos e inertes, los hormigones celulares son completamente insensibles a la acción de las humedades y al consiguiente desarrollo de musgos y hongos. Es inatacable por los insectos, oxidaciones, etc.

II.- HORMIGONES DE AGREGADOS LIVIANOS

a) Peso específico aparente:

Con los diversos tipos de agregados livianos enumerados en el capítulo correspondiente se puede elaborar un gran número de hormigones de este tipo con distintos pesos específicos que dependerán de la naturaleza y composición de los agregados, la adición y la proporción de arena, el tenor de cemento, los procedimientos de compactación, la cantidad de agua, etc. Las características de los hormigones de agregados livianos variarán consecuentemente. Una idea comparativa para diferentes dosificaciones y para los principales agregados puede obtenerse observando el cuadro 2.

b) Resistencia

La resistencia de los hormigones de agregados livianos varía entre límites muy amplios con los mismos componentes y, además, varía con la resistencia propia del agregado. Por lo tanto, es posible considerar el problema desde dos puntos de vista diferentes según se busque obtener hormigones resistentes y, en consecuencia, de peso específico medio, o que se desee hormigones de reducido peso específico pero de menor resistencia.

Cuando se trata de ejecutar elementos de construcción armados (columnas, losas, vigas, etc.) la condición fundamental a cumplir es la resistencia del material. Existe el problema de la protección y adherencia de la armadura, lo que podrá exigir un aumento del tenor de cemento y de compacidad. En esta categoría se encuentran los hormigones que incluyen agregados livianos y ordinarios en proporciones adecuadas.

A igualdad de tenor de cemento, los hormigones más resistentes serán los más compactos o, por lo menos, los de textura menos abierta. Es así que los hormigones de agregados con granulometría variada sin discriminación tienen, en general, una resistencia menor que aquellos que resultan de una proporción racional de elementos gruesos y finos en el agregado.

Por el contrario, cuando se desea un hormigón de muy bajo peso específico, siendo suficiente una reducida resistencia, deberán utilizarse los menos compactos, que se lograrán mediante una compactación incompleta, con incorporación de aire o recurriendo a los agregados extra – livianos (vermiculita, perlita).

Esta situación se presenta cuando se trata de resolver problemas de aislación o de relleno.

c) <u>Aislación térmica.</u>

El coeficiente de conductibilidad térmica de los hormigones de agregados livianos varía en relación directa con su peso específico. Es, en general, muy reducido, pudiendo descender – para los hormigones de vermiculita – a la décima parte del valor correspondiente a los hormigones ordinarios. El término medio oscila alrededor de 0,2 kcal/mºCh. para un peso específico aparente seco del orden de los 1200 kg/m^3, es decir ¼ a 1/5 del que corresponde a los hormigones ordinarios, pero puede ser menor aún si se disminuye el peso específico.

Asimismo dicho coeficiente puede llegar a 0,5 o más para hormigones ricos en cemento, más compactos o elaborados con agregados menos porosos.

d) <u>Retracción.</u>

En términos generales puede decirse que la retracción de los hormigones de agregados livianos es dos veces superior a la de los hormigones ordinarios. Se atribuye el hecho a la mayor cantidad de agua de mezclado, a la mayor porosidad de estos hormigones y, en parte, a la mayor deformabilidad de los agregados bajo el efecto de las tensiones internas debidas a la retracción de la lechada de cemento. Se ha constatado que ciertos agregados dan lugar a retracciones más elevadas que otros, a igualdad de las demás condiciones.

Después de una conservación durante 90 días al aire, con una humedad aproximada del 50%, la retracción puede alcanzar valores comprendidos entre 0,5 y 1 mm por metro pudiendo llegar hasta 1,5 a 1,7 mm por metro o más, según la granulometría y deformabilidad de los agregados, el tenor de cemento, la cantidad de agua de mezclado y el grado de compactación del hormigón.

Los hormigones de vermiculita y de perlita – de gran absorción – han sufrido retracciones superiores a los 2 mm por metro.

Sin embargo, el módulo de elasticidad más reducido de los hormigones de agregados livianos, la mayor compresibilidad de algunos agregados livianos, la

relación entre la resistencia a la tracción y la resistencia a la compresión, bastante más elevada que la de los hormigones ordinarios, permiten a los hormigones de agregados livianos sufrir sin fisuración deformaciones de retracción más importantes.

Por consecuencia, es necesario efectuar una cuidadosa selección de los agregados y de la composición del hormigón y, además, tomar las precauciones necesarias para reducir la retracción, especialmente para impedir que el comienzo del endurecimiento se produzca muy rápidamente, para lo cual deberá mantenerse húmedo el hormigón durante un tiempo suficiente.

d) Absorción de agua.

El peso específico de los hormigones de agregados livianos varía entre límites tan amplios que es necesario, para poder comparar capacidades de absorción, expresar éstas en porcentajes de agua con relación al volumen aparente del hormigón y no con respecto al peso del mismo. Dichos valores oscilan entre 18 y 30% y, excepcionalmente, 40%. En los hormigones ordinarios varían entre 7,5 y 23%.

Teniendo en cuenta que la presencia de agua dentro de la estructura porosa están íntimamente vinculada con el deterioro de los hormigones sometidos a congelación, se deduce que existe una relación directa entre la absorción de agua y la durabilidad. Cuanto mayor es el porcentaje de cemento mayor es la resistencia del hormigón a ciclos de congelación y deshielo.

f) Resistencia al fuego

De una manera general puede decirse que todos los hormigones de agregados livianos ofrecen una buena resistencia al fuego, muy superior a la de los hormigones ordinarios de agregados silíceos. Dentro de ellos se destaca especialmente el hormigón de vermiculita que constituye uno de los mejores materiales de protección contra la propagación del fuego.

g) Aislación acústica

La existencia de cámaras de aire en la textura de los hormigones de agregados livianos hace que éstos ofrezcan resistencia al paso del sonido.

En el valor de la conductibilidad acústica influyen el peso específico del hormigón, la naturaleza del agregado y el proceso de fabricación, siendo posible encontrar – a igual peso específico aparente seco – valores muy diferentes.

h) Posibilidad de ser clavados y aserrados

La posibilidad de ser clavados es función, por una parte, de la dureza propia de los agregados; de la presencia o no de arena natural en la composición del hormigón y del tenor de cemento. Los hormigones de cascotes de ladrillos, de escorias granuladas pesadas, de arcillas y pizarras expandidas no son fáciles de clavar cuando el tenor de cemento es elevado. Por el contrario, los hormigones

de piedra pómez, de escorias expandidas, de escorias granuladas livianas, de perlita, de vermiculita, de escorias, se clavan fácilmente.

La mayor o menor facilidad con que los hormigones de agregados livianos pueden ser aserrados con la sierra común depende de los mismos factores que la posibilidad y facilidad de ser clavados, pero es mayor la influencia del grado de dureza de los agregados. Así, son fácilmente aserrables los hormigones extra – livianos de perlita y vermiculita, de piedra pómez y de escorias expandidas (con excepción de dosificaciones con alto contenido de cemento). Por el contrario no presentan tal propiedad los hormigones de arcillas y pizarras expandidas, de escorias, escorias granuladas y cascotes de ladrillos. La presencia de arena natural en cualquier tipo de hormigón de agregados livianos lo hace difícil de aserrar.

i) Inercia química

La estabilidad de los hormigones de agregados livianos puede verse afectada en los casos en que los agregados utilizados contengan impurezas susceptibles de provocar reacciones ulteriores a su colocación en obra. Tal situación podrá producirse, por ejemplo, con las escorias de hierro o los residuos de pizarras que pueden contener productos nocivos o materias combustibles sin quemar. Este riesgo puede disminuirse considerablemente si dichas materias son sometidas a un tratamiento previo de cocción destinado a producir su expansión. La transformación a elevada temperatura así realizada contribuye a la destrucción de una proporción importante de elementos nocivos.

III) HORMIGONES CAVERNOSOS O "SIN FINOS"

a) Peso específico aparente.

Según el peso específico aparente seco, pueden ser agrupados en dos categorías:

1) Hormigones cavernosos de agregados ordinarios, cuyo peso específico aparente seco es inferior al de los hormigones comunes debido a que contienen una proporción relativamente importante de huecos, pudiendo variar entre 1600 y 1900 kg/m^3.

2) Hormigones cavernosos de agregados livianos, cuyo peso específico aparente oscila entre 700 y 1000 kg/m^3.

b) Resistencia.

Para contenidos de cemento entre 150 y 250 kg/m^3 la resistencia a la compresión a los 28 días de los hormigones cavernosos varía entre 12 y 90 kg/cm^2. A igualdad de tenor de cemento, la resistencia es, en general más reducida con escorias y piedra pómez y más elevada con cascotes de ladrillos, piedras trituradas y grava.

Para la mayor parte de las aplicaciones corrientes, sólo se requiere una resistencia de 20 a 25 kg/cm^2.

La resistencia a la tracción por flexión es del orden de ¼ de la resistencia a la compresión.

c) <u>Aislación térmica.</u>

Depende de los siguientes factores: su estructura porosa; la textura de sus agregados y la proporción de pasta de cemento en la mezcla.

El coeficiente de conductibilidad térmica λ adquiere los siguientes valores (expresados en kcal/m.h.ºC):

0,14 a 0,20 para hormigones de piedra pómez
0,20 a 0,30 para hormigones de escorias
0,35 para hormigones de cascotes
0,50 a 0,55 para hormigones de piedra

d) <u>Retracción</u>

Como consecuencia de la reducida cantidad de agua que se requiere para su elaboración los hormigones cavernosos sufren retracciones reducidas, del orden del 50% de los que corresponden a hormigones ordinarios elaborados con el mismo agregado.

A igual granulometría y tenor de cemento los valores obtenidos a los 90 días fueron:

- Hormigones cavernosos de escorias o piedra pómez: 0,4 a 0,5 mm/m
- Hormigones cavernosos de agregados pesados (piedra): 0,25 a 0,3 mm/m

Una particularidad destacable es que dichas retracciones tienen lugar rápidamente (30 a 50% a los 10 primeros días)

e) <u>Absorción de agua.</u>

Debido a las dimensiones relativamente importantes de sus vacíos, gran parte del agua absorbida por inmersión escapa posteriormente a su emersión. Por este motivo, el porcentaje de agua absorbido y retenido es muy inferior para los hormigones cavernosos que para los ordinarios.

La capacidad de absorción de agua por capilaridad es del orden del 50 a 75% de la que corresponde a los hormigones densos.

Asimismo, resisten bien los ensayos de congelación.

f) <u>Posibilidad de ser clavados</u>

Todos los hormigones cavernosos de agregados livianos son clavables, no así los de agregados ordinarios.

APLICACIONES

Tal como se ha manifestado reiteradamente, las principales características de los hormigones livianos son su reducido peso específico aparente y su excelente comportamiento como aislante térmico.

Con su utilización es posible asegurar un excelente confort en las habitaciones mediante el empleo de materiales en cantidades sensiblemente menores que si se usaran los materiales tradicionales. Como las cualidades de resistencia de los hormigones livianos son satisfactoriamente para la función que están llamados a cumplir, es posible ejecutar, gracias a ellos, construcciones livianas con apreciables resultados en cuanto a su economía y durabilidad.

En efecto, el reducido peso específico de los hormigones livianos es un factor determinante en la economía del proyecto, ya que permite obtener secciones resistentes mucho menores. Además, la elevada capacidad aislante los convierte en el material por excelencia, ya que une a las condiciones de higiene, durabilidad e inatacabilidad por agentes climáticos (con la única excepción de los hormigones a base de agregados orgánicos), e inapreciable mérito de suministrar ambientes prácticamente insensibles a las variaciones exteriores de temperatura.

En el ámbito de los hormigones, la reducción del peso específico – buscando obtener un material que reuniera las ventajas apuntadas – se ha logrado siguiendo diversos caminos que han conducido a la elaboración de los distintos tipos de hormigones livianos ya descriptos. Del análisis de todos ellos se desprende la existencia de dos tendencias perfectamente diferenciables:

1.- La disminución del peso específico se obtiene a través del mejoramiento de las técnicas aplicadas al material tradicional. Es el caso de los hormigones a base de agregados livianos – inorgánicos u orgánicos – que no representan sino diversas etapas de la evolución por el camino más directo.

2.- La disminución del peso específico se logra buscando un material absolutamente nuevo cuya elaboración requiere la colaboración de técnicas no tradicionales. En el caso de los hormigones celulares en los que se combinan adecuadamente la técnica usual del hormigón con procedimientos derivados de la industria química.

En cuanto al tipo de hormigón liviano a utilizar, la elección depende, evidentemente, del problema a resolver. Debe tenerse presente asimismo que no existe, en materia de construcción, una solución única sino diversas alternativas cuya adopción estará supeditada a diversas circunstancias de orden técnico y económico.

No obstante ello, y en virtud de que las cualidades de resistencia y aislación térmica varían de uno a otro tipo de hormigón liviano, pueden hacerse algunas indicaciones que orienten hacia una correcta elección del material.

Si la resistencia es el elemento esencial requerido y la aislación térmica sólo una consecuencia favorable, se ve que los hormigones de agregados livianos inorgánicos permiten trabajar sobre una gama más extensa que los hace preferibles sobre los hormigones celulares y cavernosos. Será necesario realizar severos controles y asegurar una cuidadosa elaboración que permitan obtener las más altas resistencias posibles.

Asimismo, debe tenerse presente que ciertos elementos de hormigón celular curados en autoclave pueden ser armados, lográndose así productos de elevada resistencia.

Puede decirse igualmente que, si se busca simultáneamente resistencia y liviandad, un hormigón celular curado en autoclave será, sin duda, preferible a un hormigón de agregados livianos o a un hormigón cavernoso.

Si, por el contrario, el factor predominante es la aislación térmica, debe tenerse presente que, a igualdad de peso específico aparente, ciertos hormigones de agregados livianos pueden reunir mejores condiciones que los hormigones celulares. Sin embargo, éstos últimos tienen la ventaja de poder alcanzar pesos específicos aparentes inferiores a los de aquéllos.

Si la resistencia no tiene absolutamente ninguna importancia y solo interesa la capacidad aislante, podrá escogerse entre los hormigones a base de fibras de madera, los hormigones de vermiculita y análogos y los hormigones celulares muy livianos.

Se indican a continuación los respectivos campos de utilización de los distintos tipos de hormigones livianos, enumerándose sus aplicaciones más importantes.

I) <u>HORMIGONES DE AGREGADOS LIVIANOS</u>

A) AGREGADOS INORGÁNICOS.

Monolítico (moldeado en el sitio): muros y tabiques; contrapisos y revestimientos aislantes; revoques ignífugos (hormigón de vermiculita).

Elementos premoldeados: bloques y placas para muros y tabiques; ladrillones para entrepisos y techos; revestimiento de conductos de humo (hormigón de puzolanas)

B) AGREGADOS ORGÁNICOS.

Monolítico: Aislación bajo pisos

Elementos premoldeados: placas aislantes para tabiques, techos y entrepiso; bloques para muros; ladrillones para techos.

II) HORMIGONES CELULARES

Monolítico (moldeado en el sitio): contrapisos y revestimientos aislantes; rellenos aislantes.

Elementos premoldeados: bloques para relleno y portantes; placas aislantes para tabiques; losas portantes para techos y entrepisos (curados en autoclave y armadas); placas para revestimiento de conductos de aire acondicionado; placas no portantes para aislación de techos.

III) HORMIGONES CAVERNOSOS

Monolítico: Muros.

HORMIGONES CELULARES ELABORADOS EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

Se indican a continuación las características principales de los hormigones celulares que se elaboran en la República Argentina.

- BETONIT - (Betonit S.R.L. - Paraguay 643 - Capital)

Materias primas: Cemento portland, arena silícea fina, agente espumígeno, agente estabilizador, agua.

Procedimiento de fabricación: Vía mecánica (hormigón de espuma)

Curado: Al aire

Propiedades: Peso específico aparente seco: 200 a 1600 kg/m^3
Resistencias 7 a 30 kg/cm^2
Conductibilidad térmica: λ 0 0,04 a 0,23 $\frac{kcal}{m\ h^o\ C}$

Aplicaciones: Moldeado en el sitio: contrapisos y revestimientos aislantes
Moldeado en fábrica: bloques ; placas para tabiques; aislantes y para revestimientos conductos de aire acondicionado.

- ESPHOR - (Industria Pétrea Esphor - Perú 263 - Capital).

Materias primas: ídem anterior

Procedimiento de fabricación: Vía mecánica (hormigón de espuma)

Curado: Al aire

Propiedades: Peso específico aparente seco: 350 a 700 kg/m^3
Resistencia: 15 a 35 kg/cm^2
Conductibilidad térmica: λ - 0,048 a 0,12 $\frac{kcal}{m\ h^o\ C}$

Aplicaciones: Moldeado en el sitio: contrapisos y revestimientos aislantes.
Moldeado en fábrica: bloques; placas para muros y techos aislantes y para revestimiento de conductos aire acondicionado .

- SIHLPUMEX - (S.I.H.L. Sociedad Industrial del Hormigón Liviano S.R.L. - Calle 13 y 527 - La Plata).

Materias primas: Cemento Portland, cal, arena silícea, agente espumígeno, agua.

Procedimiento de fabricación: Vía mecánica (hormigón de espuma).

Curado; En autoclave a 180° C y 10 atmósferas

Propiedades: Peso específico aparente seco: 350 a 800 kg/m^3
Resistencia: 10 a 50 kg/cm^2
Conductibilidad térmica: λ = 0,04 a 0,11 $\frac{kcal}{m\ h^o\ C}$

Aplicaciones; Placas para muros, entrepisos y techos.

- SIPOREX - (Siporex Argentina S.R.L. - Av.Avellaneda 980 - Olavarría. Representante en Buenos Aires: Jorge J. Perrin - H. Yrigoyen 2531 - Capital).

Materias primas: Cemento Portland, sílice, polvo de aluminio, agente químico, agua

Procedimiento de fabricación: Vía química (hormigón gaseoso).

Curado: En autoclave.

Propiedades: Peso específico aparente seco: 400 a 700 kg/m^3
Resistencia: 20 a 55 kg/cm^2
Conductibilidad térmica: λ 0,085 a 0,135 $\frac{kcal}{m\ h^o\ C}$

Aplicaciones: Losas para techos, entrepisos y paredes; placas aislantes

Clase			Composición Cantid. refer. a 1 bolsa de cemento (50 kg)	Cemento por m3 de h° kg	Peso esp. aparente seco kg/m3	Resist. cúbica 28 días kg/cm2	Coef. de conduct. térmica kcal/m°Ch	Fuente bibliográfica
HORMIGONES CELULARES	Hormigón gaseoso	Tipo 1	50 kg cemento portland 18 kg puzzolanas 59,5 kg arena 0,55 l agua oxigenada 40% c/5% saponina 3,85 l lechada hipoclorito de calcio (1 p.agua 1,5 p.$CaOCl_2$, en peso) 61,5 l agua	240/270	900/1000	17/23		O. Graf (p.29.30)
		Tipo 2	50 kg cemento portland 0/152kg arena fina 105/129 g polvo fino de aluminio 29/38 l agua		640/1280	15/50		Aluminium Paint and Powder
			50 kg cemento portland 50 g polvo fino de aluminio 23 l agua		900/1200	25/45	0.18/0.24	Mimeógraf. h°porosos (p. 5)
	Hormigón de espuma	Tipo 1	50 kg cemento portland 22 kg arena 0,28 kg emulsión de resinas vinílicas 35 l agua	450	700	60	0,10	Rev. Des Materiaux (p.370,2)
		Tipo 2	50 kg cemento portland 50 kg arena fina 50 kg emulsión (resina:cola:NaOH=1:1½:6) 50 l agua	230	750	20	0.07/ 0.09	ACI J-S49 (p.38/40)
HORMIGONES CAVERNOSOS o "SIN FINOS"			50 kg cemento portland 500 kg canto rodado o pied.partid.Pe=1800 20 kg arena		1650	52	0,756	J.P.Levy (p.18)
			50 kg cemento portland 180/200 kg piedra pómes Pe= 640 20 l agua		720/940	18/21	0.16/0,21	"
			50 kg cemento portland 175 kg escorias Pe= 700 20 l agua		820/950	18/24	0,21/0,30	Dutron (tabla)
			50 kg cemento portland 360 kg cascote ladrillos Pe=1100 22,5 l agua		1080/1250	22/35		"
HORMIGONES DE AGREGADOS LIVIANOS	H°. de Agregados Livianos Inorgánicos	H°. de Agregados Naturales	H°.de Rocas Ígneas — H°.de Piedra Pómes	50 kg cemento portland 182 kg piedra pómes (0/2 mm) 30 kg piedra pómes (2/9 mm) Pe= 640 44 l agua		955	78		C.P.N°4 (p.16)
				50 kg cemento portland 212 kg piedra pómes (0/2 mm) 37,5 l agua		1015	67		"
				50 kg cemento portland 197 kg piedra pómes (o/25 mm) 47 kg arena fina 54 l agua (a/c = 1,08)	200	1160	45/50		R.Dutron (tabla) J.P. Levy (p. 104)
			H°.de Rocas Ígneas — H°. de Esc. Volcán.	50 kg cemento portland 91 kg puzzolanas (0/5 mm) 24 kg puzzolanas (5/15mm) Pe= 747 25 l agua		1420	92		J.Chefdeville (Cah29.p.x)
				50 kg cemento portland 145 kg puzzolanas (0/5 mm) 25 l agua		1220	32		"

Clase				Composición Cantid. refer. a 1 bolsa de cemento (50 kg)	Cemento por m3 de h° kg	Peso esp. aparente seco kg/m3	Resisten. cúbica 28 días kg/cm2	Coef. de conduct. térmica kcal/m°Ch	Fuente bibliográfica
HORMIGONES DE AGREGADOS LIVIANOS	Hormigones de Agregados Livianos Inorgánicos	Hormigón de Agregados Artificiales	Hormigón de Agreg.espec.fabricad. H.arc expan	50 kg cemento portland 320 kg arcillas expandidas(0/25mm) Pe= 900	130	900	25	0,20	R. Dutron (tabla)
				50 kg cemento portland 217 kg perlita (0/15 mm) Pe= 150	250	640	15	0,10	"
			H.de silic.expand.extra liv.	50 kg cemento portland 53 kg vermiculita (0/15 mm) 0,33 l emulsionante 167 l agua Pe= 160		350	4	0,06	Pampas (folleto)
				50 kg cemento portland 32 kg vermiculita 0,2 l emulsionante 100 l agua		450	13	0,08	"
			Hormigón de Sub-productos H°. de escorias	50 kg cemento portland 117 kg escorias (3/15 mm) Pe= 700 28 l agua	320	1170	63	0,30	J.Chefd. (Cah.29-p.X Dutron(tabl
				50 kg cemento portland 190 kg escorias (2/20 mm) 200 kg arena 70 l agua		1700	54		J.P.Levy (p/104)
			H.de esc.gran.alhor.	50 kg cemento portland 430 kg esc. gran. altos hornos Pe=1300	165/180	1600/1900	17/20		"
				50 kg cemento portland 170 kg esc. gran. altos hornos 99 kg arena	280	1900	50	0,42	Dutron (Tabla)
				50 kg cemento portland 267 kg esc. gran. altos hornos Pe= 800	165	1000	11	0,21	"
			H°.de escorias expand.	50 kg cemento portland 107 kg esc. exp. (0/10 mm) Pe= 913 61 kg " " (10/30mm) Pe= 913 21 kg " " (30/60mm) Pe= 641 20 l agua		1319	56		Chefdeville (Cah.29.p. XII)
				50 kg cemento portland 82 kg esc. exp. (0/10 mm) 91 kg " " (10/30mm) 32 kg " " (30/45mm) Pe= 641 45 kg arena 31 l agua		1469	89,60		"
			H.de casc.de lad.	50 kg cemento portland 215 kg casc. ladr. (2/20 mm) Pe=1100 129 kg " " (0/20 mm)	200	1550	70	0,5	Dutron (tabla)
				50 kg cemento portland 246 kg casc. ladr. (2/20 mm) 165 kg arena	210	1700	95	0,54	"
	Hormigón de Agregados livianos Orgánicos	Madera	Aserrín	50 kg cemento portland 28 kg aserrín Pe= 200 100 l agua		640	17		
				50 kg cemento portland 21 kg aserrín 62 l agua		880	49		"
				50 kg cemento portland 14 kg aserrín 50 l agua		1200	123		"
		Ot.Agreg	Gran.de corcho	50 kg cemento portland 31 kg granulado de corcho Pe= 260 192 kg arena					C.Inf.Ind. Cim.Belge (p.22)

BIBLIOGRAFÍA

•"Les bétons légérs", J.P. Levy
•"Etude sur les bétons légérs", R. Dutron
•"Les bétons légérs", Centre d´Information de l 'Industrie Cimentiere Belge.
•"Hormigones ligeros". F. M. Lea. Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento.
•"Les bétons légérs", M.J. Chefdeville. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment, Enero 1949. Cahier 29. página 1
•"Lightweight concrete", The Concrete Association of India.
•"Hormigones livianos", N. J. Ottonello.

I) - HORMIGONES CELULARES

- "Cellular concretes", R.C. Valore. American Concrete Institute Journal mayo/54 página 773 y junio/54 página 817.
- "Manufacture of reinforced foam concrete roof slabs", I.T. Koudriaahoff American Concrete Institute Journal - septiembre/49 página 37.
- "Les bétons cellulaires". G.Demarre. Révue des Materiaux de Construction Cahier du Centre Scientifique et Technique du Batiment Cahier 30 enero/49.
- "Les bétons cellulaires francais", J.P. Levy. Révue des Matériaux 1951
- página 369.
- "Aerated concrete". Indian Concrete Association. Volumen 26 página 79.
- "Le béton gazeux, matériau moderne de construction", G. Burkhardt. Révue des Matériaux 1950 página 61.
- "Calcul des densités et des compositions dans la fabrication du béton
- cellulaire", A. Verhulst. Révue des Matériaux 1952 pagina 144.
- "Le béton au gaz", Serv. de la Documentation au Ministere de la Reconstruction et de l' Urbanisme. Révue des Matériaux 1948 página 199.
- "Le béton légér en Allemagne", F.O. Anderegg. Rock Products marzo/48 página 169.
- "Etude sur le retrait du béton cellulaire", R. Senouillet. Révue des Matériaux 1954, Página 314, 353.
- "Hormigón gaseoso. Hormigón espumoso. Hormigón a cal liviano", O. Graf
- "El hormigón ligero en Suecia", G.A. Rychner. Informes de la Construcción (Madrid) Nº 56.
- "Aerated concrete". Conorete Building and Concrete Products. Noviembre 1950 página 251.
- "Sur le béton légér a grande résistance", B. Le Lan. Révue des Matériaux 1952 Página 316, 347.
- "Lightweight concrete in Germany", PVO. Anderegg. Rock Products marzo 1948 página 169.
- "Les bétons légérs". Centre d 'Information de l 'Industrie Cimentiere Belge.
- "Historique et utilisation des bétons allégés", A. Verhulst. Révue des Matérizux 1952 página 113 (con bibliografía).

II) - HORMIGONES DE AGREGADOS LIVIANOS
Agregados Inorgánicos

- "La vermiculita. Propiedades y aplicaciones", A. Pasta. Cemento Hormigón agosto/49 Nº 15 página 236/9.
- "Quelques aspects techniques et économiques de la fabrication et l'emploi des bétons légérs et de l'utilisation des déchets de l'explotation houillére dans la construction", A. Jarrige. Révue des Matériaux 1954 página 343 7 1955 página 1.
- "Lightweight structural concrete. Proportioning and control", G. E. Nelson y 0. C. Frei. American Concrete Institute Journal enero/58 (pizarras expandidas).
- "L'emploi rationnel des agrégats pour béton", J.P. Levy. Batir abril/53 (agregados inorgánicos y orgánicos)
- "Tests of lightweight aggregate concrete designed for monolithio construction", W. H. Price y W. A. Cordón. American Concrete Institute Proceedings volumen XLV 1949 página 581.
- "Lightweight aggregate concrete", R. W. Kluge y H. X. Sparks y E.C. Tum. American Concrete Institute Proceedings volumen XLV año 1949 página 625.
- "Lightweight concrete". Architectural Record marzo/56 página 119.
- "Lightweight aggregates for structural concrete", American Society of Civil Engineers Proceedings 8. Nº 584 enero/55 página 1 (agregados naturales y artificiales).
- "Recent developments in lightweight concrete". T. W. Parker (Miscelánea 31) (agregados naturales y artificiales). Royal Institute of British Arch.
- "Lightweight aggregates concretes", Housing and home finance Agency 1950 (Miscelánea 8).
- "Properties of lightweight aggregates and lightweight concretes", G. W. Washa. American Concrete Institute journal octuhre/56 página 375 (con bibliografía).
- "Lightweight aggregates". Concrete julio/57 página 30 y agosto/57 página 28.
- "Lightweight concrete". Concrete abril/57 página 32.
- "Preparation du béton de schiste cuit". A. Blairon Révue des Matériaux 1953 pág. 251.
- "Organisation d'une usine de béton légér et processus de fabrication", R. Le Lan. Révue des Matériaux 1953 página 289 (agregado: cenizas).
- "Nouvelle utilisation du béton de vermiculite" Rock Products mayo/48 Nº 51 pág. 145
- "Lightweight aggregates concrete for structural use", J. J. Shideler, American Concrete Institute Journal octubre/57 página 299.
- "Design data for some reinforced lightweight aggregate concrete", Housing Research Paper 26.
- "Houses of vermiculite concrete". Building Digest Londres Volumen 9 Nº 9 sep/49.
- "Lightweight slag concrete", I. Lyse American Concrete Institute Journal octubre/34 página 1.