

**MEMORIAS 2008
CONGRESO NACIONAL
DE ADMINISTRACIÓN Y
TECNOLOGÍA PARA LA
ARQUITECTURA, INGENIERÍA
Y DISEÑO**

10

**NUEVAS TECNOLOGÍAS EN
CONCRETOS
CONCRETO CELULAR -
CONCRETO REFORZADO CON
FIBRA - CONCRETO LIGERO
ESTRUCTURAL**

Mtro. Alejandro Cervantes Abarca

NUEVAS TECNOLOGÍAS EN CONCRETOS

CONCRETO CELULAR - CONCRETO REFORZADO CON FIBRA - CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL

Mtro. Alejandro Cervantes Abarca

RESUMEN

El concreto es en la actualidad el material más usado en la industria de la construcción, sin embargo la alta densidad o peso volumétrico de los concretos convencionales alrededor de 2350 kg. /m³. ha sido un inconveniente donde la carga muerta es un factor importante. Es muy pesado para ser práctico, sobre todo en la construcción de losas de entrepiso y azoteas, ya que estas están diseñadas para soportar las cargas vivas (personas y mobiliario), dichas cargas se transmiten a las trabes, estas a las columnas y finalmente a la cimentación y al terreno.

Lo anterior redundaba en construcciones pesadas, vigas de gran peralte, columnas robustas y cimentaciones amplias o complejas. Todo esto debido al excesivo peso muerto de las losas de concreto convencional, lo cual se traduce en un elevado costo de la obra.

Para corregir estas insuficientes cualidades del concreto, se han realizado a través de los años múltiples investigaciones con sorprendentes resultados como:

Los concretos celulares o aireados, con los que se logran densidades que fluctúan entre los 200 y 1920 Kg./ m³, apropiados para rellenos, pisos, muros, losas, etcétera; Los concretos reforzados con fibras, que ayudan a controlar las grietas clásicas del concreto, y aumentan la resistencia a la tensión y a compresión; Los concretos ligeros estructurales que se pueden emplear en prefabricados o colados en sitio; El Acucemento, concreto ligero permeable que permite el paso del agua al subsuelo, etcétera.

Sin embargo, estas Nuevas Tecnologías en los Concretos no han perneado como deberían en el ámbito profesional de la Industria de la Construcción en México. En el país, no tenemos una cultura de nuevos materiales.

De ahí que este estudio tiene como objetivo, difundir estos hallazgos, se busca disertar de manera breve pero concisa acerca de cómo se usan típicamente los concretos ligeros y cuál es su proposición en cuanto a valor agregado.

NUEVAS TECNOLOGÍAS EN CONCRETOS

- ◆ CONCRETO CELULAR (Aireado)
- ◆ CONCRETO REFORZADO CON FIBRA
- ◆ CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL

ANTECEDENTES DEL CONCRETO

La historia del cemento es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano supero la época de las cavernas, ha aplicado sus mayores esfuerzos a delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos.

Investigaciones y descubrimientos a lo largo de miles de años, nos conducen a principios del siglo antepasado, cuando en Inglaterra fue patentada una mezcla de caliza dura, molida y calcinada con arcilla, al agregársele agua, producía una pasta que de nuevo se calcinaba se molía y batía hasta producir un polvo fino que es el antecedente directo de nuestro cemento tipo Pórtland y de su producto resultante el concreto.

El término concreto es originario del latín: *concretus*, que significa “crecer unidos” o “unir”. Su uso en español se transmite por vía de la cultura anglosajona, como anglicismo, siendo la voz inglesa *concrete*.

Características físicas del concreto convencional.

Se indican valores aproximados.

- Densidad: Aproximada de entre los 2200 y 2500 kg. /m³
- Resistencia a la compresión: de 100 a 500 kg./cm² para el concreto ordinario. Existen concretos especiales de hasta 2000 kg. /cm².
- Resistencia a la tracción: proporcionalmente baja, generalmente despreciable en el cálculo global, del orden de un décimo de la resistencia a la compresión.

La Densidad.

Los concretos convencionales tienen una densidad alrededor de 2350 kg. /m³. Esta alta densidad o peso volumétrico es lo que ha sido un problema en el cotidiano uso del concreto en la construcción de la edificación, donde la carga muerta es un factor importante y el concreto de peso normal es muy pesado para ser práctico, sobre todo en la construcción de losas de entrepiso y azoteas, ya que estas están diseñadas esencialmente para soportar las cargas vivas (personas y mobiliario), dichas cargas se transmiten a las trabes, estas a las columnas y finalmente a la cimentación y al terreno.

Lo anterior redundo en construcciones pesadas, vigas de gran peralte, columnas robustas y cimentaciones amplias o complejas, todo esto debido al excesivo peso muerto de las losas de concreto convencional, lo cual se traduce en un elevado costo de la obra.

Antiguamente las losas de entrepiso se realizaban por medio de vigas y tablas de madera con muy bajo peso y con buen comportamiento a los esfuerzos tanto de flexión, compresión y cortante. En algunos países de Europa y sobre todo en los Estados Unidos de Norte América aun se sigue usando profusamente la madera para la construcción de casas habitación, pero el problema de la combustión y fácil propagación de fuego en la madera sigue siendo un gran problema.

Así mismo la baja resistencia a la tracción del concreto generalmente despreciable en el cálculo global (del orden de un décimo de la resistencia a la compresión) es una desventaja, comparado con la madera su antecesor en la construcción.

Para corregir estas insuficientes cualidades del concreto, se han realizado a través de los años múltiples investigaciones con sorprendentes resultados (concreto: celular, con fibras, ligero estructural, etcétera). Sin embargo, estas no han permeado como deberían en el ámbito profesional de la industria de la construcción en México.

Por lo anterior, este estudio tiene por objetivo difundir estos hallazgos, se busca disertar de manera breve pero concisa acerca de cómo se usan típicamente los concretos ligeros y cuál es su proposición en cuanto a valor agregado.

Concreto Celular, Concreto Aireado (Con Aire Encapsulado)

A principios de los años 60, debido al crecimiento de la industria de la construcción se presentó la necesidad de obtener un producto liviano y aislante térmico para su uso en losas y techos. En algunos países europeos tales como Austria y Alemania, se comenzó con la fabricación de un mortero de cemento liviano con la adición de espumas, y se puede considerar esto como el inicio de los Morteros Celulares.

Hasta el presente se ha perfeccionado como producto y se ha generalizado su uso a nivel mundial, aunque es un mortero se le conoce como Concreto Celular.

Han pasado varias décadas desde que se crearon los concretos ligeros (celulares) para abaratar costos, simplificar o mejorar la calidad de las edificaciones. Sin embargo, México no ha sido, hasta ahora, tierra fértil para su desarrollo. En el país no existe una cultura de nuevos materiales.

¿Qué aceptación tiene el concreto en la vivienda?

El usuario prefiere el tabique, luego el block y después al concreto. El tabique es de tradición. Sin embargo, en la vivienda residencial las clases más altas entienden mejor el concreto, porque lo han vivido más, lo piden mucho... Por ejemplo, en muros, y por otra parte, son las nuevas generaciones quienes entienden mucho mejor el concreto.

Pedro Morales Ramírez, gerente de Practicasa México nos dice, los materiales considerados innovadores, en su mayoría prefabricados, (sobre todo con concretos ligeros) en realidad no son materiales nuevos, sin embargo, sí parece ser ahora el momento ideal para sacarlos de su letargo y comenzar a abrir nuevas oportunidades de negocio.¹

1. Lourdes Ezquivel /Com. Nal. Prom. Neg./ Entrevista con Pedro Morales Ramírez, gerente de Practicasa México

Composición y características

El concreto celular también conocido como concreto aireado, se crea incluyendo una multitud de micro burbujas en una mezcla a base de cemento arena y otros materiales sílices. Esto se logra mezclando el Agente Químico Espumador con agua, y generando espuma con la dilución, generalmente utilizando aire comprimido.

Para lograr resultados óptimos, se requiere de un aireador. La espuma se mezcla entonces con la lechada de arena/cemento/agua. Se comporta igual que el concreto denso pesado ordinario en la mayoría de los aspectos, tales como el curado.

La cantidad de aire que se puede incluir en los concretos aireados prefabricados o colados en sitio varía de 20 a 50 por ciento en volumen cuando se los utiliza estructuralmente, pero puede llegar a ocupar de 51 a 80 por ciento en concretos colados en sitio destinados sólo para aislamiento térmico, de empaque o relleno.

El concreto celular se puede definir como una mezcla con estructura más o menos homogénea de silicatos de calcio en granos finos que contiene pequeñas burbujas de aire no comunicadas entre sí, Es un material de peso ligero que puede ser elaborado con o sin agregados, adicionando solo un gas o una espuma que reacciona químicamente.

Está formado por poros de aire micro y macroscópicos, uniformemente distribuidos en la pasta de cemento. Esta estructura es muy importante para determinar las propiedades físicas del material: bajo peso, conductividad térmica, resistencia al fuego, a la compresión y a la congelación.

El ACI define el concreto ligero celular como “aquel en el cual todo o parte del agregado grueso es sustituido por burbujas de gas o aire”.

El concreto espumoso presenta distintos tipos que se diferencian según el método empleado para formar las células. En Europa, los términos “concreto gas” y “concreto espuma” distinguen la forma de su fabricación.

Así, a la mezcla se le pueden combinar diversos elementos para provocar una expansión de volumen: espuma estable previamente preparada que se adiciona a la mezcla durante el proceso de mezclado, agentes generadores de hidrógeno, peróxido o polvo blanqueador, o polvo de aluminio que reacciona con las sustancias alcalinas de los componentes de la mezcla.

Los materiales empleados para fabricar el concreto celular son básicamente los mismos que se utilizan para el concreto tradicional, excepto los agregados de cuarzo y los agentes químicos que producen las células de aire. El concreto aireado es una modificación del concreto normal y la diferencia entre ambos está en su densidad y no en su calidad.

Las células se distribuyen en los elementos ya fraguados y varían entre 0.05 y 1.5 mm. de diámetro, siendo su forma casi esférica. Están cubiertas por una película que debe ser resistente para soportar

el vigor del mezclado y colocado, y durante todo el tiempo deben permanecer separadas y revestidas con la pasta de cemento (resistir la coalescencia).

PROPIEDADES

1. Absorción. Las pruebas realizadas han demostrado que el espumante produce un concreto celular con una absorción de agua muy baja. Cuanto mayor sea el contenido de aire, menor será la absorción de agua.
2. Resistencia al fuego. Es extremadamente resistente al fuego y es apto para los trabajos con riesgo de incendio. Las pruebas han demostrado que, además de la protección prolongada contra el fuego, la aplicación de un calor intenso, como una llama a alta energía mantenida cercana a la superficie, no provoca ni la rotura ni la explosión, contrariamente al comportamiento del concreto con densidad normal.
3. Durabilidad. Es un material de larga duración que no está sometido al efecto del tiempo. No se descompone y es duradero como una roca. Su alta resistencia a la compresión permite que se pueda utilizar un menor peso/volumen en la construcción.
4. Calor. Gracias a la alta variación térmica, las construcciones con concreto celular logran acumular calor, lo que permite reducir los gastos de calefacción del 20 al 30%.
5. Microclima. Evita la pérdida de calor en invierno; es resistente a la humedad, permite evitar las temperaturas muy altas en verano y controlar la humedad en el aire absorbiéndola y favorece la creación de un microclima (como una casa de madera).
6. Montaje rápido. La baja densidad y, por tanto, la ligereza del concreto celular, junto al mayor tamaño de los bloques respecto a los ladrillos, permite aumentar sensiblemente la velocidad de colocación. El concreto celular se puede trabajar y cortar fácilmente para ranurar canales y pasos para cables eléctricos y tubos. La facilidad de montaje es debido a la alta precisión de sus dimensiones, con una tolerancia de ± 1 mm.
7. Aislamiento acústico. Tiene una absorción acústica alta. Los edificios construidos con concreto celular cumplen las normas en materia de aislamiento acústico.
8. Compatibilidad ambiental. Su respeto medioambiental es sólo superado por la madera. El coeficiente de compatibilidad ambiental del concreto poroso es 2; el de la madera 1, el de los ladrillos 10 y el de los bloques de arcilla expandida 20.
9. Versatilidad. Gracias a su facilidad de elaboración, se pueden producir varias formas de ángulos, arcos y pirámides que aumentan el valor estético de los edificios.
10. Economía. La exactitud geométrica de las dimensiones de los bloques de concreto celular permite hacer más sutil el aplanado interno y externo. El concreto celular pesa del 10% al

87% menos respecto al concreto de peso normal. Esta fuerte reducción en el peso, supone un ahorro importante sobre el costo de la estructura y los cimientos.

11. Protección. El concreto celular protege de la propagación del fuego, y corresponde al primer grado de resistencia, como se ha demostrado en las pruebas. Se puede usar, por lo tanto, para construcciones antiincendio.

Si la superficie de concreto celular está expuesta a un calor intenso, como a una lámpara de soldadura, no se rompe ni estalla como sucede, con el concreto pesado. Como consecuencia, el acero encofrado está protegido del calor durante un periodo más largo. Las pruebas demuestran que la superficie de concreto celular de 10 mm. de espesor puede resistir al fuego durante 4 horas. En las pruebas realizadas en Australia, la parte exterior de un panel de concreto celular de 150 mm. de espesor ha sido expuesta a temperaturas de hasta 1 200° C.

12. Transporte. La combinación favorable de peso, volumen facilita el transporte de este material para las construcciones, tanto de material premezclado como elementos prefabricados.

Así, atendiendo a sus características vitales, podemos decir que el concreto aireado es:

- a) Aislante térmico y acústico por su bajo peso y densidad variable;
- b) Bombeable y autonivelante por su consistencia que varía de plástica a fluida;
- c) Resistente al tránsito peatonal;
- d) Incombustible y no degradable;
- e) Pigmentable en diversos colores.

Aplicaciones y formas de empleo

Hay que recordar que toda vivienda es un sistema en continuo contacto con el medio ambiente, y en consecuencia, es atravesada por numerosos flujos de aire, vapor de agua, sustancias orgánicas, minerales y primordialmente, por energía que proviene del sol. La permeabilidad o impermeabilidad de azoteas y muros, es decir, de las barreras físicas del sistema, regulan la magnitud y dirección de los intercambios de calor mediante procesos de radiación y conducción, determinando así las condiciones internas del confort térmico.

El concreto aireado es recomendable para:

- a) El clima cálido. El concreto celular se encuentra en el grupo de los materiales ligeros y además evita la penetración del calor dentro de la vivienda.;
- b) El clima frío. Es ideal para bajas temperaturas en las que deben utilizarse materiales térmicos para propiciar la acumulación de calor interior evitando el enfriamiento.
- c) Se le utiliza especialmente en aquellas regiones cuyo clima es templado, semi-frío o extremo tanto en invierno como en verano. Su empleo en estos climas ha sido un ejemplo de adecuación de la vivienda al entorno.

El concreto aireado se utiliza en dos presentaciones:

- a) Pre-colado: en paneles para muros, losas de entrepiso y azoteas, y bloques de construcción, los cuales son usualmente curados con vapor a alta presión (auto clave).
- b) Colado en sitio: para elementos estructurales y rellenos, curado por aspersión o vapor.

En cualquiera de las presentaciones su peso varía de acuerdo con el estado en que se encuentre: en estado plástico, en estado fraguado y secado en horno. El rango de densidad será de acuerdo con las características mencionadas, el cual fluctúa entre 200 y 1,900 kg. /m³.

Los métodos para fabricarlo

El concreto celular se fabrica por medio de la introducción de un elemento químico que produce gas en una lechada compuesta de cemento Pórtland y un material sílico que sirve de espumante, que cuando endurece forma una estructura uniforme de poros.

Existen varios métodos para que los poros formen con técnicas de gasificación interior:

- a) Polvo de aluminio. Este reacciona con el hidróxido de cal libre del cemento durante el fraguado y genera hidrógeno en forma de burbujas diminutas, el cual resulta en un aluminato tricálcico hidratado + hidrógeno. La rapidez e intensidad de la reacción depende del tipo y de la cantidad de polvo de aluminio que se agregue a la mezcla, así como de la finura del cemento, temperatura y proporción de los componentes.

El porcentaje de aluminato para compensar la disminución de volumen que sufre el concreto desde que se coloca hasta que está endurecido y seco, es del orden de 0.005 a 0.02 por ciento del peso del cemento (prefabricados y bloques de construcción).

- b) Polvo de zinc. Con este se forma el zincato de calcio + hidrógeno. En ambos casos el hidrógeno en las células es rápidamente reemplazado por el aire y, por lo tanto, no existe ningún peligro de fuego.
- c) Agua oxigenada y polvo blanqueador. Con esta adición se efectúa la siguiente reacción en la cual se desprende oxígeno en vez de hidrógeno; cloruro de calcio + oxígeno + agua.
- d) Sulfonatos alkyl aryl, el sulfonado de lauryl de sodio, ciertos jabones y resinas, aditivos espumantes destinados a extinguir incendios, así como plásticos o resinas sintéticas en estado líquido viscoso. Son apropiadas para la elaboración de concretos colados en sitio.

Tipos de concreto celular

Existen aditivos como: generador espumante, fibra dispersante, retardante, expansor, escoria, ceniza volante, etcétera, que ayudan a cubrir algunas de las deficiencias que van aparejadas a la baja densidad del concreto celular.

Cemento celular puro

Se emplea cemento Pórtland, agua, gas o espuma preparada, no contiene agregados sólidos, generalmente está limitado en el rango de baja densidad siendo de 200 a 700 kg./m³. En su elaboración se mezclan primero el cemento y el agua, y posteriormente se añade un agente químico o una espuma estable preparada, la cual debe ser bien mezclada con la pasta de cemento para lograr la consistencia celular.

Concreto celular arenado

Contiene cemento, arena con un diámetro máximo de 4 mm. con finos de 0.2 mm., para lograr resistencias más elevadas, agua y el agente escogido para desarrollar las células; el rango de su densidad es de 850 a 1,900 kg./m³. Agregados minerales tales como arena de sílice se utilizan con éxito para evitar la contracción del concreto celular.

Concreto celular con agregados ligeros

Se realizan con tezontle, piedra pómez, etcétera, para lo cual se reemplaza parte de la arena. Estos agregados deben contar con una resistencia mayor para aumentar su resistencia a la compresión (se logran mezclas de 1,600 kg./m³).

Concreto celular con agregados expansivos

La adición de vermiculita y perlita en el concreto ha demostrado que ayuda en climas cálidos a retener el agua del curado. Estos son ideales cuando el concreto celular se use como protección a las estructuras metálicas contra el fuego. Estos agregados se utilizan en la fabricación de prefabricados ya que logran su expansión a altas temperaturas.

Concreto celular modificado

Se considera concreto celular modificado a cualquiera de los tipos antes mencionados al que se le añade un aditivo.

Concreto celular con aditivo dispersante. Ayuda a exponer mayor superficie de las partículas del cemento a la hidratación. Su acción dispersante aumenta la fluidez e incrementa la resistencia a la compresión debido a la reducción de la proporción agua/cemento en la mezcla, logrando un incremento de resistencia hasta de 10 por ciento en densidades de 1,400 kg./m³, y de 40 por ciento en densidades de 1,750 kg./m³.

Concreto celular con aditivo expansor. La utilización de aditivo expansor en el concreto aireado refuerza a los componentes de éste, ya que la expansión puede ser de la misma magnitud que la contracción y la retracción del concreto; esta expansión compensa parcialmente los efectos de compresión en el secado característicos del concreto aireado. La tendencia a expandirse se

controla por el acero de refuerzo, por lo cual éste debe ser colocado lo más cercano posible al centro de la sección para evitar empuje y por consiguiente, una deformación del elemento.

Concreto celular con escoria y ceniza volante. La arena puede ser reemplazada por las cenizas de combustible pulverizado o escoria de alto horno molidas. Estos funcionan en parte como relleno y en parte como reactivo químico con el cementante. La ceniza volante y la arena de cuarzo se emplean para reemplazar parcialmente la cantidad de cemento, lo cual ayuda a reducir tiempo de mezclado y, por consiguiente, la segregación; además, aumenta la resistencia del concreto celular.

Concreto celular con otros aditivos. Este concreto es compatible también con los agentes humectantes, densificadores, retardantes, estabilizadores de poros. También se utilizan los álcalis solubles (sosa cáustica) para acelerar la reacción de adiciones metálicas.

La arena y otros componentes sílicos se muelen en molino de bolas hasta llegar un grado de finura comparable a la finura del cemento ordinario.

Las mezclas del concreto aireado se pueden hacer con cemento Pórtland tipo I, normal, y con cemento Pórtland tipo III, resistencia rápida.

Producción del concreto celular

La prefabricación. El concreto celular prefabricado puede ser producido en bloques para muros y unidades reforzadas para muros y losas. Su densidad varía de 400 a 800 kg./m³.

Los bloques son de gran utilidad en la industria de la construcción porque reducen enormemente el peso muerto de las estructuras y representan ahorros considerables en las cargas, así como por la gran área que se puede cubrir con cada uno de ellos. Además, aporta beneficios a la edificación ya que es posible fabricar paneles reforzados de gran tamaño, pudiendo estos ser elementos de carga estructuralmente hablando.

Para elaborar prefabricados con concreto celular se debe contar con un espacio para colar el material en moldes, cortar y curar. Se requiere mantener una temperatura ambiente constante para poder fabricar elementos de alta calidad.

Primero se coloca con precisión el acero de refuerzo de manera que cuando se corten las piezas no se dañe éste. El concreto es vertido en moldes que son llenados parcialmente y a los 20 minutos la mezcla se expande cubriendo totalmente el molde. Después de cuatro a seis horas, el colado habrá fraguado lo necesario para poder ser cortado.

De acuerdo con la norma del ACI 523.2 R-68 hay varios sistemas que se pueden utilizar para el curado del concreto celular:

- a) Curado por lo menos a 21°C o más, como mínimo por siete días si es cemento Pórtland normal tipo I y por tres días si se utiliza cemento Pórtland tipo III de resistencia rápida.
- b) Curado en autoclave, lugar donde permanecerá de 14 a 28 horas. Bajo una presión

aproximada de 10.5 kg. /cm² y a una temperatura de 185° C. El curado en vapor es necesario para obtener “concreto gas” de primera calidad.

- c) Cualquier sistema de curado podrá ser utilizado mientras se conserve el contenido de agua del concreto y se proporcione la máxima calidad de resistencia a los elementos.

El acero de refuerzo utilizado en el concreto curado en autoclave debe ser protegido para evitar la corrosión, en un baño de una mezcla de recubrimiento que puede ser:

- Protegerlo con concreto celular de mayor espesor.
- Solución bituminosa oxidada que se endurece al aire;
- Capa de lechada de cemento con o sin látex de hule y un material coloidal como la caseína;
- Resinas Epoxicas;
- Ahogado en concreto normal;

Otra solución podría ser utilizar aceros pre-esforzados.

El colado en sitio. El “concreto celular” es el ideal para colarse en el sitio, ya que es fácil adicionar la espuma directamente en la obra. El cemento, el agua, los agregados seleccionados y los aditivos se colocan en la mezcladora del mismo modo que se hace con el concreto normal; a éste se le introduce el generador de espuma especial que es un concentrado diluido en agua.

La cantidad del aditivo espumante depende del tipo de elemento, el volumen de concreto, la eficiencia de la mezcladora y la densidad que se espera del concreto. Cuando se agrega la espuma se continúa el mezclado para que al agitarla logre su expansión total y así garantizar la distribución uniforme de las células de aire en la mezcla.

Normalmente para evitar la contracción del concreto celular este es curado en autoclave; y para el diseño de mezcla colada en sitio, es necesario hacer ajustes como añadir fibras y agentes expansivos que eviten la fisuración y contracción por secado. El acero de refuerzo también ayuda a controlar la contracción por secado.

El concreto celular es autonivelante, fácil de trabajar y bombeable, pero es necesario utilizar retardadores y fluidificantes cuando es colado en clima calido (superior a 22o C), con la finalidad de no perder su estructura celular, y en clima frío (1 a 4o C), se deben tomar precauciones como el calentado del agua. El concreto celular nunca debe ser colado cuando haya presencia de nieve, lluvia, granizo o heladas.

El colado del concreto aireado debe ser en capas cuyo espesor no sea mayor a 50 cm., para permitir que por sí solo se nivele y se compacte, ya que el compactado con vibrador destruye las células del material.

El concreto celular debe ser curado por aspersión o con membrana para evitar la pérdida de agua, por lo que no se permitirá el tránsito en las áreas hasta que no estén fraguadas (5 a 6 hrs.), ya que esto produciría la destrucción de los poros.

Propiedades físicas del concreto celular.

La característica más sobresaliente del concreto aireado es su densidad, Sin embargo sus propiedades térmicas, acústicas, su trabajabilidad, etcétera, generan grandes ventajas en la industria de la construcción. Su factibilidad de diseño permite gran confort a quienes lo utilizan y disfrutan de él.

Resistencia a la compresión. Esta varía en el concreto celular en un amplio rango que es determinado por su densidad, siendo esta de 320 a 1,920 Kg./m³ (ver tablas).

Cuando el concreto aireado es elaborado sin aditivos y con arena, su rango varía de 800 a 1,920 Kg./m³; las mezclas que están adicionadas con agentes dispersantes y arena tienen una densidad aproximada de 1,360 Kg./m³.

Las combinaciones que tienen una densidad en estado plástico por arriba de 800 Kg./m³ tienen una cantidad aproximada de 390 Kg./m³ de cemento.

De acuerdo con las consideraciones anteriores y pruebas del ACI 523.1R-92 y ACI 523.3R-93, la resistencia a la compresión del concreto aireado sin aditivos ni agregados y secado en horno es:

Resistencia a Compresión, Concreto Celular sin aditivos ni agregados, secado en horno	
Densidad (Kg./m ³)	Resistencia a la compresión (Kg./cm ²)
320	4.93
400	8.80
480	15.83
560	24.63
600	29.95
700	40.13
800	52.78

Con relación a mezclas de concreto aireado arenado con densidades mayores y sin aditivos, también de acuerdo con al ACI, tenemos:

Concreto Celular Factor Resistencia en Estado Plástico a la Compresión				
Densidad (Kg./m ³)	% Arena	% Agua	Cemento (Kg./m ³)	F'c = (Kg./cm ²)
960	0.65	0.50	446	35.19
1,120	1.06	0.45	446	42.22
1,280	1.42	0.45	446	52.78

1,440	1.78	0.45	446	91.48
1,600	2.14	0.45	446	126.67
1,760	2.44	0.50	446	175.93
1,920	2.80	0.50	446	247.70

Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad (E) del concreto es una medida de la deformación que sufriría el material bajo condiciones de carga de corta duración en el rango elástico.

El módulo de elasticidad del concreto aireado está en relación con su densidad y resistencia a la compresión; es bajo con relación al concreto convencional. En pruebas efectuadas a mezclas sin agregados pétreos y considerando como único complemento las burbujas de las células producidas por la reacción química, se determina que el módulo de elasticidad es más bajo con relación a concretos de su misma densidad, elaborados con agregados ligeros pero más rígidos. Esto ha sido señalado por pruebas de laboratorio con concretos aireados utilizados sólo como aislantes, que dieron densidades por debajo de 1,281 Kg./m³.²

Resistencia a la tensión y cortante. Por lo regular, la resistencia a la tensión no se toma mucho en cuenta; sin embargo, cuando se requiera mejorarla, es conveniente utilizar fibras, sobre todo en los paneles para utilizar en muros. Las fibras pueden ser de vidrio resistente al álcali, metálico, de resinas o plásticas.

En pruebas de resistencia al cortante efectuadas en laboratorio, se determinó que, a pesar de que el concreto aireado cuenta con una estructura celular, no existe disminución de tal resistencia, la cual se apega a las normas establecidas por el ACI 318 para el concreto ligero.

Conductividad térmica, resistencia al fuego y permeabilidad

Las características de aislamiento térmico del concreto celular dependen primeramente de la densidad (a menor densidad, mayor aislamiento); otros factores que la determinan son los agregados utilizados, los poros, etcétera.

La conductividad térmica. Significa permitir el paso de la energía o temperatura de un lado a otro. Por sus características de poros de aire, el concreto celular reduce el paso de la temperatura exterior al interior de la construcción y la pérdida de calor hacia el exterior.

Los valores de conductividad térmica del concreto aireado son similares a los de la madera y menores que los del adobe. Comparando muros de igual espesor resulta que este concreto de 400 Kg./m³ aísla nueve veces más que el tabique rojo recocido y once veces más que el concreto común.³

2. Ayala Izaguirre María de/ Tesina/ <http://www.imcyc.com/revista/1998/julio/aireado.htm>

3. Ayala Izaguirre María de/ Tesina/ <http://www.imcyc.com/revista/1998/julio/aireado.htm>

Resistencia al fuego. Se ha demostrado en pruebas de laboratorio hechas a paneles de concreto celular, que pueden mantenerse a fuego directo las losas durante una hora, y los muros durante cuatro horas, sin perder su condición estructural. En las mismas pruebas, este concreto soportó ser expuesto a temperaturas arriba de 700° C y su punto de difusión es a 1000-2000° C, dependiendo de los materiales básicos.

Permeabilidad. La práctica en Suecia demuestra que el concreto celular soporta adecuadamente la lluvia aplicando solamente pintura, exceptuado condiciones extremas en las que otros materiales también fallarían. Para condiciones severas es conveniente un aplanado en los muros exteriores. Resistencia al frío. El uso elevado de este material en Noruega y Rusia, países con climas extremos, nos demuestra que el concreto celular tiene gran resistencia a la congelación y al deshielo por su estructura celular.

Contracción por fraguado. Esta es la característica más desfavorable que tiene el concreto celular colado en sitio, asumiendo una gran pérdida de volumen. Como primero sufre una expansión provocada por los agentes generadores de espuma, con la contracción lo que se ocasiona es un alto índice de fisuramiento.

Para combatir la contracción es conveniente agregar un aditivo expansor que no reaccione desfavorablemente con el generador de espuma y el resto de los aditivos.

Si se pretende colar una casa en forma integral, la contracción provocaría separación entre los elementos. Esta contracción puede reducirse con la adición de fibras de diversas clases y tipos. La relación de la contracción del concreto curado en autoclave es mínima con relación a la del concreto curado al aire, que puede llegar a ser hasta del 25 por ciento si éste tiene una densidad de 400 Kg./m³.

CONCRETO CON FIBRAS DE REFUERZO.

Antecedentes:

Usadas las fibras inicialmente para reducir el agrietamiento por contracción plástica del concreto, el mercado consistía principalmente en la presencia de fibras sintéticas de polipropileno y nylon. Inicialmente las fibras eran largas y gruesas que, aunque eran efectivas, resultaban difíciles de acabar y producían losas de concreto "con pelos". A pesar de estas dificultades, su uso creció de manera importante con el paso del tiempo.

Al madurar el mercado se vio que se fueron introduciendo productos de fibras más cortas y delgadas, al punto que se volvieron invisibles en las losas. El rango de longitud de la fibra es de aproximadamente de 20 a 40 milímetros.

El concreto con fibras es presumiblemente, el que más se vende en todos los Estados Unidos actualmente.

Uso de las Fibras

El uso de fibras se hizo imprescindible en el concreto celular, ya que las deficiencias de una mezcla fluida, se ven afectadas por el secado o una deshidratación rápida, lo que ocasiona contracciones, sin embargo, estas contracciones son controladas gracias al uso de la fibra de polipropileno.

De estas fibras deben usarse las del tipo de segunda generación, es decir las que forman una malla tridimensional de refuerzo con el fin de evitar los problemas de curado, por otro lado, los productos de concreto celular prefabricados son más susceptibles mientras ganan buena parte de su resistencia, por lo que al moverlos entre el tercero y sexto días son susceptibles a despiques, la fibra ayuda a controlar esos movimientos y a controlar las grietas por golpes, además se ha demostrado que el uso de la fibra aumenta la resistencia a la tensión en un 10% y a comprensión en un 6%.

Aplicaciones.

El concreto con fibras es apropiado para superficies grandes que tiendan a fracturarse precisamente por su longitud muros, losas, pavimentos y pisos industriales.

Como se menciona, la adición de fibras de diversas clases y tipos al concreto celular, puede reducir la desfavorable contracción.

Los beneficios de la adición de fibras al concreto celular de baja densidad son considerables, estas fibras pueden reducir notablemente la formación de grietas por contracción plástica o por secado e incrementan la resistencia a la flexión y a la tensión.

La fibra debe ser resistente al álcali; puede tratarse de resinas sintéticas o de fibra de vidrio, fibras de polietileno, polipropileno o acero según las necesidades del proyecto. La cantidad utilizada está determinada por la trabajabilidad del concreto y el costo.

Estos concretos pueden catalogarse como de "Prevención de grietas". Al interceptar diminutas grietas, las fibras evitan que lleguen a formar grietas grandes y visibles.

Todo especialista sabe que el concreto va a agrietarse, eso es algo que resulta inevitable. Sin embargo, al usar fibras junto con una disposición apropiada de las juntas, se puede generar un concreto que sea durable, atractivo, y que sea visto de manera positiva por los ojos del constructor y del cliente.

Otras aplicaciones de fibras pueden servir para mantener las grietas rígidamente juntas, lo que puede denominarse "Confinación de grietas". Se sabe que el concreto va a agrietarse, pero ¿a qué ancho de grietas la apariencia se convierte en algo inadecuado para el propietario? Esta es una cuestión de percepción; sin embargo, aplicando las dosis adecuadas de fibras sintéticas más grandes, macro fibras sintéticas, productos combinados de acero/sintéticos o fibras de vidrio o acero, se puede resolver este problema.

Otra aplicación de las fibras que apenas comienza a tomar forma es el uso de altas dosis, en las cuáles o bien se desea flexibilidad de la matriz del concreto, o se eleva el desempeño estructural o bien, en pisos industriales en donde por muchos años, su uso ha probado ser efectivo para reducir los problemas de desempeño de las juntas por las pesadas cargas en las llantas. El enfoque actualmente está en la prevención de grietas por contracción.

Expectativas.

Se supone que el 50% del mercado de concreto premezclado es para trabajos de superficies planas como losas, losas elevadas, muros, etcétera. En este sentido, el mercado de fibras, tan sólo en los Estados Unidos, fue de 83 millones de metros cúbicos en 2006. Sin embargo en México durante el mismo año solo se produjeron alrededor de 600,000 metros cúbicos.

Dentro del mundo del concreto con fibras, la barrera más grande que actualmente existe es la falta de comprensión de los contratistas, propietarios o funcionarios de reglamentos acerca del valor, desempeño y registro de las fibras.

Se podrá ver porqué se hace una disertación sobre el concreto reforzado con fibras.

Nota: El concreto de ultra alto desempeño (Ultra-High Performance Concrete) ha sido objeto de numerosas investigaciones. Las resistencias a la tensión del UHPC están limitadas a 8 MPa. Para resolver estos problemas, se les agregaron fibras.

CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL

Es un concreto hidráulico premezclado para ser empleado en la Construcción de proyectos donde se requiere de un peso volumétrico ligero con resistencia estructural.

El concreto celular en altas densidades mezclado con arena se utiliza cada vez más como elemento estructural de construcción.

Particularmente indicado para la realización de bloques de construcción, para paneles prefabricados, o también para proyectar sobre paramentos verticales.

El Concreto ligero estructural está elaborado bajo un estricto Control de Calidad conforme parámetros aplicables de las normas americanas ASTM, con una dosificación de materiales como son: cemento Pórtland, agua, agregados finos y agregados gruesos de granulometrías controladas y aditivos químicos para mejorar las características del producto, tanto en el estado fresco como en el estado endurecido.

Para bloques de construcción las densidades usadas son las siguientes:⁴

DENSIDAD (KG/ M ³)	CEMENTO (KG)	ARENA (KG)	AGUA (LITROS)	ESPUMANTE S/B
600	310	210	110	0,9
800	350	370	120	0,8
1000	370	560	125	0,7
1200	400	750	140	0,65

Para paneles o para proyectar sobre obra, las densidades utilizadas son:

DENSIDAD (KG/ M ³)	CEMENTO (KG)	ARENA (KG)	AGUA (LITROS)	ESPUMANTE PP/I
1200	400	750	110	0,95
1400	400	960	120	0,78
1600	400	1120	125	0,60
1800	400	1300	140	0,42

La dosificación de es de 2.5 a 3% del peso del agua. La espuma tiene que pesar 50 gr./l.

Usos y aplicaciones

Elementos de requerimientos estructurales bajos (Resistencia a Compresión $f'c = 100, 140$ y 180 kg. /cm² , equivalentes a 1,400, 2,000 y 2,500 psi), como son:

- Divisiones para todo tipo de edificaciones
- Capas de nivelación en pisos o losas
- Aligerar las cargas muertas en las estructuras
- Construcción de viviendas en serie o de tipo monolítico
- Elementos prefabricados para usos decorativos o artesanales
- Protección de estructuras contra el fuego
- Elementos que no estén sujetos a ataques químicos y/o ambientales severos

Ventajas

1. Calidad uniforme, garantizada, por la dosificación de materiales controlados.
2. Mayor facilidad de colocación, en relación a mezclas de concreto tradicionales.
3. Disminución del personal requerido para la colocación del concreto.
4. Capacidad de fluir sin segregarse, tanto horizontal como verticalmente, minimizando eliminando el vibrado en su colocación.
5. Con capacidad para ser bombeado.

4. <http://www.isol-tech/contacto>

6. Incremento de la velocidad de colocación del concreto.
7. Excelentes propiedades acústicas y térmicas. Se puede aserrar y clavar fácilmente.
8. Resistente al fuego
9. Reducción de las cargas muertas en las estructuras.

CONCRETO LIGERO ECOLÓGICO.

Otro ejemplo de concreto ligero estructural, es el que se consigue empleando agregados livianos, provocando la formación de burbujas en las pastas, añadiendo espuma o suprimiendo los finos, es un concreto con sólo áridos gruesos y pasta de cemento, para ligar los áridos, exclusivamente por sus puntos de contacto.

Tiene un peso unitario de 1.7 (ton/m³); y una resistencia sobre 250 (kg./cm²). En México se conoce como concreto ecológico ya que al ser permeable, permite el paso del agua al subsuelo. Siendo ideal para pavimentos de estacionamientos y calles, logrando tener el menor número posible de superficies impermeabilizadas.

En los últimos años, se han desarrollado numerosas aplicaciones para concretos livianos pretensados como puede ser pilas, pilotes y estructuras a flote. Un concreto de este tipo sobre todo bien pretensado no tiene desventajas frente a un concreto convencional.
 Concreto celular premezclado.

La principal aplicación de estos concretos celulares es en losas de techo de estructuras metálicas que usan encofrado colaborante tales como la losa-acero o similares,

Al realizar un pedido para colado en obra, se debe solicitar Concreto Celular con la resistencia a la compresión y tamaño máximo del agregado requerido.

Para obtener los resultados deseados deben seguirse las recomendaciones del ACI 318 "Building Code Requirements For Structural Concrete and Commentary" y del ACI 308 "Standard Practice and Curing Concrete" donde se recomienda un curado no menor a 7 días.

El uso de este producto esta limitado a las características expuestas en esta Ficha Técnica. Cualquier uso distinto al recomendado puede variar los resultados indicados.

No es recomendable realizar adiciones al concreto, porque pueden alterarse las características del mismo. Cualquier adición que se quisiera realizar en obra deberá ser autorizada por el Departamento de Control de Calidad de Mixto Listo.

Este producto cumple con las especificaciones de la norma Americana ASTM C94

Descripción	Normativa Empleada	Valor
Resistencia a la compresión	ASTM C39	De 100 a 180 Kg./cm ² (1,400 a 2,500 psi) a 28 días
Revenimiento	ASTM C94	De 5.0 a 25.0 cm. incluyendo sus tolerancias

Contenido de aire incluido	ASTM C231	Menor del 25%
Peso volumétrico en estado fresco	ASTM C28	Mayor de 1,000 y menor de 1,900 kg. /cm. ²
Tamaño máximo nominal del agregado	ASTM C33	De 9.5 mm. (3/8") para concreto descargado con bomba
Características de bombeo		Tubería horizontal hasta 80 mts o hasta 15 mts. de elevación vertical con revenimiento mayor a 12.5 cm.
Tiempo de descimbrado		Según revenimiento solicitado. De 4 a 12 horas,
Concretos Disponibles	Valor de revenimiento (ASTMC94)	Tipo de colocación
Con revenimiento bajo	7.5 +/- 2.5 cm.	Directo
Con revenimiento alto	20.0 +/- 5.0 cm.	Bombeado o directo

El concreto ligero también se logra mediante el empleo de agregados ligeros en la mezcla. Es un material apropiado para la construcción de puentes de trabe cajón. Debido a que las propiedades físicas de los agregados normales y ligeros son diferentes, sus factores de diseño también varían. Sin embargo, las tácticas de diseño son idénticas.

El concreto ligero ha sido particularmente útil en estructuras de varios niveles, donde se requieren peraltes mínimos y la ubicación para las columnas está limitada, y en puentes muy altos donde la carga muerta de la superestructura requiere columnas y estribos excesivamente grandes para resistir las fuerzas sísmicas. El peso reducido del concreto minimiza la cantidad de acero de refuerzo en la superestructura y, concreto y acero de refuerzo en la subestructura al grado de que el ahorro en los materiales pueda contrarrestar el ligeramente más elevado costo de los agregados ligeros.

Los esfuerzos por carga muerta en puentes de trabe cajón en voladizo con claros de 230 metros son alrededor del 90% de los esfuerzos totales. Es así obvio que reducir la carga muerta es un enfoque lógico para la construcción de claros grandes más económicos.

La deformación del concreto es dependiente del tiempo debido al flujo plástico y a la contracción, es de importancia crucial en el diseño de estructuras de concreto presforzado, debido a que estos cambios volumétricos producen una pérdida en la fuerza pretensora y debido a que ellos producen cambios significativos en la deflexión.

Una oportunidad de negocio

Son tan amplias las bondades del concreto celular, que se puede considerar la fabricación de concreto celular como una de las oportunidades más atractivas y novedosas para los emprendedores del sector de la construcción.

El Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, IMCYC, tiene un proyecto prometedor, y lo que es mejor, está en espera de emprendedores que exploten sus investigaciones y aprovechen su asesoría.

Heraclio Esqueda, Presidente del IMCYC, explica que las investigaciones acerca de las propiedades de habitabilidad de las viviendas construidas con concreto celular arrojan ventajas sorprendentes. El concreto celular no se pudre, no se quema y es resistente a las termitas. En una palabra protege la vida, detalla Esqueda.⁵

Las ventajas

La planta puede ser móvil y levantarse a pie de obra para evitar gastos de transporte y ganar tiempo.

Una planta de concreto celular puede producir el material necesario para levantar una casa al día.

Este material no solamente reduce costos sino que evita el desperdicio, que en las técnicas convencionales de construcción es de al menos diez por ciento. Esta cualidad se debe a que las placas de concreto celular pueden ser cortadas y clavadas, como si se tratase de madera.

El concreto celular es resistente al impacto y a la compresión. Es eficaz y seguro en todo tipo de terrenos ya que por ser ligero, los sismos actúan con mucha menor intensidad sobre estas estructuras.

Para invertir en un negocio de concreto celular, no se necesita ser ingeniero o arquitecto, ni tener experiencia en el ramo sólo es necesario ser un buen emprendedor y un buen comerciante, dice Esqueda.

MAQUINAS PARA PRODUCCIÓN DE ESPUMA

MODELO	Producción en metros ³ /hora	Costo L.A.B. Mérida + IVA
C.C.S / 0.5	1/2	\$ 288,312
C.C.S- 1	1	\$ 386,110
C.C.S- 2	2	\$ 474,816

5. Lourdes Ezquivel /Com. Nal. Prom. Neg./ Entrevista con Heraclio Esqueda, Presidente del IMCYC

Aditivo Espumante BM. \$42 por litro. + IVA. (\$ 48.30)

Presentación: Porrones de 20 litros y Tambores de 200 litros.⁶

Dosificaciones básicas iniciales para producir un metro cúbico de concreto celular.⁷

Para densidad 1600 Kg./m³:		Para densidad 1400 Kg./m³:	
cemento:	300 kg.	Cemento:	250 kg.
Arena:	1200 kg.	arena:	1050 kg.
agua:	120 kg.	agua:	110 kg.
espuma:	450 lts.	espuma:	520 lts.
fibra polipropileno:	1 kg.	fibra polipropileno:	1 kg.
Para densidad 1200 Kg./m³:		Para densidad 1000 Kg./m³:	
cemento:	240 kg.	Cemento:	225 kg.
Arena:	870 kg.	arena:	680 kg.
agua:	100 kg.	agua:	95 kg.
espuma:	620 lts.	espuma:	685 lts.
fibra polipropileno:	1 kg.	fibra polipropileno:	1 kg.
Para densidad 700 Kg./m³:		Para densidad 500 Kg./m³:	
cemento:	210 kg.	Cemento:	200 kg.
Arena:	400 kg.	arena:	215 kg.
agua:	90 kg.	agua:	85 kg.
espuma:	900 lts.	espuma:	1250 lts.
fibra polipropileno:	1 kg.	fibra polipropileno:	1 kg.

El **aditivo espumante** rinde/proporciona un promedio de 560 litros de espuma por litro de aditivo.

El generador de concreto celular, varía sus características entre uno y otro fabricante. A continuación las características de uno de los equipos que presentamos, el que tiene capacidad de producción de 2 m³/hr. de concreto celular.

El equipo es autosuficiente, es decir, no requieren de otras maquinas para generar concreto celular; cuenta con dos secciones, una sección de generación de espuma y una sección de homogenización de materiales.

Su base consiste en un chasis metálico, posee llantas para su transporte y anclaje para camión, su cajón metálico lo protege de caída de materiales en obra, este equipo es de capacidad de 5 lts. / seg. en espuma y genera 2 m³/hora de concreto celular.

6. Bufete de Ingeniería de Yucatán S.A. de C.V.

7. <http://www.buiny.com.mx/index.php?modulo=contenido>

El generador de concreto celular es una planta móvil, transportable, con neumáticos, requiere de dos operarios, es fácil de operar y su diseño es versátil.

Forman parte del sistema controles digitales de funciones, horómetro, reguladores manuales, temporizador digital para producción exacta.

Su funcionamiento es eléctrico con energía trifásica 220 V, ó, un motor de combustión interna; diesel o gasolina.

Posee protección contra fuego, contra picos de voltaje, además contiene un kit viajero que consiste en herramienta y accesorios como; regulador, una válvula especial, cables, llaves de paso, esto con el fin de repararla por si es requerido.

Además cuenta con software para computadora para cálculo de densidades, dosificaciones, producciones, costos, algunos cálculos rápidos, todo en CD para ser operado en lenguaje EXCEL. Las refacciones son fáciles de conseguir; esta ensamblada con partes de marcas reconocidas, por lo que cualquier repuesto se consigue en ferreterías. La asesoría en la utilización del equipo va acompañada de cartillas; manual de operación, además cuenta con servicio 24 horas con asistencia técnica vía Internet o teléfono de por vida. La vida útil del equipo generador de espuma para el concreto celular son 6000 horas de operación (reemplazo de bomba preventivo), luego del reemplazo de la bomba se tendrá un equipo nuevo, listo para funcionar otras 6000 horas.

CONCLUSIONES

Las aplicaciones para el empleo del concreto celular están únicamente limitadas por nuestra imaginación: es tan grande su versatilidad que permite crear elementos con una gran variedad de formas, diseños y sistemas estructurales.

Hasta ahora en nuestro país su empleo se ha limitado a trabajos secundarios, por la falsa información que se ha manejado, se le ha utilizado en su mayoría como concreto no estructural.

Sin embargo, la gran demanda de vivienda de interés social en México nos lleva a pensar en la posibilidad de utilizar el concreto celular como alternativa de construcción.

No obstante, el cambio no siempre es fácil en nuestra industria. Cuántas veces oímos decir, “yo he hecho esto de esta manera durante X número de años, y siempre ha dado buenos resultados”. Este tipo de comentarios me hace reflexionar que debemos difundir y acercar al constructor, el mensaje de las bondades de los concretos ligeros.

Los reglamentos también pueden ser un amigo o un enemigo. Para mi conocimiento, todos los reglamentos modelo más importantes reconocen actualmente el uso de los concretos celulares y las fibras. A pesar de esto, los reglamentos en México prácticamente no contemplan el uso de fibras y limitan el uso del concreto celular a elementos no estructurales.

Un ejemplo es el caso del estado de Florida, entidad que reconoce a las fibras como algo igual a las mallas de alambre soldadas sobre silletas. Esa posición del reglamento hace de Florida el mercado de fibras número uno en los Estados Unidos. Algunos estiman que el 20% o más de los metros cúbicos en el estado tienen fibras.

En el otro extremo de la curva, hay lugares en donde los reglamentos son prohibitivos y su uso se acerca a cero.

Todo lo anterior, nos motiva a pensar en los concretos ligeros como una oportunidad en la Industria de la Construcción, para aprovechar sus ventajas y ayudar a dar solución al déficit de vivienda de interés social en México.

Así, como se menciona al principio acerca del concreto celular, con el objeto de:

- a) Aprovechar sus características térmicas en la construcción de vivienda;
- b) Estudiar la posibilidad de emplearlo como prefabricado para poder dar a la población paquetes que puedan adquirirse en forma modular y progresiva;
- c) Propiciar que los jefes de familia construyan su vivienda, dada la facilidad de manejo y bajo peso;
- d) Bajar el costo de construcción y ahorrar consumo energético.

El mercado potencial para las viviendas de concreto celular en México, lo representan los siete millones de viviendas que se requieren en todo el país.

BIBLIOGRAFIA.

A. Vance Pool/ National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). *Revista Concrete In focus/ 2007.*

Ayala Izaguirre María de/ Tesina/ *Diplomado Obras de Concreto Facultad de Arquitectura de la UNAM y el IMCYC.* <http://www.imcyc.com/revista/1998/julio/aireado.htm>

Bufete de Ingeniería de Yucatán S.A. de C.V.

<http://www.buiny.com.mx/index.php?modulo=contenido>

<http://www.imcyc.com/ct2008/oct2008/ingenieria.htm>

Lourdes Ezquivel /Com. Nal. Promoción Negocios/ *Entrevista con Heraclio Esqueda, Presidente del IMCYC*

Lourdes Ezquivel /Com. Nal. Prom. Neg. / *Entrevista con Pedro Morales Ramírez, gerente de Practicasa México*