

## CICLO DE CONFERENCIAS TECNOLÓGICAS 2001

El próximo miércoles 09 de mayo, en los Salones de la Cámara, entre las 13:15 y las 15:00 horas, se realizará la Tercera Conferencia Tecnológica correspondiente al Primer Ciclo del presente año, organizada por la Comisión de Tecnología e Innovación de la Cámara Chilena de la Construcción, cuyo expositor será el Arquitecto, señor Rodrigo Bravo del Campo, quien desarrollará el tema: "**Fabricación y uso de Hormigones Celulares Autoclavados.**"

### TEMARIO

- 1.- **QUÉ ES EL HORMIGON CELULAR AUTOCLAVADO:** Especificaciones generales de componentes y sistema de producción de bloques de hormigón celular autoclavado
- 2.- **PROPIEDADES DEL HORMIGON CELULAR AUTOCLAVADO:** Descripción de las diferentes características que proyectan a este producto, como una de las mejores alternativas para construcciones que contemplen ahorro energético y standar de confort a bajo costo.
- 3.- **SISTEMA CONSTRUCTIVO EN HORMIGON CELULAR AUTOCLAVADO:** Descripción de tabiquerías no soportantes y muros estructurales armados y confinados en hormigón celular autoclavado.
- 4.- **TRABAJABILIDAD:** Posibilidades de modelación en hormigón celular autoclavado.

### CURRICULUM VITAE

(expositor)

**Sr. Rodrigo Bravo del Campo**, es Arquitecto de la Universidad de Chile y Gerente Técnico de Hebel Chile S.A..

Participante en Norma Chile NCH2432, Bloques Macizos Hormigón Celular Autoclavado.

Desde 1999 se ha desempeñado en el área técnica y de desarrollo del sistema constructivo de albañilerías en bloques de hormigón celular.

Ha publicado numerosos artículos relacionados con su especialidad y desarrollado proyectos y ejecuciones como profesional independiente.

Agradeceremos a Ud. Confirmar su asistencia, y la de los profesionales de su empresa, a los teléfonos 3763364 ó 3763362, antes del 08 de mayo, a las 17<sup>00</sup> horas. **NO SE ACEPTARÁN INSCRIPCIONES POSTERIORES.**

Recordamos a Ud. que el cupo es limitado, y que el valor de la inscripción es de \$ 4.500, e incluye un almuerzo frío.

SANTIAGO, 02 de mayo de 2001

Nº 337/

- 09676 -



CAMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN  
Comisión de Tecnología e Innovación

---

TERCERA CONFERENCIA TECNOLÓGICA  
9 de Mayo de 2001

EXPOSICION SR. RODRIGO BRAVO –  
Gerente Técnico - HEBEL CHILE

“Fabricación y uso de Hormigones celulares autoclavados”

El hormigón celular autoclavado HEBEL es una mezcla de arena de sílice, cal, cemento y yeso. Esta mezcla genera una expansión producto de las burbujas (véase en foto) poros que equivalen a entre el 70% u 80% del volumen del hormigón celular autoclavado. Son poros muy pequeños, perfectamente esféricos o casi perfectamente esféricos, y son distribuidos homogéneamente en la masa del material.

Se trata de un material absolutamente macizo e isotrópico. No tiene perforaciones, ni grandes diferencias en su conformación de masa. Tiene una baja densidad que oscila entre los 500 y 700 kilos por m<sup>3</sup>, con una variable de 200 kilos por m<sup>3</sup>, dependiendo del tipo de hormigón celular, lo cual está reflejado en la norma del hormigón celular chileno, y en todas las normas internacionales.

HEBEL produce un hormigón celular G4, conocido internacionalmente como GP4, que cae en la categoría de los 700 kilos por m<sup>3</sup> y que es el que se ha determinado producir para Chile, ya que sus características de resistencia son las necesarias para cumplir con los requerimientos sísmicos del país. También existe un hormigón celular mundialmente conocido como G2 o GP2, que tiene una densidad, de acuerdo a la norma chilena máxima de 600 kilos por m<sup>3</sup>.

La diferencia entre el requerimiento de material inicial y el volumen que se obtiene finalmente (véase foto) es aire, las burbujas antes mencionadas, que permiten que el material sea liviano, con las capacidades de aislación que presenta y sea inmensamente manejable y trabajable.

Proceso de producción del hormigón celular autoclavado (véase foto):

El proceso de producción parte con la mezcla de cal, arena, cemento y el agente expansor, que es un polvo aluminio y agua. Todo esto se mezcla a través de un gran mezclador, produciéndose la inyección del agente expansor en la última fase, justo antes de mandarlo al molde. Esto es una reacción sílico - calcaria, que caracteriza al hormigón celular autoclavado, como por definición.

El yeso tiene una mínima proporción del 1% al 2% de la mezcla y no tiene otro fin ni reacción que el regular el proceso de fraguado, particularmente el de la cal, cuyo fraguado es difícil de controlar cuando está pura.

El aluminio que se incorpora en la última fase en el tambor de mezclado, genera una reacción inmediata dentro de este medio alcalino, y genera millones de burbujas de gas de hidrógeno las que conforman, en definitiva, el hormigón celular. Esto se mezcla y se vacía aproximadamente hasta la mitad del molde. La reacción que se produce empieza a generar burbujas y crecer exactamente como lo hace un queque en el horno, aumentando de volumen hasta llegar al volumen final total del molde. Una vez que se llega al nivel requerido en el molde, se espera unos minutos, se mide con instrumentos y se levanta el molde perimetral por un puente grúa.

Queda el gran bloque de hormigón celular de 6 metros de largo, cuya característica recién desmoldado, es que es autosoportante en cuanto a densidad, ( como mantequilla, se le puede meter un dedo y dejar la forma, por ejemplo). Es de un color gris, como una mezcla cementiza cualquiera y está húmedo a altas temperaturas.

En este momento, entra en un carro que pasa por la máquina de corte, la cual corta este gran bloque de hormigón celular con alambres de acero de acuerdo a las medidas que han sido requeridas en todas sus dimensiones. (Véase en foto muestra de bloques de dos tipos, el bloque grande para tabiques y el bloque para estructura). La máquina se regula antes que pase el gran molde, y una vez que el molde sale, presenta su dimensión original de los 6 metros, pero precortado ya en los bloques definitivos que saldrán al final del proceso.

Estos grandes moldes se juntan en una especie de línea de tren que entra en un gran autoclave de cerca de 40 metros de largo para un proceso de fraguado, que junto con la dosificación, y después de aproximadamente 12 horas de proceso total, a una temperatura máxima, en un peak cercano a los 200° y a una presión aproximada de 12 bar en el autoclave, le permiten al hormigón celular autoclavado las características estructurales que lo definen, su resistencia y su escasa retracción.

Después de este proceso, una vez salido del autoclave queda un gran bloque, que no es otra cosa que una sumatoria de bloques (ver muestra) que se separan y se paletizan para ser distribuidos en el mercado. HEBEL Chile distribuye los bloques de hormigón celular en palets de aproximadamente 2 m<sup>3</sup> que vienen con un foil plástico y son puestos en terreno de acuerdo a los requerimientos del cliente.

Es importante aclarar que el hormigón celular es un producto en bloques, de los cuales hemos estado hablando, y también en paneles. En el caso de los paneles, hay refuerzos metálicos dentro del molde, de tal modo que al vaciar la masa, ésta se expande dentro de los aceros incorporados. Luego, se corta en bandas largas, en vez de bloques, generando paneles de 6 metros de largo, que es el largo total del carro. HEBEL CHILE desarrollará este producto en un futuro próximo.

Resumen de características muy importantes en la concepción intelectual que justifica el uso del hormigón celular (aplicado a bloques, que es lo que HEBEL está produciendo hoy):

Estabilidad dimensional: los bloques de hormigón celular HEBEL tienen una distorsión de un milímetro máximo en cuanto a su forma, lo cual permite tener un control real de las dimensiones de lo que se quiere realizar.

Las unidades de hormigón celular se pegan entre sí con un mortero. El mortero es predosificado en base a cemento, lo que ha sido largamente estudiado por HEBEL CHILE y HEBEL Internacional a través del tiempo, y tiene una resistencia muy importante, sobre los 100 kilos, con un espesor aproximado de 3 mm. En la muestra de un muro cortado (ver foto), se puede ver la pega es de 3 mm horizontal y verticalmente.

Por la precisión de los bloques y de la pega, se puede llegar a establecer albañilería muy simple y con no tantos cuidados en la mantención exacta de las líneas y escantillones en obra. Manteniendo un nivel claro y fijo en la primera hilada se puede llegar arriba con una diagramación bastante precisa.

La estabilidad dimensional de los bloques permite también realizar muros, que con una buena mano de obra, están virtualmente terminados y con una deformación virtualmente cero, lo cual redundará en que las terminaciones y el desarrollo de los insumos complementarios como estucos, revestimientos, etc., sean de muy bajo costo y muy simples de aplicar.

Bajo peso: los bloques de hormigón celular son de muy bajo peso, lo cual tiene ventajas de costo, movilización y administración de obra. El material es muy fácil de llevar, los maestros se cansan poco

al colocarlo, lo que les permite obtener mayores rendimientos. Por otro lado, es fácil de manipular en todos sus usos.

Buena resistencia a la compresión: El hormigón celular cumple la norma chilena que hablan de 50kilos por m<sup>2</sup>. HEBEL está llegando a sobre 60 k por m<sup>2</sup> en la producción local.

Resistencia acústica: es un material, que pese a su baja densidad y aunque esto no guarda relación directa con la Ley de Masas que todos conocen, presenta muy buena resistencia acústica.

Resistencia al congelamiento.

Resistencia al agua: es un material que sin ser impermeable, y pese a ser poroso, resiste muy bien la acción del agua.

Fácil de trabajar: si se pudiera hacer una analogía con algún material en este campo específico, se podría decir que los bloques de hormigón autoclavados son homologables a un tablero MDF, el cual se puede cortar, ranurar, lijar, moldurar, pasar por una tupi, y lograr casi todas las formas deseadas.

Permeabilidad al vapor: presenta una muy buena permeabilidad al vapor, lo cual permite estabilizar muy bien los recintos.

Resistencia al fuego: presenta una extraordinaria resistencia al fuego. HEBEL tiene resistencia al fuego de F-180, F-150 en espesores bastante bajos.

Aislante al calor y al frío: es un producto extraordinario como aislante al calor y al frío, dos de las más importantes características por las cuales HEBEL es conocido alrededor del mundo.

Nuevo Resumen de propiedades (ver foto)

Dimensiones precisas y estables y bajo peso: permite construir y diseñar fácilmente con un módulo muy conocido y fácil de predeterminedar.

Con una pala de cabeza dentada , que se pone en el balde donde está desarrollado el mortero predosificado, con dientes similares a los que se ponen en los adhesivos de cerámicas, permite, al aplicarlo sobre el bloque, exactamente el espesor de pega que se necesita, predeterminedado por la herramienta en sí, y no por la interpretación de una persona. Por ejemplo, capa de mortero de cola, que es la capa del mortero de capa delgada, que tras los 3 mm tiene muy buena resistencia a la compresión, es muy simple de colocar y es bastante estándar la huella que va dejando por la precisión de las herramientas y lo simple del proceso.

Gran aislante térmico y acústico: regula favorablemente la temperatura interior, pues pese a que normalmente se asocia a los elementos de masa con una buena inercia térmica, el hormigón celular tiene la característica de que, a pesar de ser un material con baja densidad, absorbe importantes cantidades de calor y las libera en un tiempo muy adecuado. Variable de análisis termodinámico, y no estático, que permite que el hormigón celular sea un buen material para ser aplicado en zonas con importantes diferencias de temperatura entre el día y la noche.

Protección eficaz y segura frente a las condiciones climáticas extremas: el hormigón celular HEBEL ha sido aplicado en países como Kuwait, Estados Unidos, Alemania, que son polares en cuanto a sus climas, y a sus requerimientos de congelamiento. Países de altas humedades y altas temperaturas. La experiencia de HEBEL en más de 30 países del mundo permite, después de 50 años, conocer cuál será su comportamiento y resistencia en términos claros, en el largo plazo, ante las más altas exigencia climáticas.

Comparación de pesos (aproximados) entre materiales conocidos:

Hormigón celular	:	700k por m <sup>3</sup>
Hormigón armado	:	2.400 k por m <sup>3</sup>
Ladrillo macizo	:	1.800 k por m <sup>3</sup>

Es importante considerar que la relación de peso tiene incidencia, no solamente en la manipulación y factura de lo que son los muros, sino también en lo que es la estructura a la larga, dado que se le entrega a la estructura del edificio menor peso - en definitiva - menor masa, lo cual aligera o alivia en la medida que las estructuras son más complejas, o más altos sus requerimientos frente a esfuerzos sísmicos. Esto también es aplicable a lo que se traspa a la fundación, lo cual, a la larga, debiera llevar a una economía final en la elaboración de estas estructuras.

Por un problema de espacio, no se pudo mostrar lo que se hace normalmente, esto es un acuario donde se deja flotando un bloque por largo rato, y demostrar básicamente dos cosas (véase foto): el bajo peso del bloque con relación al peso del agua, un bloque de hormigón celular debiera flotar largamente, uno o dos días (se ve en la foto y se demuestra al tirar un trozo de bloque y tirarlo al agua).

La absorción es muy importante y muy particular del hormigón celular autoclavado. El hormigón celular tiene, como ya se ha dicho, millones de burbujas (véase foto). Como se trata de un gran molde que se corta y existen muchas burbujas ubicadas en las caras del bloque, burbujas de borde, que son a su vez cortadas, y aunque el hormigón celular es muy homogéneo, y es muy regular en su conformación, existe un porcentaje de conexión entre poros que no

están totalmente aislados por la película de hormigón, lo cual genera, que al entrar en contacto con el agua, el agua llena las cavidades que están cortadas en contra del agua y los conductos que quedan entre esas burbujas, y las burbujas que están adentro empiezan a llenarse de agua inmediatamente.

Esto se produce y se agota en torno a la pulgada, los dos centímetros de espesor, o de profundidad en relación con cada cara expuesta al agua. Esto quiere decir que los conductos que comunican burbuja con burbuja, por proporción se acaban en torno a la pulgada de la cara expuesta al agua hacia adentro, lo que implica que la pulgada se satura rápidamente. Si se mete un bloque al agua, se deja ahí por cinco minutos y luego se corta, se ve que en torno a los dos centímetros, probablemente menos, por el corto lapso de tiempo, se satura y queda como un queque de dos colores. La cara interior y la exterior, totalmente secas.

El proceso de absorción final se produce a través de los microporos que están en torno a las cavernas que van envolviendo estos poros de aire que avanzan a nivel de vapor de agua y van condensando y llenando las burbujas, lo cual hace que el avance del agua sea realmente muy lento. Se trata de un proceso interesante de ver, teniendo por supuesto en cuenta que si se hace con una muestra pequeña, donde se habla de aproximadamente una pulgada por cara, ésta se saturará rápidamente, con dos pulgadas por lado y lado, lo que no sucede con un bloque entero.

Comparación (cuadro alemán) de absorción de materiales: al comparar el hormigón celular con otros materiales estándar, como por ejemplo, el ladrillo macizo o el yeso (Nº 6). Claramente se aprecia la diferencia de absorción real que existe entre un material y otro.

Si bien es cierto el hormigón celular tiene una absorción baja de agua, no es un material impermeable, y aunque la colocación del adhesivo y la construcción de la albañilería es técnicamente un método muy simple y de muy pocas posibilidades de error, siempre pueden haber factores humanos que causen que las juntas no queden en un 100% perfectas, o pueden haber instalaciones eléctricas, sanitarias o de otros tipos que rebajen el espesor del muro y generen puntos en los cuales pueda entrar la humedad dentro de la vivienda o traspasar un muro. Por esta razón, el sistema constructivo HEBEL contempla estucos hidrófobos y permeables al vapor.

La precisión de las albañilerías, sobre la base de bloques de hormigón celular autoclavado, permite desarrollar estucos muy delgados. HEBEL tiene dos clases de estucos, el grueso y el delgado. El delgado es un estuco que parte en 5 milímetros de espesor, hasta una banda de 10 milímetros recomendables. Entre 5

y 10 milímetros que son absolutamente hidrófobos, y con una muy buena permeabilidad al vapor. El estuco grueso, que parte en 10 milímetros y termina en 30 a 35 milímetros, de acuerdo a lo que se requiere en obra.

Básicamente, esta diferencia de estuco se produce por desaplomes de moldajes (de cadenas, vigas, pilares, etc.), ya que en una apertura de un moldaje, al sobrepasar los cinco milímetros del estuco delgado, inmediatamente se pierde la eficiencia que se puede llegar a obtener. Por esto, es que es importante concebir las estructuras y los sistemas constructivos para aprovechar los plomos que permite el hormigón celular.

Cuadro de relación de tamaño (véase foto): es importante tener la relación entre el tamaño del ladrillo standard, del bloque estructural HEBEL y del tabique HEBEL. El ladrillo, todos lo conocemos (véase foto).

Un bloque que tiene 60 centímetros de largo y 20 de alto, y tiene espesores a partir de 15 centímetros, cada dos centímetros y medio. Esto es, 15 cm , 17,5 cm, 20 cm y otro espesor requerido por arquitectura o por alguna otra razón. Esa es más o menos la relación de superficie entre uno y otro con la cantidad de bloques por área. Y el bloque de tabiques (véase foto), que es un bloque, en este caso, de 60 X 40 de alto y 10 cm de espesor. También tenemos en 7,5 y en 12,5 cm, y la relación que hay de bloques para una superficie medianamente equivalente.

Estas relaciones de tamaño conllevan a una relación de velocidad mayor y esfuerzo menor al levantar los muros que debería reflejarse en el rendimiento, y por lo tanto, también en obra. Como ya se dijo, si se pudiera levantar una pared, por ejemplo, una pared industrial, en la cual no hay vanos, la diferencia entre un sistema y otro puede llegar a ser sideral. HEBEL puede levantar 40 m<sup>2</sup> día, sin vanos, trabajando sí con maestros con experiencia, en bloque de tabiques.

Comparación de Resistencia al Fuego: el hormigón celular tiene una extraordinaria resistencia al fuego (según gráfico) entre 30 y 180 minutos.

Normalmente las plantas HEBEL en el mundo, parten produciendo bloques de 5 cms. En Chile no se ha hecho aún, básicamente por un tema comercial, se ha querido introducir los productos con calma, tener claro los pasos que se están dando. Los bloques de cinco centímetros son bloques que se usan para casos muy específicos, que no tienen que ver con elementos estructurales ni tabiques, sino con suplementos térmicos a otros materiales, con paños bajo la cara de elastina, o cosas muy simples. Es un producto que aún no se está desarrollando, y es por eso que se verá que los bloques HEBEL parten en un F – 60.

El bloque HEBEL de 7,5 cm tiene un F-60, y ya el de 10 cm, que es un bloque de tabique, tiene un F-150. El de 15 cm de espesor, que es un bloque estructural, F-180.

Cuando HEBEL realizó los ensayos en IDIEM, con 15 cm, tuvo la sorpresa que una vez cumplido el F-180, para seguir a la etapa siguiente, hubo que parar el ensayo, sin saber hasta dónde podían llegar los bloques, ya que, sobre un F-180, los hornos de IDIEM se empiezan a dañar, estando los muros de HEBEL a sólo 40 y 60 grados, lo que permitía mucho más tiempo de exposición.

Por otro lado, después del ensayo por norma, en que se mantienen los muros a mil y tantos grados por más de tres horas y luego se desarman, el nivel de degradación que presentan no es más de un centímetro y medio. Se puede incluso raspar un centímetro y medio y la degradación no pasa más allá que esa dimensión. El muro sigue manteniendo sus características exactamente iguales que cuando fue construido.

En un estudio realizado en Alemania, estudio virtualmente imposible de realizar en Chile, HEBEL ha validado la conductividad térmica del material. Es un estudio en que un muro pintado de negro se expuso a un ciclo solar completo y se revisó la temperatura interior y la variación que hubo entre esta cara super expuesta exteriormente y la cara interior, la variación fue de 2 grados Celcius durante todo el ciclo. El ensayo fue realizado en 240 milímetros, lo que muestra las verdaderas características de aislación que tiene el muro de hormigón celular.

Comparación de la conductividad térmica con algunos materiales conocidos como hormigón celular en 0,16, ladrillo y hormigón armado:

En el muro de hormigón celular es muy fácil regular las humedades internas de las viviendas, estabilizar térmicamente, consiguiendo una muy buena resistencia, por condensaciones, sin materiales complementarios (sin forros, sin estucos, sin placas, u otros materiales), bajando considerablemente los costos.

En cuanto a las soluciones acústicas del hormigón celular (véase gráfico), se puede llegar a aislaciones de alto nivel, con un simple sándwich, de una doble pared de hormigón celular.

En la práctica, y aunque, tal como se comentó, la Ley de Berguer, relaciona la masa con la aislación acústica, el hormigón celular, por el hecho de ser una masa homogéneamente distribuida, hace que las ondas vibren y reboten dentro de estas burbujas, de tal forma que se modifica favorablemente (de acuerdo al manual RILEM) la fórmula y el logaritmo específico para calcular la reducción de

decibeles (los que se muestran son valores de laboratorio), dado a que su estructura permite que aisle mucho más que un material isotrópico de otras características, lo que permite llegar a los valores de aislación que se presentan (véase gráfico), siempre con el material sólo (sin estucos, ni placas, ni yeso, ni otros materiales de otra naturaleza).

- Presentación de los materiales básicos de preparación para hormigón celular: el palet con su presentación en foil plástico, los morteros pre dosificados, recuérdese que el hormigón celular, como sistema constructivo, se compone de los bloques propiamente tales y de los morteros secos.

HEBEL CHILE tiene desarrollados como morteros secos, el adhesivo, los dos estucos, grueso y delgado, y un mortero de reparación.

El mortero de reparación es en términos simples, un bloque de hormigón celular que se muele a una cierta ergonometría, se seca y se mezcla con cemento blanco, aditivos y expansores que permiten generar una masa muy similar ópticamente a la del bloque, de una densidad casi idéntica, y que una vez aplicado se puede trabajar de igual forma, se puede lijar y tiene las mismas características del bloque original y permite reparar con una retracción mínima en el relleno (ver fotos de aplicaciones hechas en obra en que prácticamente no se puede diferenciar lo que está reparado de lo que no lo está).

Instrucciones de preparación: se llena con agua, se vacía el saco, con un taladro que se pone en este molinito, que revuelve la mezcla hasta que queda una masa homogénea, y luego se aplica con la cuchara que ya se revisó, de la cual existe una para cada espesor.

Su aplicación es muy simple, tanto que en países como Alemania, donde la mano de obra es carísima, uno de los puntos de venta importantes del hormigón celular, es el mercado retail, donde las familias mandan a hacer un radier, compran un modelo de vivienda y levantan (mezclan y paran) las casas con estos insumos por sus propios medios. Posteriormente una empresa solo chocletea por dentro y por fuera. Los plomos en este tipo de construcción son más difíciles de lograr, pero la colocación es muy fácil.

- Juego de herramientas estándar para la colocación de hormigón celular: las palas, en distintos espesores; un martillo de goma, con el cual una vez aplicado el mortero en la cara vertical y horizontal, se asienta de forma de asegurarse que reviente la junta, que haya un 100% de adherencia; un nivel, un angulito, que marca el corte; un serrucho, que tiene un recubrimiento de

vidia, en los dientes para su duración, (se podría cortar con un serrucho común y corriente); un platacho con lija que permite lijar y nivelar la superficie en forma muy rápida, y un platacho con dientes de fierro, parecido al de los yeseros, que permite desvastar superficies con desnivel un poco mayor.

- Proceso elusivo directo sobre el muro (ver foto): se prepara la base lijando, en el caso de la cerámica ésta se pega directo sobre el bloque,....e impermeable.

Véase fotos SHOW-ROOM en planta:

- Sierra eléctrica: otra herramienta recomendable para obras de mediano tamaño hacia arriba que requiere muchos cortes y mucha precisión, es la máquina de corte, similar a la sierra huincha de un carnicero, con diente de vidia, a baja velocidad, para evitar levantar polvo, permite hacer cortes muy precisos y con mucha rapidez (un bloque en 10 segundos).
- Sistema constructivo HEBEL: se exponen herramientas, morteros, el espesor de los bloques con las palas correspondientes.
- Tipos de muros, por ejemplo, muro curvo en base a bloques marcados y cortados con sierra eléctrica, y posteriormente lijados. Esto para demostrar la trabajabilidad del hormigón celular.

En términos de estructura, se puede hacer albañilerías armadas y confinadas. Para albañilería armada el bloque viene con perforaciones incluidas, listas para su realización, y es en la práctica, el único bloque no absolutamente isotrópico que se trabaja.

Los bloques macizos son para albañilerías confinadas o tabique no estructurales.

HEBEL Chile ha estado realizando, por más de un año y medio, una serie de análisis y ensayos junto con el Instituto de Construcción de la Universidad Católica para desarrollar un Manual Estructural y Sísmico para el Sistema Constructivo HEBEL, certificado por dicho Instituto, en el cual se recomendará el buen uso y el cálculo de la albañilería en hormigón celular autoclavado y que servirá de base a la norma chilena de hormigón celular en lo que se refiera a su cálculo y resistencia sísmica.

Tabiques: el tabique usa platinas metálicas cuya característica es que son muy trabajables y se pueden doblar. Son los anclajes de los tabiques de hormigón celular a las estructuras que permiten que tengan un agarre

en la fuerza perpendicular al plano, pero con una dilatación completa en el perímetro, de tal forma que la estructura se deforme, sin traspasar cargas a los tabiques.

Los bloques U, se pueden utilizar como moldaje, solamente cuando su espesor es de 17,5 o 20 cm, razonable como viga, de tal forma de evitar el uso de moldajes de madera y albañilería completa en hormigón celular, hormigonar la cadena, y recién comenzar con la techumbre, sin requerir aún de carpinteros, ni perder moldaje. Todo queda incorporado a este sistema constructivo a modo de moldaje.

Véase fotos SHOW ROOM:

- Los bloques de tabique, que siempre salen del autoclave como prismas macizos, se pueden trabajar para satisfacer los más variados diseños requeridos por arquitectura, incluso en detalles, sin tener que disponer de otro material, otro subcontrato y probablemente maestros-artistas. Solamente el albañil corta lo deseado de acuerdo a una plantilla determinada, permitiendo llegar a soluciones de arquitectura de muy buen nivel, con menor margen de error, menor tiempo y más bajo costo.

DIPOSITIVAS:

Proceso de obra en instalación de tabiques:

- Trazado sobre un radier, una loza en este caso, en el cual se jiltean las platinas a la loza o muro, de acuerdo a una modelación de bloque. Se ponen dos clavos en el trazo del muro en vertical y se jiltean las platinas, se hace una película en el cuadrado - suponiendo que fuera un muro agarrado por los cuatro lados - para dilatar la estructura de hormigón celular, para en definitiva, llegar a la forma que se presenta, que no es más que la misma platina jilteada, que se dobla y hace efecto de resorte para que, al estar jilteado de la base, sea muro o loza, trabaje de este modo, generando una membrana, una dilatación entre el material que se coloca al muro y la estructura del edificio.

Como es un material de hormigón, no tiene ninguna importancia – más allá de la habitabilidad mínima - que el edificio esté en proceso de fraguado, se esté hormigonando o haya agua, ya que esto no implica ningún tipo de degradación.

El material se puede colocar rápidamente con relación a la obra gruesa del edificio. Existiendo el trazado, se empieza a colocar y levantar el muro, lo que en definitiva, permite empezar las faenas de tabiques en los edificios (mucho antes que otros sistemas a base de yeso u otros materiales, que en contacto con agua, presentan degradación).

Posteriormente, se pone una película de poliesterol expandido denso sobre el cual se asentarán más tarde los bloques. Esto, precisamente para seguir dilatando los tabiques de hormigón celular de la estructura, de tal forma que la estructura se pueda deformar, sin tirar el muro de hormigón celular, generando una membrana o una dilatación entre este elemento y la base del edificio.

- Anclaje hacia la loza (véase foto): se ha puesto la dilatación arriba y la platina quedará cazada en la junta del bloque que terminará, y el próximo bloque que llenará el vacío. El hecho que la platina este perforada permitirá que el adhesivo pase y se contacte en ambas caras de los bordes que también son cortados, de manera que no hay deslizamiento cuando se extrae la platina de la junta de bloques con mortero de capa delgada HEBEL.
- En la misma fijación contra el muro, se ve el efecto de resorte, que se menciona con anterioridad, generando la dilatación completa en las cuatro caras.
- Preparación de mortero seco en obra: es un proceso muy simple en el que se echa agua en un balde, se vacía el mortero, estando ya el taladro con el molinito o helicóptero, y una vez completo se genera la mezcla.
- Los muros terminados: pueden llegar a plomos virtualmente perfectos, si la mano de obra tiene alguna mínima capacitación. No hay desaplomes.
- Muro preparado para recibir pasta.
- Cocina en la cual ya se encuentra hecho el trazado para cerámica en algunos muros y muebles en las otras zonas. Se trata de muros que permiten la aplicación directa de materiales como la cerámica, por ejemplo.

HEBEL tiene un estudio con tarugos y anclajes de fijaciones tipo fichas (fijaciones plásticas), las cuales permiten con tarugos plásticos convencionales llegar a 200 kilos de tracción por unidad, se trata de mucho peso con pocas fijaciones simples.

- Muro tal como quedó: Se lija, se pone la cerámica en forma directa y se acaba el muro.
- Muro de hormigón parte de la estructura del edificio, el cual tuvo que ser tratado para poder recibir la cerámica. Los otros muros listos para ser trabajados.
- Muro ya empastado dentro del mismo edificio (listo para recibir papel en este caso). La pasta una vez aplicada en el muro, básicamente lo

que hizo fue tapar poros y minimizar imperfecciones, el muro quedó de tan buena calidad que ni siquiera los bloques se alcanzaron a tapar totalmente.

- Shaft : el producto es muy cortable y el hecho de que sea isotrópico, macizo por todos sus lados, permite que se pueda reutilizar los trozos de despunte, en cabezas de muro, en shafts y en lugares donde no se requieren bloques enteros. Esto hace posible llevar las pérdidas a cuantías muy bajas, con una administración bastante simple de obra.
- Reutilización de bloques que no fueron utilizados en la primera dimensión en un departamento que fue asignado para tales efectos.
- Pieza de dintel de 1, 20 m de largo, que viene con canalización para que poner 1 fierro, (FI-8 / FI-6. en este caso), con un mortero suficientemente fluido para que quepa en la ranura, con un grano menor, se deja fraguar, se corta, y se monta sobre los vanos dejando un traslape de aproximadamente entre 20 y 25 cm sobre el hombro, lo que permite entregar soluciones completas e integrales solamente en Hormigón celular, sin necesidad de mezclar con otros materiales.
- Herramienta para canalizaciones eléctricas: es una herramienta muy barata, que permite una canalización perfecta, muy rápida, simple y de bajo costo.
- Mortero reparador en canalización reparada: una vez aplicado y lijado, es virtualmente una recomposición del mismo bloque, lo cual permite entregar una superficie muy homogénea y minimizar los posibles riesgos por fisura de retracción o comportamiento distinto por contracción o dilatación térmica.
- Reparación en la parte sanitaria: aunque todavía un poco húmedo, el mortero quedará del mismo color y los muebles serán aplicados directamente sobre el muro.
- Cornisa lista para recibir papel: representa la perfección del sistema constructivo HEBEL, material de hormigón, con muy buenas características térmicas y acústicas que permite, pese a ser albañilería de muy simple colocación y de tecnología conocida por todo el mundo, muros virtualmente terminados y con una gran presentación.
- Comparación con lo que originalmente fueron los sistemas de bloque en cuánto al avance que HEBEL CHILE ha logrado en relación a su precisión y la tecnología, lo que representa la máxima de esta compañía en lo que son las albañilerías de hoy.

Exposición Sr. Mauricio Romo – Gerente de Ventas

En el mes de Julio del 2000, HEBEL CHILE comenzó a comercializar su Hormigón celular autoclavado, desconocido hasta esa fecha en nuestro país, y luego de un período de 10 meses, comienza a ver los frutos de su gestión, cuando importantes empresas no sólo de Santiago, sino también del sur de Chile lo han incorporado dentro de sus proyectos. A la fecha han vendido más de 120.000 m<sup>2</sup> de hormigón celular a 70 empresas, con un total de 100 obras.

En una primera etapa, los esfuerzos de comercialización de HEBEL CHILE han estado orientados a la Región Metropolitana por su grado de concentración, en el entendido que las características intrínsecas del producto, en especial su excelente aislación térmica, lo sitúan como uno de los materiales ideales para construir viviendas en el norte y en el sur de nuestro país.

La experiencia de HEBEL CHILE indica que una vez que una empresa compra hormigón celular autoclavado, repite la compra en otro proyecto y se transforma en un promotor del producto. A modo de ejemplo, se mencionan algunas empresas en Santiago, como Echeverría Izquierdo, que está por comenzar su sexto edificio en que emplea el producto. Las empresas Lowe y Moler e Ibsa, el cuarto; la empresa Impronta, ya lo ha usado en 4 colegios; y así, hay varios ejemplos más. Por su parte la empresa del señor Juan Carlos Ruiz de Temuco comenzó utilizándolo en un edificio de 17 pisos, con 10.000 m<sup>2</sup> de tabiques, y al poco tiempo de conocer el producto, lo aplicó en sus conjuntos de casa en desarrollo en Chillán.

En cuanto al mercado de las viviendas, los mandantes, arquitectos y constructores, entienden que con HEBEL, pueden obtener ventajas respecto de su competencia, pues además de reducir los tiempos de construcción, el material provee de importantes ahorros energéticos para el futuro comprador, lo que se traduce en un importante argumento de ventas.

La aislación térmica que presentan los muros HEBEL, es muy superior a cualquier otro material estructural de construcción, y hoy, en el Instituto de la construcción se está estudiando una proposición de modificación a la Ordenanza General de Construcción en lo referente a las envolventes de muros, y pisos de las viviendas, donde HEBEL representa una de las mejores, sino la mejor de las alternativas del mercado.

Si se pudiera resumir por qué arquitectos, ingenieros calculistas, constructores y mandantes, prefieren los productos HEBEL se podría hablar de las siguientes razones:

A los arquitectos no sólo les gusta el color blanco y la forma del material, sino también su solidez, argumento que ha servido mucho a HEBEL para la venta de tabiques.

También existen, y están dadas, las posibilidades de uso como material estructural y de relleno, con una flexibilidad y trabajabilidad que permite crear nuevos espacios, conceptos y diseños.

Por su parte los ingenieros estructurales cuentan con un programa de certificación y ensayos serios, desarrollados por el Instituto de la Universidad Católica que avalan los resultados obtenidos a la fecha.

En tanto, los constructores reciben en su obra, un producto totalmente industrializado, paletizado, sellado y con unidades estabilizadas dimensionalmente, con diferencias entre una unidad y otra que no sobrepasa un milímetro. Conocen de antemano la cantidad exacta de material que se utilizará en la obra, minimizando las pérdidas y robos. Pueden reutilizar los despuntes que se producen en la obra, pues los cortes efectuados sobre el material son tan precisos que se disminuye el volumen de escombros.

La instalación de HEBEL, es una faena en seco que no incorpora agua ni ensucia la obra. No se produce contaminación en la misma, pues HEBEL es un material inerte que prácticamente no genera polvo en suspensión.

La instalación de los tabiques HEBEL, se puede realizar a nivel de obra gruesa, la que muchas veces permite adelantar los plazos de ejecución de otras faenas. La terminación de un muro o tabique se efectúa al día siguiente que el mismo se levantó. En viviendas, la velocidad de construcción de los muros HEBEL, es muy superior al de otros tipos de albañilerías, pues su formato de mayor dimensión morteros de capa delgada y de mínimos recubrimientos, la hacen una buena alternativa.

Presenta una resistencia al fuego muy llamativa, pues en 10 cm. tiene F-150. La solidez de los muros y tabiques representa para el mandante un argumento de venta al momento de ofrecer una solución habitacional adecuada en nuestro país.

Una variable que siempre es relevante para todas las empresas constructoras es el precio y ha quedado de manifiesto que al respecto HEBEL CHILE es competitivo pues si ha incorporado su producto en más de 100 obras, en las cuales se especificaba. HEBEL CHILE tiene una relación precio calidad llamativa.

El Servicio que otorga HEBEL, no sólo consiste en entregar un buen producto en una obra y en un lugar indicado, sino también va acompañado de la asesoría en terreno, que el profesional de la misma requiere, a través de su gerencia técnica.

Entre los presentes HEBEL CHILE puede identificar a algunos de sus clientes que están empleando HEBEL, en toda la tabiquería de sus edificios, y otros, que tienen casas construidas íntegramente con Hormigón celular, y que ya están disfrutando de las bondades del material.

## RONDA DE PREGUNTAS:

- ⇒ Nosotros estamos construyendo una casa en la localidad de Pirque, entonces mi pregunta es: ¿Cuál es la técnica para poder levantar una muralla completa, si el fraguado entre las piezas no es instantáneo?

Si bien es cierto el fraguado no es instantáneo, se tiene una sensación de que el bloque ya es inamovible a la hora, a los 45 minutos. Depende mucho de las condiciones climáticas, pero cuando se avanza linealmente en los muros, y se vuelve a la cabeza del mismo muro, ese muro está absolutamente estable. De hecho, los muros de hormigón celular que se levantan en la mañana, en la tarde son absolutamente trabajables, lijables. Cuando HEBEL hace muestras, hace un muro completo de un edificio, por ejemplo, se levantan en la mañana y en la tarde se entregan trabajados, terminados y completos. Eventualmente, se pueden empezar a última hora. Es un material que queda virtualmente seco. Si se quiere sacar un bloque después de 4 o 5 horas, lo más probable es que tenga que cortar el muro y no se podrá sacar el bloque. Por eso es que permite avanzar en altura largamente.

- ⇒ Nosotros no teníamos experiencia en construcción y se pone la primera hilada, vamos a la segunda hilada y la primera no está fraguada.

Lo ideal es programar en la obra la instalación de la primera hilada continua, nivelar la primera hilada, si la base no estuvo perfecta - no hay que olvidar que tiene 3 mm de espesor, entonces... Hay dos formas de conceptualizar una obra de Hormigón celular, una de ellas, hacer una bandeja, una plataforma de trabajo perfecta, en algunas partes del mundo se hace y sobre eso se parte colocando el hormigón celular, es decir, no hay desplome, el bloque está asentado perfectamente, en términos simples, chupado sobre la base.

La otra, forma, es tener un sobrecimiento normal, en el cual se asientan estos bloques con un mortero de uno a tres normal de nivelación, se espera a que asiente esa primera hilada, que normalmente está sobre un mortero tradicional, se nivela con las herramientas que se ofrecen, y esta base, se levanta el muro sin tener ningún problema de movimientos de los bloques.

- ⇒ Todos los sistemas constructivos tienen ventajas y desventajas frente a otros, el caso del sistema HEBEL ¿cual sería - por que se

han escuchado las ventajas - su desventaja frente a un sistema de albañilería industrial o de ladrillo?

En el sistema constructivo de hormigón celular HEBEL es muy importante ser riguroso en los insumos que se recomiendan. Si se usan los insumos adecuados y se trabaja el material con la capacitación HEBEL, se obtendrá un resultado perfecto. Es importante considerar que el Hormigón celular, pese a su trabajabilidad, no es un hormigón tradicional y no es ladrillo, por lo tanto, tiene características distintas, tiene un roce diferente. Puede ser que bajo ciertos efectos, el material se despunte. Requiere de un trabajo distinto. Si bien es cierto, se repara con gran facilidad y se trabaja y se manipula fácilmente, es un material que, por este mismo hecho, requiere sensibilidad para evitar pérdidas.

En la práctica, los muros de hormigón celular no tienen tratamiento muy distinto al de otros materiales, y si se usan los insumos que HEBEL recomienda, que son fáciles de usar y para los cuales la misma empresa capacita a los usuarios en todas las obras, con una inspección bastante acuciosa, debería seguirse un procedimiento normal en lo que es una faena, y no tener ningún problema.

⇒ Una pregunta, en realidad serían tres:

Una, desde el punto de vista del proceso, es consabido que los hormigones celulares o productos autoclavados, en función de la reacción de la sílice con la cal del cemento convierten el autoclave en un verdadero reactor en el cual hay una transformación química. Normalmente estos tipos de procesos conllevan sistemas de control muy acuciosos, que no sólo implican inversión, sino también riesgo de fracaso, si estos no se respetan rigurosamente (como ha sucedido en el pasado). Esto no sólo se aplica a los bloques celulares, sino también a cualquier producto autoclavado. La pregunta concreta sería si en su proceso, estos sistemas de control estarían incorporados, que permitan, que a su vez el producto final tenga una confiabilidad más o menos estable.

Desde el punto de vista de la trabajabilidad del producto, en vista que este producto tiene una baja densidad en relación a los hormigones tradicionales o a los bloques tradicionales, la facilidad con que estos productos se puedan despuntar es muy grande, específicamente con el trato que los maestros de obra le dan. La pregunta es si dentro de la masa de estos productos están incorporados algún tipo de aditivos que permitan darle cierta elasticidad ante esta baja resistencia al impacto, producto de la baja densidad y producto de que son autoclavados.

La última sería respecto de la resistencia a la compresión, en esta tabla se habla de un valor de 50 kilos. Normalmente los bloques de hormigón tradicional están por sobre 70 kilos por cmt.<sup>2</sup> ¿Este valor

limitaría un poco la limitante de altura, desde el punto de vista de estructuralidad del sistema?

Con relación a la primera pregunta, las plantas de hormigón celular HEBEL, son plantas que corresponden a un sistema y a un diseño industrial de HEBEL Alemania, que se ha ido perfeccionando desde el año 43 a la fecha. De este modo sin temor a errar, se puede decir que la planta de hormigón celular en Chile es la planta más moderna del mundo. Se está iniciando la construcción de una planta en Kuwait, pero la más moderna en funcionamiento en el mundo está en Chile.

Esta planta es el resultado de más de 50 años de la alta tecnología alemana, después de haber sido puesta en países como Japón y Estados Unidos y haber cumplido todos los estándares, no solamente de seguridad, sino ecológicos, Se trata de una planta que se maneja básicamente por computación, con sólo 6 personas trabajando en el proceso industrial, básicamente limpiando residuos que salpican de las mezclas, un químico que ve en su computador el proceso, otro que lo ve en la parte corte y otro en la parte del autoclave, todo en un proceso lineal de computación, que tiene un computador central en el cual no entra la mano del hombre. Todo está pre dosificado y pre programado con alarmas y sistemas, desde que se encarga el proceso industrial. Es de tan alta tecnología, que no tiene ningún tipo de residuos.

Recicla todos sus productos, no solo los bloques que salen dañados, sino también las materias verdes que están dentro de la mezcla cuando se cortan, vuelven a formar parte de la formulación. Las aguas se tratan y lo único que sale es vapor al aire, en una mínima cantidad, que cumple todos los estándares alemanes de última generación. La planta cumple los estándares de seguridad y tecnología en cuanto a contaminación de Estados Unidos, Japón y Alemania por ejemplos, los que están por encima de los estándares chilenos.

Con relación a la segunda pregunta, el término del roce, el punto depende de cómo se vea este tema, si se toma un bloque y se le pega con un martillo, lo único que se generará es la huella de la cabeza del martillo. Si se hace lo mismo con un ladrillo, en el ladrillo vas a .....



# MANUAL DE USO TECNICO PRODUCTOS EN HORMIGON CELULAR HEBEL

## 1. MATERIALES

Los materiales a considerar en la ejecución de una albañilería de hormigón celular son:

- Unidades de hormigón celular Hebel  
60x20x20 / 60x20x17,5 / 60x20x15 / 60x30x12,5 / 60x40x10 / 60x30x7,5.
- Pegamento en polvo predosificado (habitualmente sacos de 25 Kg.)
- Pala dentada Hebel
- SERRUCHO con dientes de Widia Hebel
- Mazo de goma Hebel
- Platacho dentado para hormigón celular
- Lija en pliego para hormigón celular
- Sierra de banda para hormigón celular

Todos los materiales del sistema constructivo Hebel deben ser almacenados en lugares protegidos de la intemperie, bajo techo, sobre pallets de madera para aislarlos del suelo y otorgar facilidades de traslado. De preferencia los materiales deben ser colocados en terrenos nivelados y ser trasladados desde la bodega al lugar de uso cuando vayan a ser usados.

Todos los materiales están disponibles para venta.  
La sierra de banda también puede ser arrendada.

### 1.1 Ejecución albañilerías

- a) Ya sea armada o confinada, la albañilería se fundará usualmente sobre un sobrecimiento de hormigón armado y/o donde lo defina el ingeniero estructural o plano de la edificación.  
Los espesores empleados de hormigón celular Hebel G4 para muros estructurales son de 15, 17,5 y 20 cms.

Esta superficie de fundación deberá estar perfectamente nivelada cuando se presente un plano irregular el encargado y/o capataz deberá decidir usar un mortero nivelador con una mezcla tipo arena/ cemento = 3:1 o una capa moderada de pegamento Hebel asentándose sobre ésta la primera hilada de hormigón celular y chequeando la correcta nivelación del plano que recibirá la segunda hilada.

Cada hilada se pega aplicando el pegamento por una cara, horizontal y vertical, montando el bloque sobre la capa y asentando el bloque con un mazo de goma con el objeto de permitir que el pegamento se distribuya sobre toda la superficie de contacto.



b) Manejo de las unidades de albañilería de hormigón celular Hebel ✓

Cada pallet debe ser guardado cubierto, estos vienen protegidos de fabrica con un foil plástico para evitar que se mojen.

El hormigón celular contiene un porcentaje de humedad en el minuto de llegar a la obra, la que progresivamente se ira perdiendo hasta llegar a un nivel de estabilización ambiente (en Santiago) de alrededor de un 12%.

c) Procesamiento de las unidades de hormigón celular, previo a la ejecución de la albañilería. ✓

Se sacara el recubrimiento plástico del pallet una vez listo el terreno para aplicar el hormigón celular Hebel.

Cada unidad, previo a su instalación en el paño de albañilería, deberá inspeccionarse, limpiarse todo residuo no sólido especialmente polvo suelto y cuando la temperatura ambiente sea muy alta las caras de los bloques deberán humedecerse levemente con una brocha.

En tiempo caluroso deberá cuidarse no almacenar las unidades a pleno sol, cuidándose proteger bajo techo o cubriendo con un material flexible que evite el sol directo. En caso de lluvia deberá ser mantenidas en pallets con su foie plástico original puesto.

d) Traslape y traba de las unidades

La disposición de las unidades, en general, seguirá el diseño mostrado en los planos de arquitectura, pero sin embargo el traslape de las unidades nunca será inferior a 15 cm.

e) Rendimientos

Los rendimientos de la construcción de una albañilería son muy variables y dependen de:

- Disponibilidad efectiva del área de trabajo (espacio físico)
- Apoyo con guías como niveles, lienzas y otros.
- Limpieza de los paños a levantar (vanos, resaltes, etc.)

En condiciones adecuadas el rendimiento puede alcanzar sobre 25 m<sup>2</sup>/día, considerando un equipo formado por un albañil + 1/3 ayudante.

f) Pletinas conectoras ✓

Las pletinas conectoras Hebel se ocupan como conectores entre muros estructurales y tabiques no soportantes facilitando la dilatación entre estos elementos, y reforzando el comportamiento del paño libre frente a una fuerza aplicada perpendicular al plano. También se ocupan como conectores entre elementos de hormigón armado (pilares y vigas) y hormigón celular para generar una cohesión mayor entre ambos materiales permitiendo la construcción de elementos solidarios.

## 1.2 Adhesivo empleado

El adhesivo empleado en la ejecución de la albañilería de hormigón celular es un mortero cementicio aditivado y predosificado que se emplea en capa delgada con espesores que pueden ir entre 2 y 3 mm.

El adhesivo se presenta en bolsas de 25 Kg. de peso, a los cuales se les agrega en obra únicamente agua limpia y en una cantidad recomendada aproximada entre 6,5 y 7 lts. por bolsa.

El rendimiento promedio aproximado para bolsas de 25 Kg. es entre 0,8 y 0,9 m<sup>3</sup> de hormigón celular, siguiendo las instrucciones de pegado.

## 1.3 Canalizaciones

Las canalizaciones para las instalaciones eléctricas se hacen con el ranurador manual Hebel, el cual permite hacer una perforación del ancho y profundidad exacta para la instalación standard eléctrica de P.V.C.

La profundidad de las canalizaciones va en directa relación con el espesor del material, ya que estas deberán ser equivalentes a 1/3 del espesor del bloque.

Las canalizaciones se recomiendan en el sentido vertical del muro, los tramos horizontales preferentemente deberán desarrollarse a nivel de radier o cielo. Nunca efectuar canalizaciones diagonales.

Las cañerías de cobre y elementos metálicos en general deberán ser aislados, evitando el contacto directo con el hormigón celular o el mortero reparador Hebel, para evitar su corrosión.

## 1.4 Retape

Las canalizaciones y cualquier imperfección del muro deben ser rellenas con mortero reparador Hebel, el cual posee un aspecto y densidad, homologable a la del hormigón celular.

Este deberá ser cuidadosamente preparado de acuerdo a las instrucciones del envase.

No se recomienda el uso de cemento, yeso u otro material que el recomendado por Hebel, ya que la aplicación de cualquier otro material no permite obtener una adherencia adecuada y pudiendo sufrir retracciones que dañen la reparación.

## 1.5 Estucos

Hebel Chile no recomienda dejar el muro de hormigón celular expuesto a la intemperie, para lo cual ha desarrollado dos tipos de estuco, basado en los plomos obtenidos en la obra.

### - Estuco de capa delgada

El estuco de capa delgada Hebel permite aplicar capas de 5 mm. a 10 mm. de espesor presentando una superficie impermeable al ingreso del agua, pero permeable al vapor de agua lo que permite la liberación de la humedad propia de la obra.

Rendimiento: 8,5 Kg/m<sup>2</sup> en 5 mm de espesor.

### - Estuco de capa gruesa

El estuco de capa gruesa Hebel permite aplicar una carga de entre 10 mm. a 30 mm. de espesor que permite nivelar desaplomes del muro. Este estuco también es hidrófugo y permite respirar al muro.

Los estucos tradicionales cementicios pueden sufrir deshidrataciones en contacto con el hormigón celular lo que podría terminar produciendo desconexiones entre el sustrato y el estuco.

## 1.6 Otros revestimientos

Sobre el hormigón celular en recintos interiores se puede aplicar yeso tradicional que es perfectamente compatible con el hormigón celular con muy buena adherencia, también se recomienda la aplicación de pasta de muro y la mezcla entre pasta y yeso.

También se puede pintar en forma directa con membranas o coatings que sean impermeables cuando sean aplicados en exteriores, y siempre deben tener un índice de difusión de vapor de agua compatible con el hormigón celular .

El índice de difusión de vapor de estas pinturas deberá ser  $S_d \leq 2m$ , lo que significa una capa equivalente a 2 metros de aire (aire  $S_d=1$ ) según norma DIN 4108 part. 4 – 1987)

Las cerámicas y revestimientos similares pueden ser aplicados en forma directa al hormigón celular con los adhesivos tradicionales en pasta.

## 1.7 Refuerzos para estucos

Para reforzar los estucos u otros revestimientos de muros aplicados sobre el hormigón celular Hebel, se debe emplear una malla de fibra de vidrio la cual se utiliza como refuerzo en vanos de puertas, ventanas, sobre los rellenos y reparaciones del muro de hormigón celular, en encuentros de distintos materiales y en general en todos los elementos donde sea susceptible de aparecer alguna fisura superficial.



La malla fibra de vidrio debe quedar embebida en el estuco lo más próxima posible a la superficie exterior.

## 2. TABIQUES

Se entiende por tabique todo elemento divisorio de ambientes que no recibirá cargas ni esfuerzos producto de elementos externos. Hebel recomienda para elementos no estructurales sus productos en espesores de 12,5 ,10 y 7,5 cms.

Para garantizar dicha situación se debe tener especial cuidado de dilatar y desconectar los tabiques de losas y muros estructurales.

### a) Tabique entre losas

dilatar en la base contemplando la colocación de una lámina de poliestireno expandido de alta densidad (mínimo 30 kg/m<sup>3</sup>) de 10 mm. de alto en todo el espesor del tabique.

En la parte superior el tabique debe dilatarse de la losa dejando un espacio de 1 cm. mínimo o un equivalente a L/300 donde L = longitud mínima de la losa superior. En la conexión entre losa y el muro será mediante pletinas conectoras Hebel de acuerdo a esquema.

En el caso de cielos de yeso o yeso cartón, el tabique Hebel deberá pasar en altura el cielo hasta encontrar la enmaderación de techumbre en la cual se deberá casar el muro para evitar su desplazamiento en el sentido perpendicular a su eje. Las piezas de madera que sujeten el tabique deberá tener poliestireno expandido en las caras que queden en contacto con el tabique.

### b) Tabique entre muros estructurales y/o pilares

El tabique a construir se dilatará al menos en tres caras según sigue.

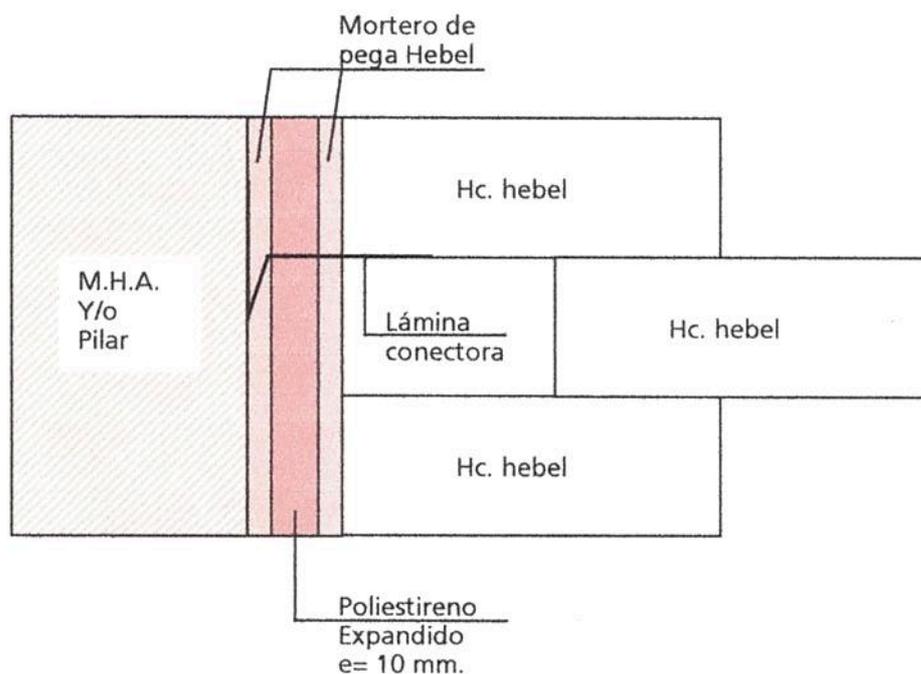
- Inferior y superior según criterio descrito en el punto anterior
- Caras verticales irá dilatada al menos una cara y de preferencia ambas, según esquema adjunto.

Para efecto de otorgar resistencia frente al vaciado del muro, se emplearán elementos conectores metálicos entre hiladas y anclados a los muros estructurales y/o pilares.

### c) Tabique entre perfiles metálicos

Se puede construir tabiques de relleno entre perfilería metálica, siendo lo más indicado el dejar casada la albañilería de hormigón celular entre canales U de acuerdo al espesor de el muro especificado.

Como norma general se deberá dilatar el hormigón celular de las canales de acero con un material compresible como por ejemplo poliestireno expandido de 10 mm. de espesor.



#### d) Tamaños paños de albañilería

Los paños de albañilería serán de un área máxima de 12,5 m<sup>2</sup> en conformidad a la norma Nch 1928. La distancia máxima entre pilares será de 6.0 m. La altura máxima entre vigas y/o cadenas será en función de la distancia entre pilares conforme a la siguiente tabla.

Distancia entre pilares (m)	Distancia entre vigas y/o cadenas (m)
3.0	4.2
3.5	3.6
4.0	3.1
4.5	2.8
5.0	2.5
5.5	2.3

### 3. MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

Se define por muros confinados toda albañilería que se construye entre vigas y pilares.

#### 7 a) Proceso constructivo

Su ejecución sigue los requerimientos y recomendaciones indicadas en el punto 1.1. En conformidad a las solicitudes que tendrá el paño de albañilería esta podrá incorporar refuerzos horizontales y/o elementos conectores a las cadenas y los pilares.

La incorporación de estos elementos será definido por un Ingeniero estructural.

#### 7 b) Pegamento y/o adhesivo

Se usará el adhesivo recomendado para muro estructural en el punto 1.2.

#### 7 c) Vanos, ventanas y puertas en muros

Con objeto de evitar fisuras en las aristas del vano se recomienda incorporar refuerzos verticales inmediatos al vano. Amarra de tensores o pilares, se presentan como buenas soluciones.

En lo relativo a refuerzos de alfeizar se recomienda ocupar bloques calados y rellenos con algún tipo de grout o un hormigón con áridos no superior a 5 mm. que incluye un fierro estriado  $\varnothing 8$ , este refuerzo deberá introducirse en el muro al menos 40 cm.

Se deberá tener especial precaución en desconectar el fierro del hormigón celular asegurándose que quede completamente rodeado de la mezcla antes descrita.

## 4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL HORMIGÓN CELULAR

### 4.1 Resistencia al fuego

Hebel Chile realizó los ensayos de resistencia al fuego de acuerdo a lo contemplado en la norma NCh. 935/1 Of 97 parte 1, y conforme a los requerimientos planteados a los elementos de construcción en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

Estos resultados arrojan los siguientes resultados:

Espesor de Muro Hormigón Celular G4 Hebel	Clasificación de resistencia al fuego ( F )
Espesor 7,5 cms.	F 60
Espesor 10 cms.	F 120
Espesor 12,5 cms.	F 120
Espesor 15 cms.	F 120
Espesor 20 cms.	F 180



Estos ensayos fueron desarrollados en los laboratorios del Idiem de la Universidad de Chile. Según ensayos N<sup>os</sup> 247.172 – 247.439 – 248.619 – 249.415 – 249.416.

#### 4.2 Retracción

La retracción es un fenómeno físico que genera deformaciones de cambios de volumen en los materiales.

Hebel Chile elabora sus productos de acuerdo a la norma chilena Nch 2432 of. 99 la cual permite un máximo de 0.3 mm/m. de retracción.

De acuerdo al ensayo realizado en los laboratorios de IDIEM el hormigón celular producido en Chile tiene una retracción de 0,112 mm/m., certificado N°249.068.

#### 4.3 Aislación Acústica

El hormigón celular autoclavado Hebel provee mejor aislación al sonido transmitido por aire que otros materiales sólidos de construcción bajo situaciones similares.

La aislación acústica de una pared hecha de un solo material homogéneo depende principalmente del peso por unidad de área, esto es superficie relacionada con la masa.

La generalmente aceptada ley de Berger para paredes sólidas es:

$$R_s = 14.5 \log (m) + 10 \text{ dB}$$

donde  $m$  es la masa del elemento ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) y  $R_s$  es el índice de reducción sonora (dB) promedio del rango 100 – 3150Hz.

Los ensayos realizados con muros de HCA han mostrado que la Ley de Berger no se puede aplicar directamente al Hormigón Celular Autoclavado.

**Su dureza combinada con su baja densidad seca lleva a un comportamiento acústico favorable.**

La investigación de los laboratorios británicos entrega una nueva relación

$$R_s = 22,9 \log (m) - 4,2 \text{ dB}$$

Los valores calculados según esta nueva fórmula fueron comparados con resultados de ensayos hechos en terreno a edificios terminados, donde se ve un resultado muy próximo entre ambos resultados.

( INFORMACION RESUMIDA DEL LIBRO: *RILEM RECOMMENDED PRACTICE – AUTOCLAVED AERATED CONCRETE- PROPERTIES, TESTING AND DESIGN.*)

**Tabla de valores por espesores de aislación acústica del Hormigón Autoclavado Hebel G4**

Espesor	Reducción sonora (db)
7,5	35,190
10	38,050
12,5	40,271
15	42,080
17,5	43,615
20	44,943

Nota: Estos valores consideran muros de hormigón celular autoclavado sin ningún tipo de revestimiento y pese a su baja densidad su aislación acústica es equivalente a la de las albañilerías tradicionales.

#### **4.4 Aislación Térmica**

Independiente de la estación del año y la ubicación física de la edificación (norte, centro o extremo sur de Chile) los usuarios requieren mantener un ambiente interior controlado. Es por esto que una de las misiones básicas de los profesionales de la construcción es diseñar y construir viviendas y edificios que proporcionen a sus habitantes confort térmico con un mínimo de gasto de energía.

Una decisión de esta naturaleza repercute positivamente en lo siguiente:

- Ahorro de energía
- Confort habitacional
- Reducción de contaminantes
- Reducción de gastos por Mantenimiento

##### **4.4.1 Propiedades térmicas del hormigón celular hebel**

La estructura celular que caracteriza al hormigón celular Hebel le confiere un poder aislante especialmente elevado y al ser un material no higroscópico, compuesto exclusivamente por minerales, conserva íntegramente todas sus propiedades y por consiguiente, mantiene inalterable esta capacidad térmica indefinidamente.

##### **4.4.2 Conceptos térmicos básicos**

Para poder hacer una evaluación sobre los materiales a utilizar en una construcción debemos conocer algunos conceptos térmicos básicos.

a) Temperatura (T)

Es la intensidad térmica que poseen los cuerpos en cada instante, y depende de la amplitud con que las moléculas vibren en el interior de ellos y se mide en grados. Existen escalas como la Celsius y la Fahrenheit, con referencia a un °0 relativo. Sin embargo en física térmica, se expresa en grados de diferencia ( $\Delta T$ ) o diferencia de temperaturas, las cuales por ser absolutas no precisan ser referidas a un °0 relativo. Por lo tanto, se adopta la magnitud de un grado Celsius en escala absoluta, y se le da el nombre de **1 Kelvin** como unidad ( $\Delta T$ ).

**1K = 1 (Kelvin)**

La escala Kelvin considera como °0 Kelvin la temperatura mas baja calculable. Por lo tanto 1K = Magnitud absoluta es 1°C.

b) Coeficiente de Conductividad Térmica ( $\lambda$ )

Es una propiedad física de carácter básico para cada materia sólida existente. Según el sistema de unidades adoptado, a  $\lambda$  se lo expresa en:

Kcal/(m h °K): kilocaloría por metro, por hora y por grado centígrado de diferencia ó,  
W/(m °K): Watt (=joule/segundo), por metro y por grado centígrado de diferencia  
siendo la relación de unidades:

$1 \text{ W}/(\text{m } ^\circ\text{K})$	$= 0,86001 \text{ Kcal}/(\text{m h } ^\circ\text{K})$
$1 \text{ Kcal}/(\text{m h } ^\circ\text{K})$	$= 1,16278 \text{ W}/(\text{m } ^\circ\text{K})$

Cuanto mas bajo sea el valor de  $\lambda$ , mayor resistencia a la transferencia de calor por conducción ofrece un material y por lo tanto mejor aislante térmico será.

Tabla comparativa de coeficientes de conducción térmica  $\lambda$  de diferentes materiales:

MATERIAL	COEFICIENTE DE CONDUCCIÓN TÉRMICA $\lambda$	
	W/(m °K)	Kcal/(m °K hora)
Ordenado por $\lambda$ creciente		
Aire (25 °C)	0,026	0,022
Poliestireno expandido	0,036	0,031
Lana mineral	0,038	0,032
Plancha de corcho	0,040	0,034
<b>HORMIGÓN CELULAR HEBEL</b>	<b>0,16</b>	<b>0,138</b>
Enlucido de yeso con perlita	0,18	0,155
Linóleo	0,19	0,163
Ladrillo hecho a mano	0,19	0,163
Fibrocemento	0,22	0,189
Maderas, tableros de fibra	0,23	0,198
Yeso – cartón	0,24	0,206
Enlucido de yeso	0,35	0,301
Ladrillo macizo hecho a máquina	0,79	0,679
Adobe	0,90	0,774
Azulejos	1,05	0,903
Vidrio plano	1,2	1,032
Mortero de cemento	1,40	1,204
Hormigón armado (normal)	1,63	1,402
Baldosas cerámicas	1,75	1,505
Mármol	2,0	1,720
Acero	58,0	49,88

• Valores extraídos de la norma Nch 853 Of. 91

### c) Resistencia Térmica (R)

Se define resistencia térmica como la oposición al paso del calor que presentan los elementos de construcción y se expresa en  $m^2 K/W$ .

### d) Resistencia Térmica Total ( $R_T$ )

Es la suma de resistencias térmicas del elemento de la envolvente. Mientras mayor sea el valor de  $R_T$  menor será la cantidad de calor transmitido, por lo tanto, habrá una menor pérdida de calor.

La resistencia térmica total es el recíproco de la transmitancia térmica y se expresa en  $m^2 K/W$ .

$$R_T = R_{si} + R_{se} + \sum R_m$$

Donde:

$R_T$  = Resistencia térmica total,  $m^2 K/W$

$R_{si}$  = Resistencia térmica superficial interior,  $m^2 K/W$

$R_{se}$  = Resistencia térmica superficial exterior,  $m^2 K/W$

$\sum R_m$  = Sumatoria de resistencias térmicas de las capas que forman el muro  $=e/\lambda$ ,  $m^2 K/W$

e) Transmitancia Térmica (U)

Es la cantidad de energía calórica que pasa en el tiempo de un segundo, por cada K de diferencia de temperatura que haya medido entre los dos ambientes que el elemento separa (medida de aire a aire) y por cada m<sup>2</sup> de superficie.

A menor valor U que presente un muro dado, menos permeable al flujo de calor es y por lo tanto mejor aislante térmico resultara.

El valor U es propio de cada pared, es decir de la combinación de elementos constructivos que la compongan con sus respectivos espesores.

$$U = 1/ R_T \text{ (W/m}^2 \text{ K)}$$

Donde:

U = Transmitancia térmica del elemento

R<sub>T</sub> = Resistencia térmica total

W = watt

M = metros

K = °Kelvin

Respetando las unidades indicadas la transmitancia térmica U queda expresada según el sistema internacional ( S.I), W/(m<sup>2</sup> K).

Para convertir a unidades prácticas (u.p) o imperiales ( U.S.):

1 W/(m °K) = 0,86001 Kcal/(m h °K)	1 W/(m °K) = 0,17611 Btu/(h ft <sup>2</sup> F)
1 Kcal/(m h °K) = 1,16278 W/(m °K)	1 Btu/(h ft <sup>2</sup> F) = 5,67826 W/(m °K)

Los valores U y R<sub>T</sub> caracterizan el estado térmico de una edificación y su conocimiento es indispensable para resolver los problemas relacionados con la transmisión de calor. Esta es la razón para iniciar siempre los cálculos con la determinación previa de los valores U ó de R.

Para poder hacer una evaluación de transmitancias térmicas de la envolvente de los principales sistemas constructivos y comparar las ventajas del sistema constructivo Hebel, en primer lugar debemos saber cuales son los valores máximos exigidos según la norma Nch 1079 Of. 77 para cada zona climática del país.

Para que los valores obtenidos en nuestros cálculos sean aceptables, estos no deben sobrepasar los entregados según la norma.

Valores máximos de transmitancia térmica por zonas climáticas

Zona	Transmitancia térmica de la envolvente, Valores máximos W/m <sup>2</sup> K
Norte Litoral	2,6
Norte desértico	2,1
Norte valle transversal	2,1
Centro litoral	2,0
Centro interior	1,9
Sur litoral	1,8
Sur interior	1,7
Sur extremo	1,6
Andina	1,6

\* Extracto de la Nch 1079 Of. 77

Tabla de transmitancia U y resistencia R de bloque de hormigón celular Hebel.

MATERIAL	ESPESOR cm	TRANSMITANCIA TÉRMICA U		RESISTENCIA TÉRMICA R	
		W/(m <sup>2</sup> °K)	Kcal/(m <sup>2</sup> h °K)	(m <sup>2</sup> °K)/W	(m <sup>2</sup> h °K)/Kcal
Hormigón Celular HEBEL (densidad seca 700 Kg/m <sup>3</sup> )	7,5	1,56	1,34	0,64	0,74
	10	1,26	1,08	0,80	0,93
	12,5	1,05	0,90	0,95	1,10
	15	0,90	0,77	1,11	1,28
	17,5	0,79	0,68	1,26	1,47
	20	0,70	0,60	1,42	1,65

- Al comparar los valores de esta tabla con la entregada por la norma Nch 1079 Of. 77, podemos comprobar que el hormigón celular Hebel cumple con la norma en todas las zonas climáticas del país.

Ejemplo de Cálculo de Transmitancia térmica de un material

Descripción del muro

Muro de bloques de hormigón celular Hebel G4, densidad 700 Kg/m<sup>3</sup>.  
Espesor muro =15 cm.

Procedimiento de cálculo

Para poder calcular la Resistencia Térmica total del material debemos considerar los valores de resistencia térmica superficial interior (Rsi) y Resistencia Térmica superficial exterior (Rse), los cuales se obtienen de la norma chilena Nch 853 Of. 91.

En esta norma se indica que para elementos en posición vertical, que por el cual pasa un flujo de calor en sentido horizontal, los valores son los siguientes:

$$R_t = R_{si} + R_{se} + \sum R_m$$

$$R_t = 0,12 + 0,05 + 0,15/0,16$$

$$R_t = 0,17 + 0,9375$$

$$R_t = 1,11 \text{ (m}^2 \text{ K) W}$$

Donde U (Transmitancia Térmica del material) es equivalente a:

$$U = 1/R_t$$

$$U = 1/1,11$$

$$U = 0,9 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

Tabla comparativa de Transmitancia térmica de diferentes tipos de muros:

Nº	DESCRIPCIÓN DEL MURO	ESPESOR cm	TRANSMITANCIA TÉRMICA U	
			W/(m <sup>2</sup> °K)	Kcal/(m <sup>2</sup> h °K)
	Muro de bloques de Hormigón Celular Hebel de 15 cm de espesor con estuco exterior e interior de 0,5 mm c/u.	16	0,9	0,77
	Pared de ladrillo macizo hecho a máquina de 15 cm de espesor con estuco exterior e interior de 2cm de espesor.	19	2,56	2,20
	Pared de hormigón armado de 15 cm de espesor con estuco exterior e interior de 2,5 cm de espesor.	20	3,33	2,86

## 5. ANCLAJES

Los anclajes en muros de hormigón celular, se realizan con tarugos plásticos tipo Fischer o similar.

Adjuntamos tabla con las cargas obtenidas con tarugos fischer en bloques de hormigón celular autoclavado Hebel.

### Resultados Ensayos de tracción a tarugos de fijación

Muestra	Fuerza de arranque		Observaciones
	(Kg)	(KN)	
S-4	7.6	0,08	Arranque del tarugo desde hormigón
S-6	100.0	1,02	Arranque del tarugo desde hormigón
S-8	90.0	0,92	Arranque del tarugo desde hormigón
S-10	99,2	1,01	Arranque del tarugo desde hormigón
S-12	65,6	0,67	Arranque del tarugo desde hormigón
FU-6x35	100,6	1,03	Arranque del tarugo desde hormigón
FU-6x45	149	1,52	Arranque del tarugo desde hormigón
FU-8x40	145	1,48	Arranque del tarugo desde hormigón
FU-8x50	153	1,56	Arranque del tarugo desde hormigón
FU-10x60	182,5	1,86	Ruptura del hormigón por arranque del tarugo
FUR-10x80	287	2,93	Arranque del tarugo desde hormigón
FUR-10x100	206	2,1	Arranque del tarugo desde hormigón
FUR-10x130	231	2,36	Ruptura del hormigón por arranque del tarugo
FUR-10x160	244	2,49	Arranque del tarugo desde hormigón
NZ-5x50	17	0,17	Arranque del tarugo desde hormigón
Nz-6x40	28	0,29	Arranque del tornillo del tarugo
NZ-6x80	30	0,31	Arranque del tarugo desde hormigón
NZ-8x60	54,2	0,55	Arranque del tornillo del tarugo
NZ-8x100	28	0,29	Arranque del tarugo desde hormigón