

## CONSTRUCCIÓN DE MODULO EXPERIMENTAL CON EL SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA MUROS LB

**Gonzalo Bojorquez, Aníbal Luna, Ricardo Gallegos**

Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Arquitectura  
Calle de La Normal e Ignacio López Rayón, S/N, Tercer Piso, Unidad Mexicali, C. P. 21900  
Mexicali Baja California México, Teléfono y fax 00 52 65 66 42 50  
[gonzalobojoquez@uabc.mx](mailto:gonzalobojoquez@uabc.mx), [anibal@uabc.mx](mailto:anibal@uabc.mx), [rikrd@uabc.mx](mailto:rikrd@uabc.mx)

### RESUMEN

El desarrollo de un nuevo sistema constructivo para muros implica una experimentación que lleve a resultados reales de la aplicación del producto desarrollado. El presente trabajo muestra los avances hechos a la fecha (Febrero 2003) en el desarrollo del sistema constructivo para muros Luna - Bojorquez (LB), cuyos componentes están fabricados con una mezcla a base de sílice y lodo de papel, desechos de la industria de Mexicali, Baja California, México. En el presente artículo se hace una descripción del proceso constructivo de un módulo experimental donde se aplica el sistema mencionado. Durante este proceso se analizan la factibilidad de cortes en las piezas, así como los rendimientos de construcción por m<sup>2</sup> con el sistema desarrollado y otro de referencia. Se menciona como se resolvieron algunos problemas que se presentaron durante la construcción y se hace una simulación de comportamiento térmico de los módulos de prueba.

### ABSTRACT

The development of a new constructive system for walls implies an experimentation that takes to real results of the application of the developed product. The present work shows the advances to the date (February 2003) in the development of the constructive system for walls Luna - Bojorquez (LB) whose components are manufactured with a mixture of silica and paper mud, wastes of the industry of Mexicali Baja California Mexico. This article show a description of the constructive process of a one modulate experimental where the mentioned system is applied. During this process they are analyzed the feasibility of courts in the pieces, as well as the construction yields for m<sup>2</sup> with the developed system and another of reference. Besides that were solved some problems that were presented during the construction and a simulation of thermal behavior of the test modules is made

### 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas constructivos que están actualmente en el mercado pasaron por etapas de desarrollo y evaluación para su posterior aplicación en la construcción de edificios. Por ello, La investigación sobre el uso de desechos como materia prima de la construcción, requiere no solo el estudio de los materiales con pruebas de laboratorio y simulación por computadora, si no que además hace obligatorio, para una posible aplicación de la tecnología desarrollada, la experimentación en campo a una escala real.

En este trabajo se muestra como parte del proceso de evaluación de un nuevo sistema constructivo, la construcción de un módulo experimental donde se aplica el sistema constructivo para muros Luna –

Bojorquez (LB), el cual se fabrica con una mezcla de sílice – lodo de papel, dos desechos de la industria de Mexicali, Baja California, México.

En un principio se presentan las características de la mezcla sílice – lodo de papel, y de los componentes del sistema LB, posteriormente se describe el proceso constructivo del modulo de prueba, y se mencionan algunos problemas que se presentaron y la solución que se le dio a los mismos.

## 2. SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA MUROS LUNA - BOJORQUEZ (LB)

El sistema constructivo para muros Luna – Bojorquez (LB), se compone de 4 elementos modulares de semi - ensamblado, fabricados con un concreto ligero que utiliza como agregados sílice y lodo de papel y un mortero de unión de sílice.

### 2.1. Mezcla sílice - lodo de papel

La mezcla sílice – lodo de papel utiliza como materia prima dos desechos de la industria de Mexicali, Baja California, México. Uno de ellos es la sílice producto del proceso de generación de energía eléctrica de la Planta Geotermoeléctrica de Cerro prieto, y el otro es el lodo de papel, producto del proceso de producción de papel higiénico de la Fabrica de Papel San Francisco.

Otros componentes de la mezcla sílice – lodo de papel son: cemento portland tipo 1, cal hidratada, aditivo inclusor de aire y agua. El método de curado que se utilizó fue por saturación, y la mezcla se elaboró en una mezcladora de mortero

La resistencia a compresión se determinó a los 28 días de edad, según ASTM C67, las propiedades determinadas se presentan en la tabla 1. La evaluación térmica de la mezcla sílice-lodo de papel consistió en la estimación de sus propiedades térmicas con el método del cable caliente, en el que analizó la fase estable de las temperaturas registradas para estimar la conductividad térmica y con la fase transitoria se estimó el calor específico.

Tabla 1.- Propiedades de la mezcla sílice – lodo de papel

| Propiedad | Fluidez   | Masa volumétrica      | * Resistencia a compresión | Conductividad térmica | Calor específico |
|-----------|-----------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|------------------|
| Norma     | ASTM C109 | ASTM C303             | ASTM C67                   | -----                 | -----            |
| Resultado | 20 –25%   | 855 kg/m <sup>3</sup> | 34 kg/ cm <sup>2</sup>     | 0.380 W/m °C          | 1573 J/kg °C     |

\*28 días de edad en estado saturado.

### 2.2. Mortero de unión

Se diseño un mortero de unión con sílice para que el sistema constructivo tuviese un comportamiento térmico similar, además de aprovechar el residuo de sílice en esta parte del sistema constructivo.

Los componentes del mortero de unión son cemento portland tipo 1, cal hidratada, sílice y agua, el método de curado fue por saturación, y se elaboró en una mezcladora de mortero. Las características del mortero de unión se presentan en la tabla 2.

La estimación de las propiedades térmicas se hizo bajo el mismo procedimiento que en el caso de la mezcla sílice – lodo de papel.

Tabla 2.- Características de mortero de unión de sílice

| Propiedad | Fluidez   | Masa volumétrica      | * Resistencia a compresión | Conductividad térmica | Calor específico |
|-----------|-----------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|------------------|
| Norma     | ASTM C109 | ASTM C303             | ASTM C67                   | -----                 | -----            |
| Resultado | 20 –25%   | 843 kg/m <sup>3</sup> | 32 kg/ cm <sup>2</sup>     | 0.394 W/m °C          | 1838 J/kg °C     |

\*28 días de edad en estado saturado.

### 2.3. Elementos constructivos

Con base en las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de la mezcla sílice - lodo de papel y tomando como base el diseño de sistemas constructivos con elementos sólidos ensamblables, se desarrolló un sistema constructivo con 4 elementos básicos que son: 1) Pieza base (macho - hembra) de 0.12 m de espesor, 0.325 m de altura y 0.525 m de longitud, 2) Pieza base (hembra - hembra) de 0.12 m de espesor, 0.325 m de altura y 0.525 m de longitud, 3) Media pieza macho - hembra de 0.12 m de espesor, 0.325 m de altura y 0.271 m de longitud y 4) Media pieza hembra - hembra de 0.12 m de espesor, 0.325 m de altura y 24.6 m de longitud.

También se diseñaron y fabricaron moldes para la elaboración de las piezas mencionadas. En la figura 1, se muestran los elementos constructivos. Una de las características principales del sistema es que aún cuando es modular y de tipo cerrado, es posible cortar las piezas con sierra manual o eléctrica.

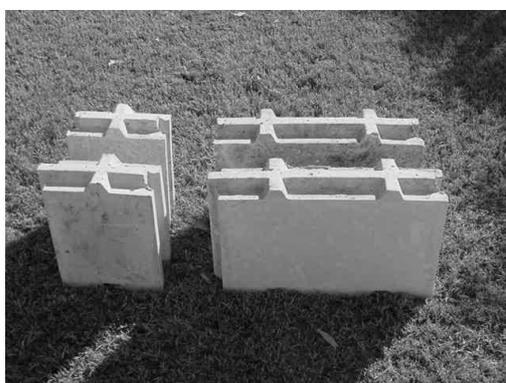


Figura 1. Elementos del sistema constructivo para muros LB

### 3. CONSTRUCCIÓN DE MODULO EXPERIMENTAL

Como parte del proyecto de investigación “evaluación de sistema constructivo para muros, a base de desechos industriales, para vivienda de bajo costo en clima desértico” financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México, se llevo a cabo la construcción de dos módulos experimentales de 2.00x2.00x2.45 m.

Uno de ellos fue construido con el sistema constructivo para muros LB, cuyas características se mencionaron anteriormente. Además se construyó un modulo de referencia con el sistema de mayor uso actualmente en la región que es el bloque de concreto común de 0.20x0.40x0.1016 m, unido con mortero cemento - arena 1:3.

El experimento planea monitorear por medio de termopares y un sistema de adquisición de datos las condiciones de temperatura y humedad del interior de cada uno de los módulos, así como la temperatura de cada una de las superficies. También se hará una simulación de comportamiento térmico con los datos obtenidos, así como los datos medidos de una estación meteorológica que se encuentra a aproximadamente 300 m del sitio.

Parte de los resultados que se pretenden obtener en este experimento es establecer los parámetros de confort térmico interno para cada modulo y el costo de una posible climatización artificial de los mismos, así como los rendimientos de mano de obra y costos de construcción.

### **3.1 Selección del sitio de construcción**

El modulo experimental del sistema constructivo para muros LB, se construyó al Este de la Escuela de Idiomas de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) en Mexicali. El terreno seleccionado es un rectángulo de aproximadamente 50x100 m.

La selección del terreno mencionado, se debe a que reúne las características necesarias para un estudio de este tipo, entre las que destacan las siguientes:

1. Su ubicación con respecto a una estación meteorológica, que este caso es la que se ubica en el Instituto de Ingeniería de la UABC, lo que permitirá comparar las variables medidas en el interior de los módulos con aquellas registradas en la estación mencionada. Además de tener disponibles otras variables climatológicas que afectan el comportamiento térmico.
2. El hecho de que el terreno es un espacio abierto, sin árboles de tamaño considerable cercanos que pudieran generar sombras por sol, o sombras de viento que pudiesen afectar los efectos de las variables analizadas en el monitoreo de los módulos. En este punto se esta conciente de la sombra de viento que pudiera generar el edificio de la Escuela de Idiomas de la UABC, pero era una de las pocas limitantes que tiene esta ubicación de los módulos.
3. La distancia con respecto a la Facultad de Arquitectura de la UABC, lo que permitirá una supervisión continua y en caso de fallas poder corregirlas a tiempo con el mínimo de perdidas en la información que se estará generando.

Debido a que se pretende dar otro uso a los módulos después de la fase de experimentación, se ubicaron en una área que será jardín, de acuerdo al plan de construcción a futuro de la Universidad Autónoma de Baja California.

Se hizo un análisis de sombras para el sembrado de los módulos, ubicando a seis metros uno de otro. Se decidió que los muros norte fueran donde se ubicaran una puerta y una ventana, ya que sería la orientación con menos radiación solar directa, lo anterior con la intención de que las otras 3 orientaciones (sur, este y oeste) fueran muros sólidos para evaluar la transferencia de energía a través de ellos.

### **3.2. Proceso constructivo**

En este apartado se describen las características de cada uno de los componentes del modulo experimental construido y el proceso que se llevo a cabo.

Para la cimentación del modulo experimental se hizo una base de tucuruguay compactado al 95% proctor en capas de 0.20 m. Sobre esta base se armo una losa de cimentación de 2.00x2.00 m con dalas invertidas en el perímetro y una malla de refuerzo electrosoldada al centro, con una capa de concreto de 0.10 m de espesor con resistencia de  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . El curado de la losa de cimentación fue por riego.

Los muros se construyeron con los componentes del sistema LB, unidos con un mortero a base de arena fina y cemento premezclada en seco. Cabe mencionar que no se utilizo el mortero de unión

diseñado para el sistema LB, debido a la falta de materia prima (sílice) durante el periodo de construcción del modulo. Parte del proceso constructivo con el sistema LB se puede observar en la figura 2.

Otro aspecto a mencionar es que la parte bajo la ventana del modulo con el sistema LB, tuvo que construirse a base de bloque de concreto común, ya que se requirieron algunas piezas del sistema LB para otras pruebas y no fue posible utilizarlas en la construcción.

El sistema LB, utiliza castillos de refuerzo en las esquinas como parte del apoyo a los componentes constructivos. El armado de los castillos es 4 varillas de  $9.52 \times 10^{-3}$  m (3/8 de pulgada) de diámetro, con aros de alambrión de  $6.35 \times 10^{-3}$  m (1/4 de pulgada) a cada 0.25 m, colados de concreto con resistencia de  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .



Figura 2. Aspectos del proceso constructivo con el sistema para muros LB

También se utilizó una dala de cerramiento a una altura de 2.10 m como parte del sistema LB. Las características de la dala de cerramiento son similares a las de los castillos de refuerzo utilizados.

Cabe mencionar que el nivel de la dala de cerramiento se decidió en base a la modulación del modulo testigo (de bloque de concreto común), debido a que los componentes del sistema LB, son mas fáciles de cortar, esto puede permitir la combinación con otros sistemas constructivos existentes. En la figura 3 se muestra una imagen de lo antes mencionado.



Figura 3. Corte con sierra manual de una pieza del sistema constructivo LB

Es importante mencionar que una vez terminada la colocación de los elementos constructivos del sistema LB, se observó que las juntas verticales no tenían una buena adherencia a las piezas, se analizó el problema y se identificó que se debió a la falta de humedad en las piezas al momento de colocarle el

mortero de unión, por lo que se procedió a retirarlas todas y humedecerlas para posteriormente colocar de nuevo el mortero de unión.

Durante el proceso de colocación de las piezas de los muros se llevo a cabo un control de rendimiento por tipo de material, los resultados indicaron que con un equipo de trabajo de un albañil y un peón se tiene por jornada de trabajo un rendimiento de 6.00 m<sup>2</sup> con el sistema LB y 6.8 m<sup>2</sup> con el sistema de bloque de concreto común. Estos valores son promedio de una semana de trabajo en ambos casos. Cabe aclarar que este caso la mano de obra no tenia experiencia en al colocación del sistema LB, por lo que se considera un rendimiento adecuado.

La cubierta utilizada fue a base de madera de 0.0127 m, soportada sobre vigas de madera de 0.0508x0.1016 m, unida al sistema constructivo por medio de soportes de acero (steel) con tornillos ahogados en los componentes del sistema constructivo LB. El acabado exterior de la cubierta fue impermeabilizado con tela y pintura elastomerica.

En la elevación norte de los módulos experimentales se colocaron una puerta y una ventana, unidas al sistema constructivo mediante tornillos de acero anclados en los componentes de cada sistema.

En la figura 4, se pueden observar el modulo experimental LB y al fondo el modulo testigo a base de bloque de concreto común.



Figura 4. Módulos experimentales

---

### 3.3. Otras consideraciones

A la fecha se han considerado otros aspectos en los módulos para reducir el numero de variables que pudieran afectar la etapa siguiente que es el monitoreo térmico. Entre ellas destacan el sellado con silicón de huecos y grietas entre las uniones de cubierta, puerta y ventana, con cada sistema constructivo, lo anterior para reducir al máximo la infiltración en cada modulo. Para verificar esto se harán pruebas con puertas presurizadoras para establecer los cambios de aire por hora.

Otro aspecto considerado fue el pintar los muros y puertas (al exterior e interior) de un mismo color (blanco ostión) para tener la misma absortividad y reflectancia en las superficies. Con lo anterior se pretende que los dispositivos de medición instalados estén bajo las mismas condiciones.

La siguiente etapa de evaluación consistirá en la instalación de los sensores, pruebas al equipo de adquisición de datos y proceder al monitoreo térmico en la época de verano (mayo a octubre).

## 4. SIMULACIÓN DE COMPORTAMIENTO TÉRMICO

Como parte del estudio del comportamiento térmico del sistema constructivo LB, se llevo a cabo una modelación en computadora para tener una aproximación de lo que serian los resultados a esperar en el monitoreo. Para lo anterior se utilizo el simulador de comportamiento térmico Doe 2.1e, en su

interface doeplus. Las variables analizadas fueron: flujo máximo por conducción en muros, energía a retirar en el periodo y máximo enfriamiento requerido.

#### 4.1. Condiciones para la simulación térmica de los módulos

Debido a la detallada proporción de datos que necesita el programa, se realizó una lista de las consideraciones que se tuvieron en cuenta:

Se consideró para el análisis climático, el archivo meteorológico de El Centro, California, (E.U.), debido a que el programa no contiene datos climatológicos de México, y este es el más próximo ya que se localiza a 18 km al noroeste de Mexicali, B.C. El periodo de análisis para la simulación se realizó del 1ro. de mayo al 31 de octubre. La temperatura de diseño fue de 25°C.

Debido a que aun no se hacen las pruebas de infiltración se utilizo en el simulador el modelo de Sherman - Gursmund, el cual cuantifica el flujo de aire por infiltración para toda la envolvente, se considero un nivel de sellado medio, para Mexicali, B.C., según Gallegos, 2002.

#### 4.2. Análisis de resultados

El flujo máximo por conducción en muros, sirve para establecer la mayor cantidad de energía que pudiese entrar a través de los componentes de la envolvente arquitectónica, en este caso específico los muros. Los resultados presentados en la tabla 3, muestran que el flujo de energía por conducción es 38.99% menor en el modulo con el sistema LB con respecto al modulo testigo.

La energía a retirar en el periodo representa el total de energía necesaria a retirar para alcanzar la temperatura de diseño, que en este caso fue de 25 °C. Se observa que en el modulo con el sistema LB esta variable es menor en 22.80% con respecto al modulo de bloque de concreto. Lo anterior se presenta en la tabla 3.

El máximo enfriamiento requerido sirve para estimar la capacidad del equipo de aire acondicionado que se necesita en el espacio para alcanzar la temperatura de diseño. En la tabla 3, se observa que en el caso del modulo con el sistema constructivo LB el valor de esta variable es menor en 21.25% con respecto al modulo testigo.

Tabla 3.- Resultados de la simulación de comportamiento térmico

| Sistema constructivo | Flujo máximo por conducción en muros | Energía a retirar en el periodo | Máximo enfriamiento requerido |
|----------------------|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Sistema LB           | 0.981 kW                             | 3.706 MW                        | 2.327 kW                      |
| Bloque de concreto   | 1.608 kW                             | 4.801 MW                        | 2.955 kW                      |

## 5. CONCLUSIONES

En la etapa descriptiva del sistema LB, se muestra que es una propuesta que utiliza como materia prima desechos, obteniendo una mezcla con características termofísicas, cuyo comportamiento térmico puede beneficiar a los usuarios de los espacios construidos con este material.

Por el proceso de construcción de los módulos, se puede apreciar que el sistema constructivo LB para muros, es un sistema abierto, compatible con otros sistemas constructivos, con un procedimiento sencillo, sin requerimiento de mano de obra especializada o equipos sofisticados para su aplicación, además de que en términos generales tiene características similares a otros sistemas de construcción de mampostería ya conocidos.

Con respecto al comportamiento energético de los módulos, se observó en la simulación que la construcción con el sistema LB presentó una reducción considerable en el flujo máximo por conducción en muros, la energía a retirar durante el periodo y el máximo enfriamiento requerido. Lo anterior con respecto al módulo de bloque de concreto común. Con lo anterior se muestra la posibilidad de mejores condiciones de confort en los espacios construidos

## **6. AGRADECIMIENTOS**

Se agradece: al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por el financiamiento del proyecto “evaluación de sistema constructivo para muros, a base de desechos industriales, para vivienda de bajo costo en clima desértico”. A la Universidad Autónoma de Baja California a través de sus Facultades de Arquitectura e Ingeniería por el apoyo técnico. Al Dr. Alfonso Alfonso, Lic. Enrique Amat, Tec. Abel Cota, Tec. Rafael Salcido y Tec. Ricardo Cota por sus asesorías y apoyo. Al Arquitecto Hugo Badillo, por su apoyo en la construcción de los módulos experimentales.

## **7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

BOJORQUEZ G. (2003) Informe técnico del proyecto de investigación “evaluación de sistema constructivo para muros, a base de desechos industriales, para vivienda de bajo costo en clima desértico” Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Arquitectura, Mexicali Baja California, México. 20 p.

BOJORQUEZ G., A. LUNA., GALLEGOS R.(2001) Desarrollo y evaluación de sistema constructivo para muros a base de desechos industriales, Memorias del VI Encuentro Nacional sobre Confort en el Ambiente Construido, Campiñas, Brasil.

GALLEGOS R. 2002 Comunicación personal, Maestro investigador, Investigación y posgrado, Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Baja California. México.

LUNA A. BOJÓRQUEZ G. GALLEGOS R. ALFONSO A. AMAT E. (1998). Sílice y lodo de papel: desarrollo de un concreto ligero y su evaluación térmica CONFERENCIA INTERNACIONAL ECOMATERIALES Y HÁBITAT SOSTENIBLE. 23 al 27 noviembre 1998. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana Cuba. p. 128-135