

# Influencia de la mezcla y del curado en la calidad del tabicón elaborado en la Zona Metropolitana de Guadalajara

Gabriel Vargas<sup>1</sup>, David Urzúa<sup>2</sup>, Humberto Gutiérrez<sup>3</sup>

Recibido: 11 de noviembre de 2005 – Aceptado: 7 de abril de 2006

## RESUMEN

Se presenta la variación en la resistencia a compresión, contracción por secado, absorción y peso específico de piezas de mampostería (tabicones) elaboradas con diferentes mezclas que resultan de variar los contenidos de los componentes. El número de mezclas y las proporciones de los componentes se determinan mediante un diseño experimental denominado diseño de mezclas. Se presenta también la influencia de un método de curado, que se considera como una variable de proceso en el diseño experimental, sobre las propiedades mencionadas anteriormente. Los componentes de las mezclas estudiadas se utilizan en la fabricación de tabicones, elaborados en plantas productoras ubicadas en la Zona Metropolitana de Guadalajara, con los que se construyen los muros de mampostería para la edificación de vivienda. Los resultados obtenidos indican que, en el intervalo de los niveles estudiados de los componentes de las mezclas, únicamente hay un efecto sinérgico de la relación agua-cemento sobre la resistencia a compresión.

**Palabras clave:** tabicones, mampostería, resistencia a compresión, contracción, absorción, peso específico, curado.

---

## Mixture and curing influence on the quality of the typical masonry units fabricated in the Guadalajara Metropolitan Area

### ABSTRACT

This paper presents the variation of resistance to compression, drying contractions, absorption, and specific weight of masonry pieces made with different mixtures. The number of mixtures and percentages of their components are determined by an experimental design so-called Mixture Design. The influence of the curing-method on these properties of the masonry pieces is also considered as a variable of the experimental design. The studied mixtures are used for masonry pieces made at plants from the metropolitan zone of Guadalajara which, at the same time, are usually used to build housing walls. Results indicate that there is merely a synergic effect of the relation water/cement on the compression resistance for the components levels used in the studied mixtures.

**Keywords:** masonry pieces, compressive resistance, contraction, absorption, specific weight, curing.

---

<sup>1</sup> Profesor de Carrera del CA de Estructuras y Materiales de la FIUADY. E-mail: gvmarin@tunku.uady.mx

<sup>2</sup> Profesor Investigador, Instituto de Ingeniería Sísmica, Universidad de Guadalajara.

<sup>3</sup> Profesor Investigador, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara.

## **INTRODUCCIÓN**

El uso de muros de mampostería en la fabricación de vivienda en el estado de Jalisco ha mostrado una gran aceptación. Hasta el año de 1980, según datos de la Secretaría de Programación y Presupuesto (1984), de un total de 776,809 viviendas 421,125 (54.2%) se habían construido utilizando este tipo de muros como elementos estructurales. Al finalizar la década de los años 80, de acuerdo con datos del INEGI (1990), 815,189 viviendas (79.2%) de un total de 1'029,178, se habían construido utilizando el mismo sistema estructural. Para el año 2000, según esta misma fuente, 1'202,200 viviendas (87.2%) de un total de 1'378,666, habían sido construidas con el mismo sistema.

Esta situación se refleja en la construcción de vivienda en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), conformada actualmente por los municipios de Guadalajara, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan: hasta el año de 1980, 277,565 viviendas (65.9%) de un total de 420,908 habían sido construidas con muros de mampostería. Al finalizar la década de los años 80, 498,178 viviendas (89.4%) de un total de 557,378 se hicieron con el mismo sistema estructural, INEGI (1990). Para el año 2000, 705,302 viviendas (93%) de un total de 755,720 fueron construidas con muros de mampostería, INEGI (2000). Los datos anteriores comprueban una marcada preferencia por la utilización de los muros de mampostería en la construcción de vivienda.

Con relación a las piezas utilizadas para la fabricación de mampostería, originalmente se utilizó el ladrillo de barro cocido, conocido en el ámbito de la construcción local como ladrillo de lama, pero debido a diversos factores, entre los que se pueden mencionar el alto grado de contaminación generado durante su elaboración y el bajo nivel de producción (número de piezas elaboradas), éste último ha sido sustituido paulatinamente por el bloque sólido de concreto ligero conocido localmente como "tabicón", que en lo sucesivo se denominará de esta manera. El incremento en la oferta de tabicón se ha visto favorecido por diversas causas entre las que puede mencionarse la abundancia en los depósitos superficiales de la ZMG de uno de sus principales ingredientes que se utiliza como agregado grueso en la mezcla: la roca pumítica conocida localmente como "jal".

Debido a su amplia aceptación en la edificación, es necesario estudiar las propiedades mecánicas del tabicón para establecer recomendaciones que permitan garantizar su calidad y, consecuentemente,

su comportamiento como parte integral de los muros de mampostería.

Generalmente los materiales utilizados en la elaboración de las piezas son el cemento gris, agua, jal y arena amarilla (algunos fabricantes incluyen aditivos para acelerar el fraguado de la mezcla, con el fin de agilizar el manejo de las piezas). La proporción en la que estos ingredientes son incorporados a la mezcla es variable entre lotes y entre fabricantes, y de acuerdo con Carmona (1992), depende fundamentalmente de la apreciación y experiencia de los operarios, dando como resultado una gran variación entre las propiedades del producto final.

Se han realizado diversos estudios del tabicón que se produce en las plantas ubicadas en la ZMG, como el realizado por García (2002), en el que se ha establecido la amplia variabilidad de sus propiedades mecánicas, tanto entre los lotes de una misma fábrica, como entre la producción de las diferentes empresas. Los resultados de los estudios realizados indican que algunas empresas producen tabicón de calidad regular y otras que ofrecen producto de mala calidad. Una de las características de la investigación más reciente, Quezada y Larios (2002), ha sido ampliar el alcance al incluir un mayor número de fabricantes de tabicón, aunque es importante mencionar que no se enfoca a estudiar las probables causas que generan la diferencia en las propiedades del producto final.

La calidad de los tabicones es una característica que influye significativamente en la resistencia del muro del que forman parte. Con base en los resultados de las investigaciones previas, se puede suponer que su variación depende de diversos factores entre los que destacan: la relación entre el agua y el cemento, la granulometría de los agregados, la relación volumétrica entre cementantes y agregados, el grado de compactación y las condiciones de curado.

Este trabajo tiene como finalidad determinar la influencia que tiene la variación cuantitativa de los componentes que integran la mezcla con la que se fabrican y un método de curado de los tabicones producidos en la ZMG, en algunas de sus propiedades físicas y mecánicas: la contracción por secado, la absorción, el peso específico y la resistencia a compresión.

---

## **METODOLOGÍA**

Las mezclas utilizadas para la elaboración de los tabicones, generalmente contienen agua, cemento Portland y agregados (jal y arena amarilla).

El jal utilizado en la elaboración de las mezclas puede definirse como un producto piroclástico, de alta porosidad y bajo peso específico debido a que su estructura posee un gran número de cavidades de forma tubular y serpenteante, Olivera (1998). Para fines de este estudio se dividirá en dos grupos denominados grueso y fino, considerando como grueso al material que pasa la malla de 13 mm (1/2") y que es retenido en la malla número 4 y como fino al material que pasa la malla número 4. Las mezclas estudiadas en este trabajo estarán integradas por cinco componentes: agua, cemento, jal grueso, jal fino y arena amarilla.

La gran mayoría de los fabricantes de tabicón elabora las mezclas sin llevar algún registro de las cantidades en las que los ingredientes se incorporan, con excepción del cemento, que por ser el ingrediente de mayor costo se somete a un estricto control. Los productores que realizan un control, no tienen la disposición para proporcionar esta información. Al no contar con información de los productores, no es posible determinar las cantidades mínimas y máximas en las que cada componente interviene en la

elaboración de sus mezclas. Con el fin de delimitar una zona específica de estudio y de esta manera hacer factible la realización de esta investigación, se propusieron las siguientes condiciones para la elaboración de las mezclas:

- Porcentajes de 10% y 20% de pasta de agua-cemento, con porcentajes respectivos de 90% y 80% de agregados.
- Relaciones agua/cemento de 0.4 y 0.6
- Tres combinaciones con porcentajes de 50%, 25% y 25% de los agregados:

50% de jal grueso – 25% de jal fino – 25% de arena amarilla  
 25% de jal grueso – 50% de jal fino – 25% de arena amarilla  
 25% de jal grueso – 25% de jal fino – 50% de arena amarilla

Considerando un total de 300 Kg de mezcla y las condiciones anteriores, se establece el peso de los ingredientes en cada mezcla, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Contenidos de los componentes en las mezclas

Contenido de pasta (kg)	Relación A/C	Agua (kg)	Cemento (kg)	Jal grueso (kg)	Jal fino (kg)	Arena amarilla (kg)
30	0.4	8.572	21.428	135	67.5	67.5
	0.6	11.25	18.75	67.5	135	67.5
				67.5	67.5	135
60	0.4	17.14	42.857	120	60	60
	0.6	22.5	37.5	60	120	60
				60	60	120

Los valores anteriores se determinaron de la siguiente manera: para una relación agua/cemento de 0.4 y un contenido de pasta de 10%, el peso de la pasta será:

$$w_{pasta} = w_{agua} + w_{cemento} = (0.1)w_{total} = (0.1)(300kg) = 30kg$$

Para el peso del cemento se tiene:

$$\frac{w_{agua}}{w_{cemento}} = 0.4 \Rightarrow w_{agua} = (0.4)w_{cemento}$$

Con los dos resultados anteriores, el peso del agua será:

$$(0.4)w_{cemento} + w_{cemento} = 30kg$$

$$w_{cemento} = \frac{30kg}{1.4} = 21.428kg$$

$$w_{agua} = (0.4)w_{cemento} = (0.4)(21.428kg) = 8.571kg$$

El peso del 90% de agregados:

$$w_{agregados} = w_{jal grueso} + w_{jal fino} + w_{arena amarilla} = (0.9)(w_{total}) = (0.9)(300kg) = 270kg$$

Para la relación correspondiente al 50% de jal grueso, 25% de jal fino y 25% de arena amarilla:

$$w_{jal grueso} = (0.5)w_{agregados} = (0.5)(270kg) = 135kg$$

$$w_{\text{jal fino}} = w_{\text{arena amarilla}} = (0.25)w_{\text{agregados}}$$

$$= (0.25)(270\text{kg}) = 67.5\text{kg}$$

Para una relación agua/cemento de 0.4 y un contenido de pasta de 20%, el peso de la pasta será:

$$w_{\text{pasta}} = w_{\text{agua}} + w_{\text{cemento}} = (0.2)w_{\text{total}}$$

$$= (0.2)(300\text{kg}) = 60\text{kg}$$

El peso del cemento:

$$w_{\text{cemento}} = \frac{60\text{kg}}{1.4} = 42.857\text{kg}$$

El peso del agua:

$$w_{\text{agua}} = (0.4)w_{\text{cemento}}$$

$$(0.4)(42.857\text{kg}) = 17.143\text{kg}$$

El peso del 80% de agregados:

$$w_{\text{agregados}} = w_{\text{jal grueso}} + w_{\text{jal fino}} + w_{\text{arena amarilla}}$$

$$(0.8)(w_{\text{total}}) = (0.8)(300\text{kg}) = 240\text{kg}$$

Para la relación correspondiente al 50% de jal grueso, 25% de jal fino y 25% de arena amarilla:

$$w_{\text{jal grueso}} = (0.5)w_{\text{agregados}}$$

$$(0.5)(240\text{kg}) = 120\text{kg}$$

$$w_{\text{jal fino}} = w_{\text{arena amarilla}} = (0.25)w_{\text{agregados}}$$

$$(0.25)(240\text{kg}) = 60\text{kg}$$

Para una relación agua/cemento de 0.6 y un contenido de pasta de 10%, el peso del cemento y el peso del agua serán:

$$(0.6)w_{\text{cemento}} + w_{\text{cemento}} = 30\text{kg}$$

$$w_{\text{cemento}} = \frac{30\text{kg}}{1.6} = 18.75\text{kg}$$

$$w_{\text{agua}} = (0.6)w_{\text{cemento}}$$

$$(0.6)(18.75\text{kg}) = 11.25\text{kg}$$

Para una relación agua-cemento de 0.6 y un contenido de pasta de 20%, el peso del cemento y el peso del agua serán:

$$(0.6)w_{\text{cemento}} + w_{\text{cemento}} = 60\text{kg}$$

$$w_{\text{cemento}} = \frac{60\text{kg}}{1.6} = 37.5\text{kg}$$

$$w_{\text{agua}} = (0.6)w_{\text{cemento}}$$

$$= (0.6)(37.5\text{kg}) = 22.5\text{kg}$$

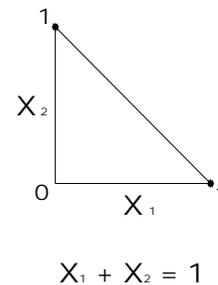
Las cantidades de los agregados para la relación agua/cemento de 0.6 y contenidos de pasta de 10% y 20%, son las mismas, respectivamente, que las obtenidas para la relación agua/cemento de 0.4.

Para realizar el diseño del experimento que permita estudiar la influencia de la variación cuantitativa de las componentes de la mezcla, en las propiedades antes mencionadas del tabicón, se utilizó la teoría denominada "Diseño de Mezclas" (Cornell, 1990). En los experimentos de mezclas, los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla, por lo que sus niveles o cantidades no son independientes. Por ejemplo, si  $x_1, x_2, \dots, x_p$  son las cantidades de  $p$  componentes en una mezcla, entonces:

$$0 \leq x_i \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, p$$

$$x_1 + x_2 + \dots + x_p = 1 \quad (\text{o } 100\%)$$

Las restricciones anteriores se ilustran en la figura 1 para mezclas con 2 componentes ( $p = 2$ ). El espacio factorial incluye todos los valores de los componentes que se ubican en el segmento de recta  $x_1 + x_2 = 1$ , donde cada componente está limitada entre 0 y 1.



**Figura 1.** Espacio factorial restringido para mezclas con dos componentes

Los extremos del segmento inclinado representan mezclas puras (mezclas conformadas por el 100% de un solo componente). Los puntos sobre el segmento inclinado representan mezclas binarias o de los dos componentes.

En la teoría del diseño de mezclas, el objetivo principal de los diseños *simplex* es estudiar los efectos de la variación cuantitativa de los componentes de las

mezclas en alguna variable de respuesta. Existen diferentes diseños *simplex* para diferentes objetivos específicos: *simplex lattice*, *simplex centroeide*, *simplex vertex*.

En esta investigación, para analizar el efecto de las cinco componentes sobre cuatro propiedades del tabicón (tabla2), se consideró un diseño *simplex vertex con cinco componentes*.

**Tabla 2.** Componentes de la mezcla y variables de respuesta

Componente	VARIABLES DE RESPUESTA
X1: agua	Y <sub>1</sub> : Resistencia a compresión
X2: cemento Pórtland	Y <sub>2</sub> : Contracción por secado
X3: jal grueso	Y <sub>3</sub> : Absorción
X4: jal fino	Y <sub>4</sub> : Peso específico
X5: arena amarilla	

El efecto del método de curado, sobre las propiedades, será considerado como una variable de proceso con dos niveles: mezclas con curado y mezclas sin curado, por lo que el diseño final fue un *simplex vertex de cinco componentes con vértices extremos y puntos al centro por una variable de proceso*.

De acuerdo con las ecuaciones anteriores, los parámetros  $\alpha$  tienen la siguiente interpretación:

Respecto al análisis estadístico de los datos experimentales, consideremos primero el modelo para el diseño de mezclas que, asumiendo que una función cuadrática será adecuada para modelar el efecto de las componentes sobre la respuesta esperada, está dado por:

$\alpha_{0,i}$ : valor medio esperado de la respuesta para la “mezcla” pura de la componente i en las condiciones promedias de la variable de proceso

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum_{i < j} \sum_{i=2}^q \beta_{ij} X_i X_j \quad (1.1)$$

$\alpha_{1,i}$ : efecto que la variable de proceso  $Z_1$  tiene sobre el valor medio esperado de la respuesta para la “mezcla” pura de la componente i

Donde  $\beta_i$  representa la respuesta esperada en la mezcla pura correspondiente,  $\beta_{ij}$  representa el efecto adicional debido a la interacción de las dos componentes de la mezcla correspondiente y  $X_i$  es el nivel del componente de mezcla correspondiente El modelo estadístico para el diseño factorial mediante el cual se estudia el efecto de las variables de proceso sobre la respuesta se genera modificando los valores de los parámetros  $\beta$  del modelo de mezclas de la siguiente manera:

$\alpha_{0,ij}$ : interacción entre las componentes  $X_i$  y  $X_j$  de la mezcla, trabajando en las condiciones promedias de la variable de proceso

$$\begin{aligned} \beta_i &= \alpha_{0,i} + \alpha_{1,i} Z_1 \\ \beta_{ij} &= \alpha_{0,ij} + \alpha_{1,ij} Z_1 \end{aligned} \quad (1.2)$$

$\alpha_{1,ij}$ : efecto que la variable de proceso  $Z_1$  tiene sobre la interacción entre las componentes  $X_i$  y  $X_j$  de la mezcla

Donde  $Z_1$  representa el nivel de la variable de respuesta. Combinando ambos modelos (ecuaciones 1.1 y 1.2), obtenemos:

En este estudio, las componentes de la mezcla (ver Tabla 2) se proporcionaron por peso para conformar mezclas con un total 300 Kg cada una.

$$\begin{aligned} E(y) &= \sum_{i=1}^q (\alpha_{0,i} + \alpha_{1,i} Z_1) X_i \\ &+ \sum_{i < j} \sum_{i=2}^q (\alpha_{0,ij} + \alpha_{1,ij} Z_1) X_i X_j \end{aligned} \quad (1.3)$$

La variable de proceso ( $Z_1$ ) que considera un método de curado durante 28 días, se analizó con dos niveles que corresponden a las condiciones: con curado y sin curado.

Para determinar el número de mezclas que se analizarán experimentalmente y los contenidos de los componentes en cada una de ellas, se utilizó el software denominado STATGRAPHICS PLUS 4.0 dando como resultado las 24 mezclas que se describen en la Tabla 3.

Para estudiar el efecto de los componentes en el centro de la región experimental, se propusieron las 5 mezclas que se describen en la Tabla 4.

**Tabla 3.** Mezclas y niveles de los componentes en los límites de la región experimental

Mixture Design Attributes					
C:\VargasMG\mez_tab_300_kg.sfx - Mezcla_Tabicón_300_Kg					
run	X1 (Kg)	X2 (Kg)	X3 (Kg)	X4 (Kg)	X5 (Kg)
1	8.571	42.857	128.572	60.0	60.0
2	8.571	42.857	60.0	128.572	60.0
3	8.571	42.857	60.0	60.0	128.572
4	22.5	42.857	114.643	60.0	60.0
5	22.5	42.857	60.0	114.643	60.0
6	22.5	42.857	60.0	60.0	114.643
7	8.571	36.429	135.0	60.0	60.0
8	8.571	18.75	135.0	77.679	60.0
9	8.571	18.75	135.0	60.0	77.679
10	22.5	22.5	135.0	60.0	60.0
11	22.5	18.75	135.0	63.75	60.0
12	22.5	18.75	135.0	60.0	63.75

Mixture Design Attributes					
C:\VargasMG\mez_tab_300_kg.sfx - Mezcla_Tabicón_300_Kg					
run	X1 (Kg)	X2 (Kg)	X3 (Kg)	X4 (Kg)	X5 (Kg)
13	8.571	36.429	60.0	135.0	60.0
14	8.571	18.75	77.679	135.0	60.0
15	8.571	18.75	60.0	135.0	77.679
16	22.5	22.5	60.0	135.0	60.0
17	22.5	18.75	63.75	135.0	60.0
18	22.5	18.75	60.0	135.0	63.75
19	8.571	36.429	60.0	60.0	135.0
20	8.571	18.75	77.679	60.0	135.0
21	8.571	18.75	60.0	77.679	135.0
22	22.5	22.5	60.0	60.0	135.0
23	22.5	18.75	63.75	60.0	135.0
24	22.5	18.75	60.0	63.75	135.0

**Tabla 4.** Mezclas y niveles de los componentes dentro de la región experimental

Mixture Design Attributes					
C:\VargasMG\mez_tab_300_kg.sfx - Mezcla_Tabicón_300_Kg					
run	X1 (Kg)	X2 (Kg)	X3 (Kg)	X4 (Kg)	X5 (Kg)
25	15.0	30.0	85.0	85.0	85.0
26	14.0	28.0	90.0	84.0	84.0
27	16.0	28.0	83.0	90.0	83.0
28	15.0	32.0	84.0	85.0	84.0
29	15.0	30.0	83.0	83.0	89.0

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la elaboración de las mezclas se contó con el apoyo de uno de los principales productores de tabicón en la ZMG, Planta Bloquera Carillo S. A. de C. V. Dicho apoyo consistió en el uso de las instalaciones y el equipo necesario para la fabricación de las muestras (Figuras 1 a 5).



**Figura 1.** Equipo para la fabricación de las mezclas



**Figura 2.** Equipo para la dosificación del cemento en las mezclas



Figura 3. Ponedora de tabicones



Figura 4. Equipo para vibración de la mezcla durante la fabricación de tabicones



Figura 5. Dispositivo para la compactación de la mezcla durante la fabricación de tabicones



Figura 6. Protección de los tabicones para evitar la pérdida de agua por evaporación

Se elaboraron 49 tabicones de cada una de las 29 mezclas, que es el número de piezas que la ponedora vibra y compacta en cada ciclo.

Al término de la fabricación de los tabicones, se procedió a cubrirlos con un plástico para evitar la pérdida de humedad (figura 6), mientras se trasladaban para ser sometidos al curado. A las 72 horas después de la elaboración de los tabicones, se seleccionaron 10 piezas de las 49 correspondientes a cada una de las 29 mezclas, tomando siempre los de la misma posición de cada operación, con el fin de evitar que factores no controlados (como el grado de compactación) influyesen en las variables de respuesta.

Se clasificaron considerando los siguientes aspectos:

- La letra M que corresponde a la inicial de la palabra mezcla.
- Número de mezcla: del 1 al 29.
- Condición de curado: N (sin curado) o C (curado).
- Letra asociada con la variable de respuesta a la que estará destinado el tabicón:
  - Contracción por secado: A.
  - Resistencia a compresión axial: B.
  - Peso específico: C.
  - Absorción: D.

Por ejemplo, la clasificación M18-N-B corresponde a un tabicón de la mezcla número 18, sin curado y que se utilizó para calcular la resistencia a compresión axial. Posteriormente se trasladaron desde las instalaciones de la planta donde fueron elaborados hasta las instalaciones del Instituto de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Guadalajara, para su almacenamiento, sometiendo la mitad de los especímenes a un método de curado, mismo que consistió en aplicar dos periodos de riego con manguera, de 15 minutos cada uno (uno por la mañana y el otro por la tarde) durante un lapso de 28 días (Figura 7).



Figura 7. Curado de tabiques

Para determinar la influencia de los componentes de las mezclas y el proceso de curado en la calidad de

los tabicones es necesario obtener mediante los ensayos correspondientes, los valores de las variables de respuesta para las mezclas propuestas en el diseño. Los resultados obtenidos permitirán, mediante el análisis de la varianza, establecer de qué forma los niveles de los componentes de las mezclas afectan las propiedades del tabicón: resistencia a compresión axial, contracción por secado, absorción y peso específico.

Para determinar la resistencia a compresión axial (Figura 8) de los tabicones se siguió el procedimiento descrito en la norma mexicana NMX-C-036-1983. Tanto para las mezclas que se sometieron a curado, como para las que no lo fueron, se dejó transcurrir un periodo de al menos 28 días contados a partir de la fecha de elaboración.

Para determinar la contracción por secado de los tabicones (Figura 9) se siguió el procedimiento descrito en la norma mexicana NMX-C-024-1974.

Para determinar la absorción de los tabicones (Figura 10) se siguió el procedimiento descrito en la norma mexicana NMX-C-037-198.



**Figura 8.** Ensayo a compresión axial de tabicones, mezclas sin curado



**Figura 9.** Medición de la longitud después del periodo de secado para la prueba de contracción



**Figura 10.** Impregnación de la superficie del tabicón para la prueba de peso específico



**Figura 11.** Inmersión de los especímenes para determinar el peso ahogado durante la prueba de absorción

Para determinar el peso específico de los tabicones (Figura 11) se siguió el procedimiento descrito en las normas de la SCT, inciso 108-10.3.

Para estimar los parámetros del modelo de regresión y así analizar los resultados para cada una de las variables de respuesta, Montgomery (2002), se utilizó el software denominado STATGRAPHICS PLUS 4.0. El análisis de regresión del modelo completo que considera el efecto de todas las variables independientes y la variable de proceso sobre cada una de las variables de respuesta: resistencia, contracción, absorción y peso específico, indica que ninguna de ellas es estadísticamente significativa.

### Resistencia

Para considerar únicamente a las variables que son estadísticamente significativas se utilizó un método de selección que considera una combinación de las técnicas hacia delante (forward) y hacia atrás (backward). Como resultado del análisis de regresión total, en el que se consideran los efectos principales, interacciones dobles y triples, resultaron estadísticamente significativos para la resistencia: el

efecto principal del cemento (X2); la interacción doble cemento-agua (X1\*X2) y la interacción triple cemento-jal fino-curado (X2\*X4\*Z1), como puede observarse en la Tabla 5. La ecuación del modelo

final, que predice los valores de la resistencia a compresión axial de las mezclas estudiadas, se presenta en la Tabla 6.

**Tabla 5.** Análisis de regresión múltiple del modelo simplificado para la resistencia

Multiple Regression Analysis					
Dependent variable: Resistencia					
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value	
X2	2.1341	0.242171	8.81236	0.0000	
X1*X2	0.0792895	0.0141665	5.59699	0.0000	
X2*X4*Z1	-0.00554766	0.00191003	-2.90448	0.0053	
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	490494.0	3	163498.0	410.09	0.0000
Residual	21927.8	55	398.687		
Total	512421.0	58			
R-squared (adjusted for d.f.) = 95.5651 percent					

**Tabla 6.** Ecuación del modelo final para la resistencia

$$\text{Resistencia} = Y1 = 2.1341 * X2 + 0.0792895 * X1 * X2 - 0.00554766 * X2 * X4 * Z1$$

**Contracción**

Como resultado del análisis de regresión total, en el que se consideran los efectos principales, interacciones dobles y triples, resultaron estadísticamente significativos en la contracción: los efectos principales del agua (X1) y del jal grueso (X3); las interacciones dobles: agua-cemento (X1\*X2); agua-jal grueso (X1\*X3); agua-jal fino (X1\*X4); agua-arena amarilla (X1\*X5) y cemento-arena amarilla (X2\*X5), como puede observarse en la Tabla 7. La ecuación del modelo final, que predice

los valores de la contracción por secado de las mezclas estudiadas, se presenta en la Tabla 8.

**Absorción**

Como resultado del análisis de regresión total, en el que se consideran los efectos principales, interacciones dobles y triples, resultaron estadísticamente significativos en la absorción: los efectos principales del jal grueso (X3) y las interacciones dobles jal fino-arena amarilla (X4\*X5) y jal grueso-curado (X3\*Z1), como puede observarse en la Tabla 9.

**Tabla 7.** Análisis de regresión múltiple del modelo simplificado para contracción

Multiple Regression Analysis					
Dependent variable: Contraccion					
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value	
X1	0.20339	0.0807975	2.51728	0.0150	
X3	0.00281256	0.00052173	5.39084	0.0000	
X1*X2	-0.000968289	0.000320334	-3.02275	0.0039	
X1*X3	-0.000781911	0.00030965	-2.52514	0.0147	
X1*X4	-0.000637103	0.000286555	-2.22332	0.0307	
X1*X5	-0.000758517	0.00029654	-2.55789	0.0135	
X2*X5	0.0000494533	0.0000120804	4.09367	0.0002	
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	3.37556	7	0.482222	146.31	0.0000
Residual	0.168088	51	0.00329584		
Total	3.54364	58			
R-squared (adjusted for d.f.) = 94.6986 percent					

**Tabla 8.** Ecuación del modelo final para la contracción

$$\text{Contracción} = Y_2 = 0.20339 * X_1 + 0.00281256 * X_3 - 0.000968289 * X_1 * X_2 - 0.000781911 * X_1 * X_3 - 0.000637103 * X_1 * X_4 - 0.000758517 * X_1 * X_5 + 0.0000494533 * X_2 * X_5$$

**Tabla 9.** Análisis de regresión múltiple del modelo simplificado

Multiple Regression Analysis					
Dependent variable: Absorcion					
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value	
X3	1.34381	0.126828	10.5955	0.0000	
X4*X5	0.0217693	0.00139141	15.6454	0.0000	
X3*Z1	-0.440456	0.125821	-3.50066	0.0009	
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	3.55832E6	3	1.18611E6	628.08	0.0000
Residual	103865.0	55	1888.46		
Total	3.66218E6	58			
R-squared (adjusted for d.f.) = 97.0607 percent					

**Tabla 10.** Ecuación del modelo final para la absorción

$$\text{Absorción} = Y_3 = 1.34381 * X_3 + 1.25879 * X_4 * X_5 - 0.440456 * X_3 * Z_1$$

**Peso específico**

Como resultado del análisis de regresión total, en el que se consideran los efectos principales, interacciones dobles y triples, resultaron estadísticamente significativos en el peso específico: los efectos principales del cemento (X2); el jal grueso

(X3); el jal fino (X4) y la arena amarilla (X5); las interacciones dobles agua-curado (X1\*Z1); jal fino-curado (X4\*Z1) y la interacción triple cemento-arena amarilla-curado (X2\*X5\*Z1), como puede observarse en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Análisis de regresión múltiple del modelo simplificado para peso específico

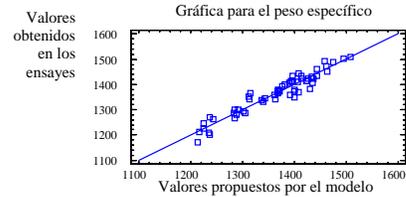
Multiple Regression Analysis					
Dependent variable: Pesoespecifico					
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value	
X2	8.33607	0.525189	15.8725	0.0000	
X3	4.03544	0.129339	31.2005	0.0000	
X4	3.69096	0.16376	22.5388	0.0000	
X5	4.91013	0.134875	36.4052	0.0000	
X1*Z1	4.53605	0.96088	4.72073	0.0000	
X4*Z1	0.773871	0.208028	3.72003	0.0005	
X2*X5*Z1	-0.0143764	0.00633754	-2.26845	0.0276	
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	1.08283E8	7	1.5469E7	11059.50	0.0000
Residual	71334.1	51	1398.71		
Total	1.08354E8	58			
R-squared (adjusted for d.f.) = 99.9264 percent					

**Tabla 12.** Ecuación del modelo final para peso específico

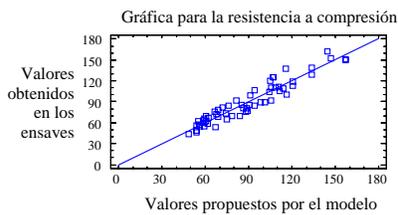
$$\text{Peso específico} = 8.33607 * X_2 + 4.03544 * X_3 + 3.69096 * X_4 + 4.91013 * X_5 + 4.53605 * X_1 * Z_1 + 0.773871 * X_4 * Z_1 - 0.0143764 * X_2 * X_5 * Z_1$$

La ecuación del modelo final, que predice los valores del peso específico de las mezclas estudiadas, se presenta en la Tabla 12.

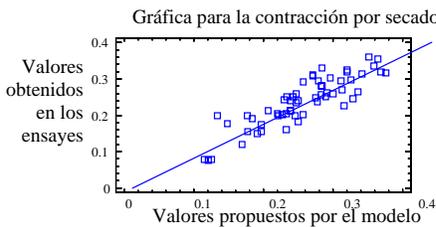
En las Figuras 12 a 15 se presentan las gráficas de los valores obtenidos experimentalmente en los ensayos contra los valores propuestos por el modelo para la compresión, la contracción, la absorción y el peso específico. Se observa un buen ajuste ya que no se detecta ningún patrón y o valor anormalmente disperso.



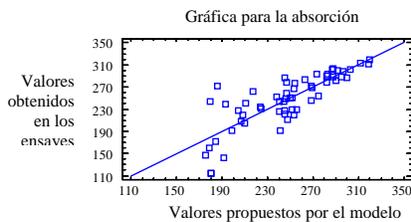
**Figura 15.** Observaciones contra predicciones para peso específico



**Figura 12.** Observaciones contra predicciones para resistencia



**Figura 13.** Gráfica observaciones contra predicciones para contracción



**Figura 14.** Observaciones contra predicciones para absorción

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio son válidos únicamente para las condiciones en las que se desarrolló la etapa experimental. Por ejemplo, para contenidos de agua diferentes a los que se consideraron, es lógico esperar variaciones en las respuestas finales.

La influencia de los niveles propuestos de los componentes de la mezcla y del proceso de curado en la calidad del tabicón puede resumirse de la siguiente manera:

1. La resistencia a compresión axial del tabicón depende de los contenidos de agua y cemento, así como de la cantidad de pasta (mezcla de agua y cemento). Los niveles propuestos de los demás componentes no presentan efecto sobre esta variable.

2. El proceso de curado tuvo un efecto antagónico sobre la resistencia: las mezclas que no se sometieron a este proceso presentaron resistencias ligeramente mayores a las resistencias de aquellas que si se sometieron a él. Esta situación puede atribuirse a un exceso de agua en los tabicones, que ocasionó tanto una disminución en el módulo de elasticidad de los agregados así como una falta de cohesión entre estos y la pasta de cemento. Las mezclas curadas se ensayaron a compresión 48 horas después de concluir el curado.

3. La normatividad vigente (NOM-C-10-1986) establece que el valor del promedio del esfuerzo de ruptura a compresión axial que resulte del ensaye de cinco piezas no debe ser menor que 100 kg/cm<sup>2</sup>. Alternativamente el esfuerzo correspondiente a una pieza no debe ser menor que 80 kg/cm<sup>2</sup>. 69% de las

*mezclas no curadas y 40% de las que si lo fueron cumplen con esta última condición, es decir, su resistencia individual fue mayor que 80 kg/cm<sup>2</sup>.*

*4. En la contracción por secado el componente que presenta mayor influencia es el agua, tanto en su efecto aislado (antagónico) como en sus interacciones con los demás componentes (sinérgicos).*

*5. El proceso de curado presenta un efecto antagónico sobre la contracción, ya que las mezclas que no se sometieron a este proceso presentan contracciones menores que las que si lo fueron, aunque estas últimas alcanzaron en menos tiempo la condición de equilibrio.*

*6. La absorción de la mezcla se ve afectada principalmente por el contenido de agregados, situación que es comprensible por la naturaleza de dichos agregados (alta porosidad).*

*7. El curado tiene un efecto sinérgico en la absorción: las mezclas curadas presentan valores menores que las que no se curaron.*

*8. Con relación a la normatividad vigente para la absorción (NOM-C-10-1986), el valor máximo permisible para el promedio del ensaye de 5 piezas es de 290 dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Aun cuando el resultado de un solo ensaye no puede tomarse como un valor significativo, el 89% de las mezclas curadas y el 76% de las no curadas cumplen con este valor.*

*9. El peso específico de las mezclas se ve afectado principalmente por el cemento, situación que resulta lógica si se considera que es el componente de mayor peso específico.*

*10. El curado tiende a incrementar el peso específico de la mezcla, debido al agua que los tabicones absorben durante este proceso.*

Tanto por las características de los agregados, como por los procesos de fabricación, las mezclas utilizadas para elaborar tabicones presentan condiciones especiales. Debido a la amplia aceptación del tabicón para la construcción de muros de mampostería (que se incrementa día con día), debe resaltarse la necesidad de desarrollar investigaciones que abarquen un rango más amplio en los niveles de las componentes dentro de las mezclas, para estudiar su influencia en la calidad del producto final y de esta manera establecer condiciones que permitan garantizarla.

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación, se pueden dar las siguientes:

---

## **RECOMENDACIONES**

1. *Para incrementar la resistencia a compresión axial de los tabicones se puede:*
  - 1.1. *Realizar un estudio de la superficie de respuesta del experimento para encontrar mezclas óptimas (mayor resistencia con menor contenido de cemento).*
  - 1.2. *Aumentar el contenido de cemento manteniendo sin variación la cantidad de agua en la mezcla (reducir la relación agua/cemento).*
  - 1.3. *Reducir la cantidad de agua manteniendo constante la cantidad de cemento en la mezcla.*
  - 1.4. *Aumentar la cantidad de pasta en el tabicón (reducir el volumen de agregados).*
2. *Para reducir la contracción de los tabicones se puede:*
  - 2.1. *Utilizar relaciones agua/cemento tales que su módulo de elasticidad sea menor que el de los agregados que intervienen en la mezcla.*
  - 2.2. *Incorporar agregados cuyo módulo de elasticidad sea mayor que el de la pasta de agua y cemento.*
  - 2.3. *Utilizar un proceso de curado que reduzca la contracción de la pasta de agua y cemento, sin afectar el módulo de elasticidad de los agregados.*
3. *Considerar otras opciones tanto para el proceso de curado (curado al vapor) como para su duración.*

---

## **RECONOCIMIENTOS**

Este trabajo fue posible gracias al apoyo del Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP), para la obtención del grado de Maestría en Ciencias por la Universidad de Guadalajara. La investigación experimental fue posible gracias al apoyo del Instituto de Ingeniería Sísmica (ISS) de la U. de G., del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI) de la U. de G. y de la empresa Bloquera Carrillo S. A. de C. V.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carmona, R. S. (1992). “PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES: TABIQUE SÓLIDO Y BLOQUE HUECO”, Reporte de Investigación, Instituto de Investigaciones para la Ingeniería A. C. Guadalajara, Jalisco. México.

Cornell, A. J. (1990). “EXPERIMENTS WITH MIXTURES: DESIGNS, MODELS AND THE ANÁLISIS OF MIXTURE DATA”. John Wiley & Sons. 2nd ed. Nueva York.

Dirección General de Proyectos de Servicios Técnicos y Concesiones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. “INSTRUCTIVO PARA EFECTUAR PRUEBAS EN SUELOS”. Volumen I. Curso XXXII 2000. México.

García, A. M. (2002). “CARACTERIZACIÓN DEL TABICÓN DE CONCRETO FABRICADO EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA”, Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente. Guadalajara, Jalisco. México.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (1990). “RESULTADOS DEFINITIVOS TABULADOS BÁSICOS TOMO III”. XI Censo General de Población y Vivienda. Jalisco.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2000). “TABULADOS BÁSICOS TOMO VII”. XII Censo General de Población y Vivienda. Jalisco.

Montgomery, D. C. (1991). “DISEÑO Y ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS”. Grupo Editorial Iberoamérica. México.

Montgomery, D. C., Peck, E. A., Vining, G. G. (2002). “INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL”. Editorial CECSA. 3ª Edición. México.

Neville, A. M., “TECNOLOGÍA DEL CONCRETO”. Tomos 1 y 2. Ediciones IMCYC. 1ª Edición. Méx.

Oceguera, C. J. (1986). “ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL TABICÓN JAL-CEMENTO ZONA GUADALAJARA Y ANÁLISIS Y DISEÑO COMPARATIVO DE UN EDIFICIO DE MAMPOSTERÍA DE CUATRO NIVELES, EN BASE AL REGLAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL 1977, CON MATERIALES TÍPICOS DE LA REGIÓN (TABICÓN Y LADRILLO)”. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente. Guadalajara, Jalisco. México.

Olivera, R.R. (1998). “EVALUACIÓN DEL COLAPSO DE LOS SUELOS PUMÍTICOS EN ALGUNOS SITIOS DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA”. Tesis de Maestría. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. México.

Quezada, T. L., Larios, C. J. (2002). “CLASIFICACIÓN, ESTUDIO Y ANÁLISIS DE BLOQUES DE CONCRETO QUE SE FABRICAN EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE GUADALAJARA”, Tesis de Licenciatura. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. México.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. (1986). “NOM -C-10-1986: INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CONCRETO - BLOQUES, LADRILLOS O TABIQUES Y TABICONES”. México.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. (1983). “NMX-C-036-1983: INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN LADRILLOS, BLOQUES Y ADOQUINES DE CONCRETO. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - MÉTODO DE PRUEBA”. México.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. (1974). “NMX-C-038-1974: DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LADRILLOS Y BLOQUES PARA LA CONSTRUCCIÓN”. México.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. (1974). “NMX-C-024-1974: DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN POR SECADO DE LOS BLOQUES, LADRILLOS, TABIQUES Y TABICONES DE CONCRETO”. México.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. (1986). NMX-C-037-1986: INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN CONCRETO, BLOQUES, LADRILLOS O TABIQUES Y TABICONES DE CONCRETO. DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA”. México.

Secretaría de Programación y Presupuesto. (1984). “X CENSO GENERAL DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 1980 ESTADO DE JALISCO”. Volumen I. Tomo 14. México.

Vargas, M. G. (2003). “INFLUENCIA DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA Y DEL PROCESO DE CURADO EN LA CALIDAD DEL TABICÓN ELABORADO EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA”, Tesis de Maestría. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. México.

---

Este documento se debe citar como:

Gabriel Vargas, David Urzúa y Humberto Gutiérrez. (2006). **Influencia de la mezcla y del curado en la calidad del tabicón elaborado en la Zona Metropolitana de Guadalajara**. *Revista Ingeniería*, 10-1, pp.5-16 ISSN: 1665-529X