

Análisis estadístico de características geométricas y mecánicas del bloque hueco de concreto de Tuxtla Gutiérrez

Statistical analysis of geometric and mechanical characteristics of hollow concrete block of Tuxtla Gutiérrez

DOI: <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i11.193>

JANIO ALEJANDRO RUIZ SIBAJA

<https://orcid.org/0000-0002-7698-0522> / asibaja@unach.mx
Universidad Autónoma de Chiapas, México

EBER ALBERTO GODÍNEZ DOMÍNGUEZ

<https://orcid.org/0000-0003-2925-4592> / eber.godinez@unach.mx
Universidad Autónoma de Chiapas, México

Recibido; 17 de agosto de 2021. Aceptado; 14 de octubre de 2021.

RESUMEN

Se presentan los resultados de un análisis estadístico para la caracterización geométrica y mecánica de bloques huecos de concreto, utilizados en construcciones de estructuras de mampostería en Tuxtla Gutiérrez, principalmente destinadas a vivienda. Se consideró una base de datos de ensayos realizados a 130 piezas, de 13 proveedores diferentes de la región. El análisis incluye las medidas de tendencia central de la geometría, la absorción de agua, la resistencia a cortante y la correlación entre el esfuerzo cortante resistente y las características físicas y geométricas de las piezas. Se registraron variaciones relevantes de la altura y longitud de los bloques respecto de lo establecido en las normas de construcción usualmente empleadas como referencia, aunque el espesor de estos cumple con los requisitos mínimos. Se proponen valores mínimos de la resistencia a cortante de las unidades ensayadas. El estudio de correlación entre el esfuerzo cortante máximo y el porcentaje de absorción indica que, a mayor porosidad de los bloques, disminuye su resistencia a cortante. La correlación entre el es-

fuerzo cortante máximo y el área neta muestra que la resistencia al esfuerzo cortante depende en menor medida de esta área que de la porosidad de la pieza. Finalmente, el análisis de correlación contra los espesores de las piezas señala que estos influyen menos en la resistencia de las piezas que el área neta y la porosidad.

Palabras clave: bloque hueco de concreto, mampostería, análisis estadístico, correlaciones, resistencia a cortante.

ABSTRACT

The results of a statistical analysis for the geometric and mechanical characterization of hollow concrete blocks used in the construction of masonry structures in Tuxtla Gutiérrez, mainly for housing, are presented. A database of tests performed on 130 units from 13 different suppliers in the region was considered. Measures of central tendency of geometry, water absorption, shear strength and the correlation between the shear stress strength and the physical and geometrical characteristics of the pieces is included in the



analysis. Significant variations in the height and length of the blocks with respect to what is established in the construction standards usually used as a guideline is observed; however, the thickness of the blocks complies with the minimum requirements. Minimum values are proposed for the shear strength of the tested units. As a result of the correlation study among the maximum shear stress and the percentage of absorption, it is observed that the higher the porosity of the blocks, the lower their shear strength. The correlation between the maximum shear stress and the net area shows that the shear strength depends less on this area than on the porosity of the units. Finally, the correlation analysis against unit thicknesses indicates that they have less influence on units strength than net area and porosity.

Keywords: concrete hollow block, masonry, statistical analysis, correlations, shear strength.

INTRODUCCIÓN

Los fenómenos de la naturaleza con que trata la ingeniería involucran algún grado de incertidumbre. Esto implica que las obras que concibe y realiza el ingeniero se diseñan para funcionar bajo condiciones y eventos que son inciertos dado que ocurrirán en el futuro.

La falta de certeza sobre la validez de las hipótesis iniciales formuladas juega un factor fundamental: dos obras construidas en condiciones idénticas no tienen la misma resistencia ni están sometidas a la misma variación de las cargas tanto temporal como espacial. Este hecho (variación de resistencia) se ha observado también en ambientes controlados en pruebas experimentales de elementos estructurales.

Así, el desconocimiento del medio donde estará la obra, así como de otros factores intrínsecos a la misma -las características de material con el cual se construirá-, induce una incertidumbre en el diseño inicial y en la toma de decisiones durante la construcción.

Estas variaciones azarosas de carga y resistencia son la causa de que ninguna obra tenga un fac-

tor de seguridad definido en forma determinista, sino que este dependa de una cierta distribución de probabilidades. A su vez, esta se relaciona con la probabilidad de falla de la edificación. Por ende, los factores de carga y resistencia se definen normalmente con base en estudios de confiabilidad estructural.

Así, deben de tenerse en cuenta las distintas posibilidades y las posibles consecuencias de cada una de estas variaciones en el diseño ingenieril, partiendo de los datos disponibles provenientes de la información reunida y de los condicionantes impuestos por las necesidades del proyecto.

En muchos casos, los datos reunidos presentan diferencias notables entre sí que no deben ignorarse en el momento de tomar decisiones. Por ejemplo, en México existe una variación significativa de las características geométricas y mecánicas de las piezas de mampostería comúnmente empleadas en las diferentes regiones, y a su vez, en cada región existen variaciones significativas en las propiedades mecánicas promedio obtenidas al considerar muestras representativas (Fernández Baqueiro *et al.* 2009, Morales Padilla 2008, Venosa Gutiérrez y Sánchez Alejandro 2016, Godínez Domínguez *et al.* 2021).

Por esto, en los diferentes códigos de diseño (por ejemplo, en las NTCEM-20 2020), se especifica que para determinar valores de diseño es necesario considerar resultados estadísticos provenientes de muestras representativas, tomando coeficientes de variación mínimos.

La *Estadística* es la rama de las matemáticas que establece las reglas para reunir, presentar y procesar los datos obtenidos al repetir varias veces un experimento. También fija las reglas para el diseño de los experimentos y para tomar decisiones cuando aparecen en el problema situaciones de incertidumbre.

De esta manera, es posible emitir resultados basados en el estudio de muestras representativas. La Estadística se divide en dos ramas:

1. Estadística descriptiva
2. Estadística inferencial

La primera se ocupa de la recolección, organización, tabulación, presentación y reducción de la información. La segunda es el conjunto de métodos y técnicas que permiten inducir, a partir de la información empírica proporcionada por una muestra, cual es el comportamiento de una determinada población (Walpole *et al.*, 2012).

En ingeniería es común requerir del uso de técnicas estadísticas para llegar a conclusiones válidas acerca de datos reunidos en ensayos de unidades y componentes con base en diferentes materiales.

Así, es posible identificar de mejor manera las variables y factores en estudio, extraer conclusiones válidas de forma general a partir de los datos de la muestra, detectar tendencias y patrones y, predecir escenarios futuros. La eficacia y versatilidad de la Estadística en ingeniería se manifiesta en su aplicación para el estudio de datos en situaciones que requieran del control y la mejora de la calidad de procesos.

Esta rama de las matemáticas ha resultado de gran utilidad, en la caracterización geométrica y mecánica de la mampostería, y se ha aplicado para tal fin en distintas partes del mundo.

Baratta and Voiello (1994) investigaron los parámetros estadísticos de las propiedades mecánicas de los elementos de mampostería mediante modelos teóricos de las leyes constitutivas de la mampostería. Simularon pruebas estándar sobre piezas individuales. Estudiaron la correlación entre las propiedades del mortero y el ladrillo, para una serie de propiedades del material y del mortero; y evaluaron la influencia de la inexactitud en la predicción de la magnitud relativa de las propiedades mecánicas de los componentes.

Acercas del comportamiento de los materiales, Alcocer (1997) señala que “una evaluación estadística de la resistencia a la compresión de piezas de mampostería fabricadas en América Latina ha indicado que la resistencia de tabiques macizos de arcilla fabricados a mano depende de la materia prima y no del proceso de fabricación en sí.

De manera similar, se ha encontrado que la calidad de la materia prima es la variable que más significativamente afecta a la resistencia a

compresión de piezas de arcilla fabricadas industrialmente. Por otro lado, la resistencia de piezas de concreto depende principalmente del proceso de aseguramiento de la calidad y del nivel de industrialización de la planta.

La variabilidad de la resistencia es, en términos generales, elevada, aun para piezas producidas industrialmente en las cuales en el control de calidad se cuida la apariencia y estabilidad dimensional, más que la resistencia. Los coeficientes de variación oscilan entre 15 y 25%, para producción industrial y artesanal, respectivamente.”

Afqahi Aryana (2006), realizó un estudio estadístico de la resistencia a compresión de pilas de mampostería de ladrillo de barro; en el trabajo se identificaron varios factores que potencialmente podrían afectar la resistencia a la compresión de las pilas (variables predictoras) y sus efectos se analizaron estadísticamente. Estos factores consistieron en la relación entre la altura del prisma y el espesor, la resistencia a la compresión de la unidad de ladrillo, el tipo de mortero, las unidades de ladrillo hueco versus ladrillo sólido, el espesor de la junta de mortero y el uso o ausencia de lechada en las pilas.

Disponer de una amplia base de datos, de ensayos de mampostería, resulta útil para apoyar a los investigadores y profesionales en el estudio estadístico, y el modelado mecánico de mampostería y sus componentes (unidades y mortero). Augenti *et al.* (2012) presentaron MADA (Masonry DAtabase), una base de datos en línea que proporciona valiosos datos experimentales.

En su etapa inicial, MADA se basó en datos experimentales, de alrededor de 400 archivos electrónicos asociados con más de 100 artículos e informes de investigación. Se desarrolló para mejorar el conocimiento sobre el comportamiento de mampostería existente y promover el análisis estadístico de datos experimentales para revisiones de códigos sísmicos.

En Colombia, Afanador García *et al.* (2012) estudiaron las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos de mampostería; procesaron los datos de 512 ensayos a flexión de

unidades de acuerdo con la metodología NTC 4017 (Colombia).

A través de un análisis estadístico de los datos experimentales, mostraron que la distribución de probabilidad que mejor se ajustó fue la de Birnbaum – Saunders, con un factor de forma de 0.6973 y un factor de escala de 0.782. En esta distribución la ordenada es el esfuerzo a la compresión y la abscisa es la probabilidad de falla. No se encontró una relación que permitiera estimar una expresión entre la tasa inicial de absorción (TIA) y la resistencia a la compresión del ladrillo macizo de arcilla cocida, como tampoco ocurrió entre la absorción final (AF) y la resistencia a la compresión del ladrillo, pues sus coeficientes de correlación (R) fueron de 0.032 y 0.037, respectivamente.

Navas Carro y Salazar Méndez (2014) estudiaron las propiedades geométricas del bloque de concreto: dimensiones de la pieza, espesores de pared, área, momento de inercia y módulo de sección.

El trabajo se dividió en dos: a) fase experimental, en la cual muestrearon 270 piezas y, b) fase analítica, en la que se obtuvieron las propiedades geométricas de la población con base en un análisis estadístico de los datos, empleando principalmente los percentiles de la muestra. Con base en esto, compararon sus resultados contra lo especificado en las normas INTE 06-03-01 (Costa Rica) y ASTM C90 (Estados Unidos de América).

Además, obtuvieron dimensiones promedio de las piezas estudiadas, encontrando que la mayoría de los bloques cumple con el espesor de pared mínimo establecido por la norma INTE 06-03-01. Finalmente, indicaron que la relación promedio entre el área neta y el área bruta de las unidades permite clasificarlas como mampostería hueca, según la ASTM C90 y, que el momento de inercia y el módulo de sección son mayores a lo esperado de acuerdo con las normas INTE 06-03-01.

La Sociedad de Ingenieros Estructuralistas Dominicanos (SINEDOM) presentó en 2014 un diagnóstico de la mampostería dominicana. Para tal fin, elaboraron 221 pilas de mampostería de bloque de concreto y se ensayaron hasta la rotu-

ra. Las piezas se reunieron de edificaciones de las zonas Norte y Este de la República Dominicana.

El estudio estadístico de los resultados de ensayos de laboratorio permitió obtener parámetros estadísticos para la resistencia neta de los prismas: media, mediana, desviación estándar, varianza y rango. También obtuvieron el peso volumétrico promedio de la mampostería y el histograma de distribución de frecuencias de los datos de rotura de las pilas. A partir de este último, propusieron un valor confiable de la resistencia a compresión del material ensayado.

También se ha utilizado la Estadística para definir la forma de la curva esfuerzo-deformación de la mampostería de ladrillo de concreto (conocido en México como tabicón). Yang *et al.* (2019) realizaron ensayos de compresión de pilas de este material con diferentes resistencias de mortero y con resistencia constante del ladrillo.

En el desarrollo del modelo constitutivo, el módulo de elasticidad, la deformación en la tensión máxima y la deformación en el 50% de la tensión máxima en la rama descendente, se formularon a partir del análisis de regresión utilizando datos de los ensayos. Enseguida, se realizaron análisis numéricos y estadísticos para determinar las pendientes en las ramas ascendentes y descendentes de la relación esfuerzo-deformación. Obtuvieron así un modelo de comportamiento más preciso y fácil de manejar que otros modelos conocidos.

La relevancia del uso de la mampostería en México y América Latina, se debe a que la mayoría de las viviendas unifamiliares se construyen, precisamente, a base de muros de mampostería (en sus diferentes modalidades). También se emplean sistemas a base de muros de mampostería en el diseño y construcción edificios de vivienda de baja altura (Ruiz Sibaja *et al.* 2019, Godínez Domínguez *et al.* 2021).

Entre los materiales utilizados para edificar los muros (tanto en el ámbito urbano como rural) destaca el bloque hueco de concreto (BHC), el cual se fabrica en moldes de dimensiones específicas donde se deposita el concreto. El BHC es un elemento compacto, de forma rectangular, tri-

dimensional, de color natural grisáceo y de superficie rugosa y puede utilizarse como elemento estructural o no estructural.

Una de las principales razones por las que se utiliza tanto en la construcción de muros de mampostería es que su uso aligera el presupuesto, esencialmente en cuestión de ahorro de energía, ya que puede fabricarse cerca de las construcciones y con materiales de la región (esto usualmente tiene repercusiones negativas en la resistencia de las piezas), lo cual reduce el uso de combustible en el transporte y exige menor demanda de mano de obra. El rendimiento en el pegue de las piezas también es mayor al emplear BHC, comparado, por ejemplo, al emplear ladrillos de barro rojo recocidos.

Además de esto su geometría disminuye la cantidad de mortero de pega para unir las piezas, permite prescindir del revoque grueso, admite la aplicación de diferentes terminaciones (revoque fino o texturizado plástico). La estructura hueca del BHC permite el paso de instalaciones de todos los servicios con mayor facilidad. También facilita la colocación del acero de refuerzo estructural, así como el alojamiento de materiales de aislamiento térmico.

En la última década el BHC ha sido uno de los materiales más utilizados para la construcción de viviendas de interés social en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (Argüello Méndez *et al.*, 2012). Esto ha originado un incremento en la demanda de la producción de dicho material. Lamentablemente, el incremento de la demanda no ha estado acompañado de una mejora en la calidad, pues se ha detectado una problemática en su elaboración, principalmente asociada a la ausencia de una normativa específica en Chiapas, en donde se indique el protocolo correcto para su fabricación y los requisitos mínimos de resistencia.

Respecto a esto, es importante hacer notar que, en el reglamento vigente de construcción para Tuxtla Gutiérrez, no se incluye un apartado en el que se aborde con detalle el diseño de edificaciones de mampostería o se recomiende la calidad de los elementos de mampuesto usados. En general, la práctica común, al igual que se hace en muchas partes del país, es hacer referen-

cia a las Normas Técnicas Complementarias que emite el Gobierno de la Ciudad de México como complemento a su Reglamento de construcción.

Como consecuencia de esta carencia; por lo general, los fabricantes producen las piezas sin el debido control de calidad, dando lugar a que el BHC tenga un mal diseño geométrico y mecánico, y provocando que este sea un material de calidad inapropiada para su uso en las edificaciones. Las graves consecuencias del empleo de materiales de pobre calidad para uso estructural se han evidenciado a lo largo de la historia de la ciudad y del estado durante eventos sísmicos intensos, como se observó durante el aún reciente sismo de Tehuantepec del 7 de septiembre de 2017 (Godínez Domínguez *et al.* 2021).

Así, es preciso realizar campañas de caracterización geométrica y mecánica de este material y procesar estadísticamente los resultados obtenidos para hacer un diagnóstico del BHC que se fabrica en la región de Tuxtla Gutiérrez.

Con esta información es posible tomar decisiones para el mejoramiento de la calidad de este material (pieza) y sentar las bases para proponer una normativa regional de construcción para el diseño de sistemas estructurales a base de muros de mampostería.

En este trabajo se presentan los resultados del análisis estadístico de los ensayos realizados a 130 piezas de BHC de 13 proveedores diferentes de la región, para estimar la calidad de este material y disponer de datos que permitan mejorar sus características. El estudio incluye medidas de tendencia central (promedio y desviación estándar) de:

- a. la geometría
- b. los espesores de pared
- c. la resistencia a cortante
- d. absorción de agua
- e. correlación entre el esfuerzo cortante y las características físicas y geométricas de las piezas

En las secciones posteriores se muestran los detalles del estudio realizado y se discuten los resultados obtenidos.

ENSAYOS REALIZADOS

Los ensayos se realizaron en la Unidad Tecnológica Ing. Carlos Serrato Alvarado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), de julio a diciembre de 2017 y de enero a julio de 2018.

El material se preparó conforme a las recomendaciones y especificaciones de las normativas NTCM-04 (NTCM-04 2004) y ONNCCE (NMX-C-036-ONNCCE-2013, NMX-C-038-ONNCCE-2013, NMX-C-404-ONNCCE-2012).

Por cada uno de los 13 lotes de ensayo (con BHC provenientes de cada uno de los proveedores) se utilizaron en cada prueba el número de piezas siguiente:

- a. Caracterización geométrica: 10 piezas
- b. Absorción de agua: 10 piezas
- c. Resistencia a compresión de piezas individuales: 10 piezas.

Por tanto, se requieren 10 piezas por cada proveedor, pero previendo algún tipo de alteración del material por transporte, manejo u otros imprevistos, se adquirieron 12 piezas por cada lote.

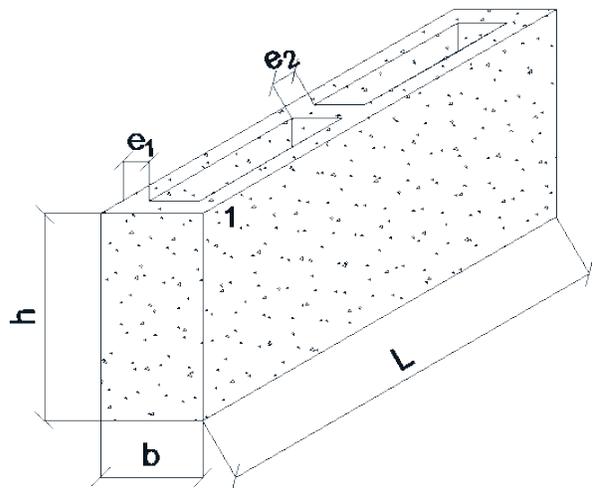
En la Figura 1 se muestra uno de los BHC ensayados. Los detalles del programa experimental se describen en Pérez Fonseca y Rodríguez Estrada (2020).

FIGURA 1

Pieza y variables para la definición de la geometría de BHC antes de su ensayo.



a) Pieza típica



b) Características geométricas relevantes

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL DE LA GEOMETRÍA

Para la caracterización geométrica de los bloques se tomaron las 10 piezas de cada proveedor, y de acuerdo a lo que se indica en la NMX-C-038-ONNCCE-2012 (ONNCCE 2012), se midieron sus dimensiones geométricas con un calibrador “pie de rey” y un flexómetro.

Se registraron: largo (L), alto (h), ancho (b) e interior de los alvéolos (Fig. 1b). No se midieron ni el estriado ni el relieve, ya que las piezas no contaban con estas características. Además, se midieron los espesores de pared de las piezas de cada lote, en donde e_1 es el espesor de las paredes en el sentido longitudinal y, e_2 al espesor de las paredes en el sentido transversal (Fig. 1b).

Para cada lote se calcularon el promedio y la desviación estándar de las dimensiones registradas, así como para toda la población (ver Tablas 1, 2 y 3).

TABLA 1

Valores medios y desviaciones estándar de las dimensiones geométricas de los bloques huecos de concreto

Proveedor	Largo (cm)	σ_{largo}	Ancho (cm)	σ_{ancho}	Alto (cm)	σ_{alto}
		(cm)		(cm)		(cm)
A	40.05	0.04	11.97	0.03	20.12	0.09
B	40.18	0.10	12.07	0.11	19.35	0.17
C	40.09	0.09	12.14	0.06	20.03	0.09
D	39.97	0.06	12.00	0.04	19.89	0.15
E	40.04	0.09	12.08	0.06	19.42	0.17
F	40.06	0.06	12.11	0.14	20.02	0.16
G	40.03	0.07	12.03	0.06	20.01	0.09
H	40.08	0.07	12.04	0.03	20.05	0.12
I	40.00	0.00	11.97	0.03	19.96	0.16
J	40.17	0.14	12.01	0.08	20.16	0.27
K	40.40	0.07	11.79	0.10	19.31	0.13
L	40.04	0.24	12.13	0.19	19.91	0.18
M	39.83	0.36	12.14	0.10	19.29	0.32
Todos	40.07	0.45	12.04	0.12	19.81	0.36

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 3

Valores medios y desviaciones estándar de los espesores de pared de cada lote.

Proveedor	e_1	σ_{e_1}	e_2	σ_{e_2}
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
A	2.70	0.049	2.68	0.030
B	2.90	0.079	4.14	0.172
C	2.74	0.048	2.83	0.039
D	3.11	0.043	3.03	0.121
E	2.65	0.055	2.73	0.044
F	2.85	0.077	2.67	0.047
G	2.63	0.034	2.67	0.052
H	3.07	0.042	3.10	0.047
I	2.78	0.041	2.57	0.025
J	3.02	0.187	3.20	0.240
K	2.92	0.046	3.08	0.048
L	3.11	0.143	3.04	0.140
M	3.06	0.052	2.89	0.110
Todos	2.89	0.180	2.97	0.403

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 2

Valores medios y desviaciones estándar de las dimensiones de los alvéolos de cada lote

Proveedor	Alvéolo 1				Alvéolo 2			
	Ancho (cm)	σ_{ancho}	Largo (cm)	σ_{largo}	Ancho (cm)	σ_{ancho}	Largo (cm)	σ_{largo}
		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)
A	6.54	0.07	16.04	0.05	6.60	0.09	15.96	0.05
B	6.29	0.13	13.83	0.34	6.27	0.13	13.93	0.25
C	6.63	0.08	15.81	0.08	6.67	0.05	15.80	0.07
D	5.84	0.07	15.35	0.08	5.71	0.16	15.54	0.28
E	6.77	0.09	15.94	0.07	6.78	0.07	15.91	0.03
F	6.41	0.07	16.04	0.08	6.42	0.11	16.01	0.06
G	6.78	0.10	16.00	0.09	6.77	0.11	16.02	0.09
H	5.88	0.08	15.35	0.10	5.91	0.10	15.43	0.09
I	6.41	0.06	16.13	0.05	6.40	0.12	16.16	0.05
J	5.96	0.36	15.34	0.46	6.00	0.41	15.24	0.36
K	5.98	0.06	15.54	0.12	5.92	0.06	15.61	0.10
L	5.91	0.20	15.47	0.26	5.92	0.17	15.44	0.24
M	5.99	0.13	15.58	0.30	6.03	0.11	15.58	0.17
Todos	6.26	0.35	15.57	1.66	6.26	0.37	15.59	1.63

Fuente: Elaboración propia.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL DE ABSORCIÓN DE AGUA

Las pruebas de absorción de agua se realizaron conforme a la NMX-C-404-ONNCCE-2012 (ONNCCE 2012).

Cada una de las piezas se identificó por su procedencia y se numeró, enseguida se secó cuidadosamente y se pesó. A este peso se le denomina M_s (masa seca del espécimen). Posteriormente, conforme a la normativa de referencia, los especímenes se sumergieron en agua durante 24 horas a una temperatura de entre 17° y 23°. Posterior a las 24 horas, se sacaron del recipiente en que se depositaron, y se eliminó el agua en todas las superficies del bloque (caras, huecos y paredes).

A continuación, se volvieron a pesar, y a este peso se le denomina M_{SS} (masa saturada y superficialmente seca).

A partir de estos datos se calculó la absorción volumétrica (A) en porcentaje en 24 horas con la Ec. (1):

$$A = \frac{M_{SS} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

En la Figura 2 se muestra parte del proceso de realización de este ensayo, y en la Tabla 4 se concentran el promedio y la desviación estándar de los resultados registrados en la prueba de absorción de agua.

FIGURA 2

Realización de la prueba de absorción de agua.



MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL Y A CORTANTE

Se ensayaron piezas a compresión, colocándolas en posición vertical, no horizontal, aunque se siguió el protocolo que indican las normas NMX-C-404-ONNCCE-2012 (ONNCCE 2012) y NMX-C-036-ONNCCE-2013 (ONNCCE 2013), para realizar los ensayos.

Las piezas se ensayaron en esta posición para evaluar la resistencia a compresión axial y estimar a través de esta la resistencia a cortante de la pieza. Es importante recalcar que, dada la escasa información existente al respecto, interesa conocer el comportamiento a cortante del BHC y, posiblemente, emplearlo como un parámetro asociado a la calidad de la misma.

En la Figura 3 se muestran los especímenes preparados para la realización de los ensayos a compresión axial. De forma complementaria, en la Figura 4 se muestran los resultados (estados de la pieza) de una de las pruebas realizadas en la máquina universal.

FIGURA 3

Especímenes preparados para los ensayos a compresión axial.



TABLA 4

Valor medio y desviación estándar de la absorción de agua por cada lote.

Proveedor	Peso seco promedio (kg)	σ_{seco}	Peso saturado promedio (kg)	$\sigma_{saturado}$	% de absorción A	$\sigma_{absorción}$
		(kg)		(kg)		(%)
A	0.29	0.09	0.32	0.10	10.90	1.03
B	0.37	0.10	0.42	0.11	11.94	2.03
C	0.41	0.14	0.44	0.14	5.69	1.38
D	0.44	0.10	0.50	0.12	14.83	7.43
E	0.30	0.13	0.35	0.15	19.35	1.35
F	0.33	0.14	0.37	0.16	11.69	10.22
G	0.34	0.12	0.37	0.13	10.10	1.62
H	12.83	0.25	13.85	0.23	7.97	1.55
I	12.72	0.41	13.43	0.42	5.59	0.70
J	13.02	0.32	13.88	0.29	6.62	1.29
K	12.31	0.48	13.43	0.48	9.07	1.05
L	13.08	0.56	14.05	0.67	7.42	2.13
M	11.75	0.22	13.19	0.11	12.24	1.85
Todos	6.01	0.24	6.51	0.24	10.26	2.59

Fuente: Elaboración propia.



FIGURA 4

Ensayo de BHC a compresión axial.



El esfuerzo de compresión σ_x , resulta de dividir la carga de ruptura entre el área neta, a continuación, mediante la Ec. (2) (Gere y Goodno, 2009) se obtiene $\tau_{m\acute{a}x}$, el esfuerzo máximo de cortante en la pieza.

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_x}{2} \quad (2)$$

En la Tabla 5 se muestran los esfuerzos de compresión (columna 4) calculados a partir de los ensayos para cada lote (estos esfuerzos resultan de dividir la carga de ruptura entre el área bruta de la sección transversal, $b \times h$), en la columna 6 aparecen los esfuerzos cortantes calculados con la Ec. (2). En las columnas 3, 5 y 7 aparecen las desviaciones estándar de la carga de ruptura, del esfuerzo de compresión y del esfuerzo cortante, respectivamente.

Conforme a lo que se indica en las NTCM-04 y en las NTCM-17, las resistencias de diseño, por ejemplo, en compresión (f_m^*) o en compresión diagonal (v_m^*) de la mampostería, o para el caso de morteros, deben calcularse tomando en cuenta medidas estadísticas. Esto es, deben considerarse los valores promedio de una muestra representativa y un coeficiente de variación de la resistencia, que es función del sistema de control de calidad empleado en la producción de las piezas (mayor coeficiente de variación conforme menor sea el control de calidad). Por ejemplo, en las NTCM-17, para el cálculo de v_m^* , se emplea la Ec. (3).

TABLA 5

Valor medio y desviación estándar de la carga de ruptura, esfuerzo de compresión y esfuerzo cortante de piezas individuales por cada proveedor.

Proveedor	Carga de ruptura (kg)	σ_{carga} (kg)	Esfuerzo de compresión (kg/cm ²)	σ_{esfuerzo} (kg/cm ²)	Esfuerzo cortante (kg/cm ²)	σ_{cortante} (kg/cm ²)
A	7218.30	1515.19	29.98	6.29	14.99	3.14
B	5545.40	2631.56	23.72	11.13	11.86	5.56
C	12155.00	2858.24	50.00	11.83	25.01	5.91
D	5222.20	2241.51	21.89	9.46	10.95	4.73
E	3304.20	808.27	14.08	3.47	7.04	1.73
F	3563.80	881.74	14.70	3.66	7.35	1.83
G	8347.20	2475.31	34.65	10.24	17.33	5.12
H	4015.80	1399.13	16.65	5.88	8.33	2.94
I	11287.30	4849.56	47.13	20.19	23.57	10.09
J	5797.20	1664.37	23.93	6.69	11.97	3.34
K	2823.50	462.74	12.59	2.17	6.30	1.09
L	6606.30	1682.23	27.33	6.73	13.67	3.37
M	2021.00	447.17	8.62	1.83	4.31	0.91
Todos	5992.86	1839.77	25.02	7.66	12.51	3.83

Fuente: Elaboración propia.

$$v_m^* = \frac{\overline{v}_m}{1 + 2.5C_v} \quad (3)$$

Donde \overline{v}_m es la media de la resistencia a compresión diagonal de muretes, sobre área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga y C_v es el coeficiente de variación de la resistencia a compresión diagonal de muretes, con un valor mínimo de 0.20 (para compresión el valor mínimo es de 0.15).

Es importante hacer notar que, como se indica en las NTCM, la resistencia de diseño en compresión o en compresión diagonal de la mampostería, es función de la interacción existente entre las piezas y el correspondiente mortero empleado, cuyas características definen, además de la resistencia, su modo de falla (por ejemplo, Tena *et al.* 2009 y 2017, Fernández *et al.* 2009, Sánchez *et al.* 2017 y, Ruiz *et al.* 2019).

Debido a la escasa información respecto a la resistencia a cortante de unidades de mampostería, se adoptó el criterio general de las NTCM, en donde se considera un valor promedio y un coeficiente de variación mínimo (Ec. 3), para estimar la resistencia de diseño a cortante del BHC,

como unidad. Es importante hacer notar que esta resistencia no corresponde con la resistencia a compresión diagonal de la mampostería, la cual debe obtenerse experimentalmente empleando muretes y considerando su interacción con el mortero.

En este caso, $\tau_{m\text{máx}}$ se toma de la columna 6 de la Tabla 5. En la Tabla 6 se muestran los coeficientes de variación de la resistencia a cortante de las piezas. Se observa que, excepto para el proveedor K, todos los coeficientes de variación son mayores de 0.20, para este proveedor se omitió $C_v = 0.17$ y se utilizó $C_v = 0.20$ en el cálculo de τ_m^* según la expresión (4).

TABLA 6

Coeficientes de variación por cada proveedor de la resistencia a cortante del BHC.

Proveedor	Coeficiente de variación de la resistencia a cortante
A	0.21
B	0.47
C	0.24
D	0.43
E	0.25

Proveedor	Coefficiente de variación de la resistencia a cortante
F	0.25
G	0.30
H	0.35
I	0.43
J	0.28
K	0.17
L	0.25
M	0.21

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7 aparecen los valores de las resistencias τ_m^* calculadas mediante la relación (4) y sus desviaciones típicas.

$$\tau_m^* = \frac{\tau_{m\max}}{1 + 2.5C_v} \quad (4)$$

TABLA 7

Valor medio y desviación estándar por cada proveedor de la resistencia a cortante de piezas individuales.

Proveedor	τ_m^*	$\sigma_{\tau_m^*}$
	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
A	9.83	2.06
B	5.45	2.56
C	15.63	3.69
D	5.28	2.28
E	4.33	1.06
F	4.52	1.13
G	9.90	2.93
H	4.44	1.57
I	11.36	4.86
J	7.04	1.96
K	4.20	0.73
L	8.41	2.07
M	2.83	0.60

Fuente: Elaboración propia.

Hulse y Ambrose (1982) presentaron una relación entre la resistencia a compresión y la resistencia a cortante de piezas individuales de ladrillo de barro perforado, la cual se muestra a continuación:

$$\tau = \frac{\sigma}{31} + 1.45 \quad (5)$$

La expresión (5) se obtuvo mediante un análisis de regresión de datos, de ensayos a compresión y cortante, y en ella τ es la resistencia al cortante (N/mm²), basada en la sección bruta, y σ es la resistencia a la compresión (N/mm²).

Puesto que las piezas de bloque que se consideran en este trabajo, son huecas (similar al efecto de las perforaciones), con fines de comparación, se utilizó la relación (5) para estimar la resistencia a cortante de las unidades ensayadas.

En la Tabla 8 se muestran los resultados de la aplicación de la expresión (5). En la columna 2 de esta tabla aparecen los valores del esfuerzo de compresión medio (en kg/cm²) para cada uno de los lotes que se ensayaron, las unidades de estos datos se convierten a N/mm² (columna 3) y se incorporan en la relación (5). Se obtienen así los resultados que se muestran en la columna 4 (N/mm²), en la columna 5 aparecen estos esfuerzos cortantes en kg/cm².

TABLA 8

Esfuerzo cortante calculado de acuerdo con la expresión de Hulse y Ambrose.

Proveedor	σ	σ	τ	τ
	(kg/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kg/cm ²)
A	29.98	2.94	1.54	15.70
B	23.72	2.33	1.53	15.60
C	50.00	4.90	1.61	16.42
D	21.89	2.15	1.52	15.50
E	14.08	1.38	1.49	15.19
F	14.70	1.44	1.50	15.30
G	34.65	3.40	1.56	15.91
H	16.65	1.63	1.50	15.30
I	47.13	4.62	1.60	16.32
J	23.93	2.35	1.53	15.60
K	12.59	1.23	1.49	15.19
L	27.33	2.68	1.54	15.70
M	8.62	0.85	1.48	15.09

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 9 se comparan los resultados de aplicar las ecuaciones (2) y (5) a los esfuerzos de rotura en compresión registrados en la columna 2 de la Tabla 8. En la columna 3 aparece el esfuerzo cortante calculado con la expresión (2), τ^1 , y en

la columna 4 el esfuerzo cortante calculado con la relación (5), τ^2 .

TABLA 9

Comparación entre esfuerzos cortantes calculados con las expresiones para cortante máximo y de Hulse y Ambrose.

Proveedor	σ (kg/cm ²)	τ^1 (kg/cm ²)	τ^2 (kg/cm ²)
A	29.98	14.99	15.70
B	23.72	11.86	15.60
C	50.00	25.00	16.42
E	14.08	7.04	15.19
F	14.70	7.35	15.30
G	34.65	17.33	15.91
H	16.65	8.33	15.30
I	47.13	23.57	16.32
J	23.93	11.97	15.60
K	12.59	6.30	15.19
L	27.33	13.67	15.70
M	8.62	4.31	15.09
Valor medio	24.06	12.04	15.57
Desviación Estándar	12.81	6.40	0.42
Coefficiente de Variación	0.53	0.53	0.03

Fuente: Elaboración propia.

En las Figuras 5 y 6 se muestran, respectivamente, los resultados derivados de utilizar la Ec. (2) y la expresión de Hulse y Ambrose.

FIGURA 5

Estimación de esfuerzo cortante de acuerdo con la Ec. (2).

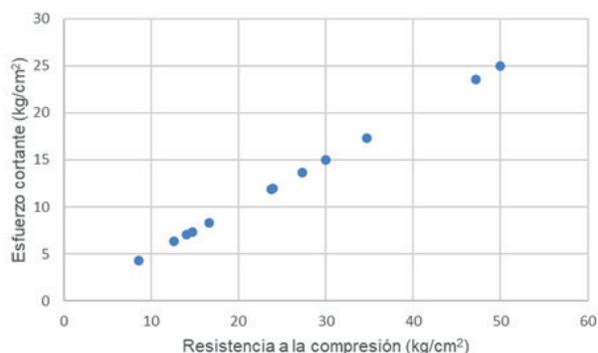
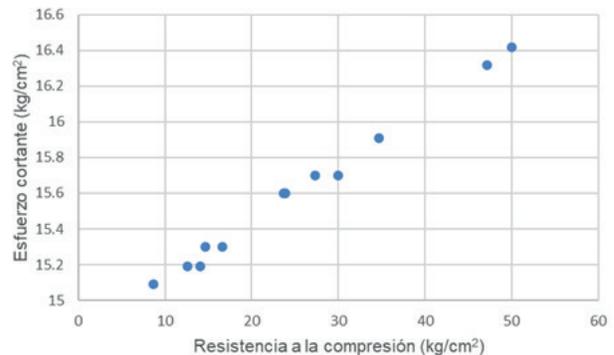


FIGURA 6

Estimación de esfuerzo cortante según la fórmula de Hulse y Ambrose.



ESTUDIO DE CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A CORTANTE Y LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOMÉTRICAS DEL BHC

Con el propósito de estudiar la correlación entre la resistencia a cortante y las características geométricas del BHC, se realizaron cuatro estudios, uno para la absorción de agua, uno para el área neta y dos más para los espesores e_1 y e_2 . Esto encuentra su motivación en el hecho de que se observó que los porcentajes de absorción entre los diversos lotes, e incluso dentro del mismo lote, son bastante variables, también se detectó que cada proveedor utiliza un molde propio para producir sus bloques y las piezas no suelen tener las dimensiones geométricas que indica la normativa de referencia, por lo tanto, es de gran interés estudiar estas correlaciones.

En la Tabla 10 se presentan para el proveedor A, los valores del esfuerzo cortante $\bar{\tau}_m$ registrado, para cada una de las piezas, en los ensayos del BHC y la absorción de agua correspondiente; en la Figura 7 aparece la correlación entre ambos datos. En la Tabla 11 se reúnen los coeficientes de correlación estimados para todos los proveedores.

TABLA 10

Datos para realizar la correlación entre $\bar{\tau}_m$ y el porcentaje de absorción para las piezas del proveedor A.

Esfuerzo cortante máximo X	% de absorción Y
16.96	12.45
17.17	11.25
21.29	12.47
13.43	9.91
11.92	11.00
16.74	9.57
15.68	9.72
13.47	10.43
12.05	11.41
11.21	10.82

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 7

Correlación entre $\bar{\tau}_m$ y el porcentaje de absorción para las piezas del proveedor A.

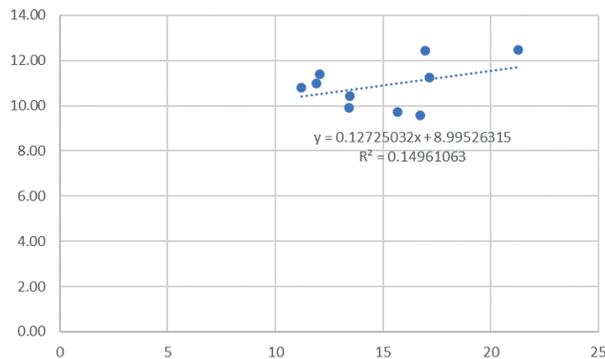


TABLA 11

Coefficientes de correlación entre $\bar{\tau}_m$ y el porcentaje de absorción para cada uno de los lotes.

Proveedor	Coefficiente de correlación
A	0.38679533
B	-0.155804498
C	0.30766673
D	-0.400347427
E	-0.12679817
F	0.202472269
G	0.464668963
H	0.388130545
I	-0.544049234
J	-0.858234229

Proveedor	Coefficiente de correlación
K	-0.554510666
L	0.615669087
M	-0.296248809

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 12 se concentran, para el proveedor A, los valores del esfuerzo cortante $\bar{\tau}_m$ obtenido, para cada una de las unidades de mampostería, en los ensayos del BHC y el área neta correspondiente; en la Figura 8 se muestra la correlación entre ambos datos. En la Tabla 13 aparecen los coeficientes de correlación estimados para todos los proveedores.

TABLA 12

Datos para realizar la correlación entre $\bar{\tau}_m$ y el área neta para las piezas del proveedor A.

$\bar{\tau}_m$ (kg/cm²) X	Área neta (cm²) Y
16.96	241.20
17.17	241.80
21.29	240.00
13.43	241.99
11.92	240.79
16.74	241.80
15.68	240.38
13.47	239.00
12.05	240.00
11.21	240.79

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 8

Correlación entre $\bar{\tau}_m$ y el área neta para las piezas del proveedor A.

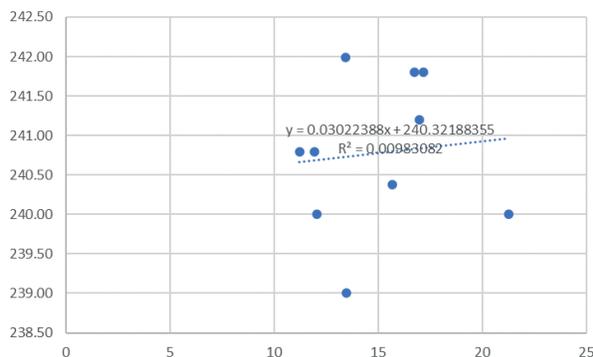


TABLA 13

Coefficientes de correlación entre $\bar{\tau}_m$ y el área neta para cada uno de los lotes.

Proveedor	Coefficiente de correlación
A	0.099150487
B	0.377108185
C	-0.125706455
D	-0.303076141
E	-0.107848677
F	-0.014432252
G	0.391960977
H	-0.689791904
I	0.345867247
J	-0.002172812
K	-0.675385802
L	0.491571516
M	-0.041754367

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 14 se muestran, para el proveedor A, los valores del esfuerzo cortante $\bar{\tau}_m$ alcanzado, para cada una de las piezas, en los ensayos del BHC y el espesor e_1 ; en la Figura 9 aparece la correlación entre ambos datos. En la Tabla 15 se indican los coeficientes de correlación estimados para todos los proveedores.

TABLA 14

Datos para realizar la correlación entre $\bar{\tau}_m$ y el espesor e_1 para las piezas del proveedor A.

$\bar{\tau}_m$ (kg/cm ²)	Espesor e_1 (cm)
X	Y
16.96	2.67
17.17	2.73
21.29	2.68
13.43	2.67
11.92	2.68
16.74	2.68
15.68	2.68
13.47	2.63
12.05	2.73
11.21	2.67

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 9

Correlación entre $\bar{\tau}_m$ y el espesor e_1 para las piezas del proveedor A.

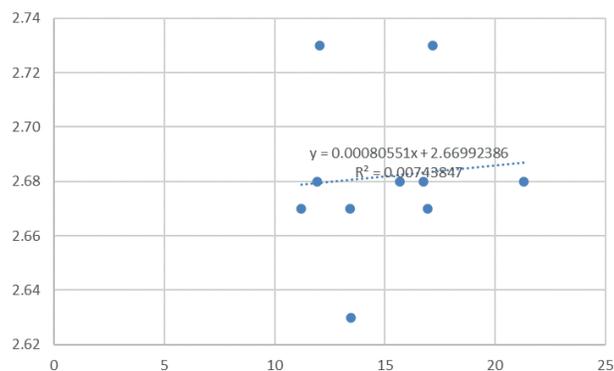


TABLA 15

Coefficientes de correlación entre $\bar{\tau}_m$ y el espesor e_1 para cada uno de los lotes.

Proveedor	Coefficiente de correlación
A	0.086246567
B	-0.357871213
C	0.615692945
D	-0.508313376
E	-0.137768018
F	0.163996561
G	0.14797263
H	0.297618386
I	0.018028604

Proveedor	Coefficiente de correlación
J	0.415064743
K	0.035552291
L	-0.158287954
M	-0.381341211

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 16 se reúnen, para el proveedor A, los valores del esfuerzo cortante $\bar{\tau}_m$ observado, para cada una de las unidades de mampostería, en los ensayos del BHC y el espesor e_2 ; en la Figura 10 se presenta la correlación entre ambos datos. En la Tabla 17 se aparecen los coeficientes de correlación estimados para todos los proveedores.

Tabla 16. Datos para realizar la correlación entre $\bar{\tau}_m$ y el espesor e_2 para las piezas del proveedor A.

$\bar{\tau}_m$ (kg/cm ²) X	Espesor e_2 (cm) Y
16.96	2.70
17.17	2.73
21.29	2.78
13.43	2.63
11.92	2.70
16.74	2.75
15.68	2.63
13.47	2.70
12.05	2.73
11.21	2.68

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 10

Correlación entre $\bar{\tau}_m$ y el espesor e_2 para las piezas del proveedor A.

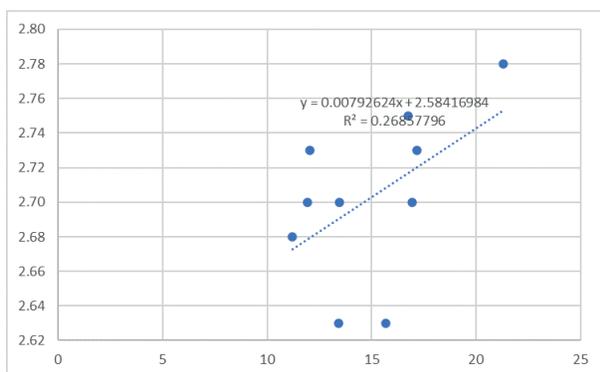


TABLA 17

Coefficientes de correlación entre $\bar{\tau}_m$ y el espesor e_2 para cada uno de los lotes.

Proveedor	Coefficiente de correlación
A	0.518245079
B	0.49201691
C	-0.040526082
D	0.032275222
E	-0.1042612
F	0.657351853
G	0.245466186
H	0.245072915
I	0.317874808
J	-0.30514371
K	-0.110085175
L	0.36953749
M	0.131436052

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA

Las dimensiones promedio (Tabla 1) de las piezas ensayadas de cada uno de los lotes no presentaron desviaciones significativas en la anchura respecto de las dimensiones de $12 \times 19 \times 39$ cm³ que indica la NMX-C-404-ONNCCE-2012. Sin embargo, hay que destacar que la altura (columna 6) y la longitud (columna 2) de los BHC sí presentaron desviaciones relevantes (columnas 3, 5 y 7) respecto de esta norma. Las dimensiones señaladas varían de un proveedor a otro, y en algunos casos su valor supera hasta en más de 1.0 cm tanto la longitud como la altura estándar de fabricación que se requiere.

Asimismo, la NMX-C-404-ONNCCE-2012 señala que para piezas con estas dimensiones el espesor mínimo de las paredes del BHC debe ser de 20 mm, característica que cumplen todas las piezas evaluadas.

Se observa que la dispersión respecto de la media es pequeña en cada lote (columnas 3 y 5 de la Tabla 3). Debe tenerse presente que la NMX-C-038-ONNCCE-2012 indica que, en el caso de paredes de bloques expuestas a la intemperie sin recubrimiento, el espesor mínimo debe ser de

30 mm en un 90 % del área de dicha cara, por lo tanto, en el caso de que los bloques ensayados se utilizaran para construir paredes sin aplanado, solo los proveedores D, H, J y L cumplirían con dicha norma (columnas 2 y 4).

Los resultados alcanzados indican que los bloques ensayados presentan variaciones notables en cuanto a la geometría –longitud y altura– que señala la normativa vigente, y que no existe uniformidad entre las dimensiones de las piezas de los distintos fabricantes ya que en el proceso de fabricación se usan moldes cuyas dimensiones no coinciden con las que establece la NMX-C-404-ONNCCE-2012.

ABSORCIÓN DE AGUA

De acuerdo con la NMX-C-404-ONNCCE-2012 la absorción máxima para bloques de concreto debe ser de 12 %. Los resultados de esta prueba muestran que la mayoría de los proveedores –10 de los 13 lotes– cumplen con lo que indica la norma (columna 6 de la Tabla 4), aunque sus dispersiones respecto de la media indican que los datos se extienden sobre un intervalo de valores más amplio (columna 7).

En el caso de los lotes D, E y M los bloques absorben cantidades de agua que son, respectivamente, 2.83 %, 7.35 % y 0.24% mayores que el 12% que se recomienda; esto indica que las piezas tienen una porosidad mayor a la señalada, con $\sigma_{\text{absorción}}$ de 7.43, 1.35 y 1.85, respectivamente.

En el caso del lote F para los cuales el valor medio de absorción es ligeramente menor que el 12 %, su $\sigma_{\text{absorción}}$ de 10.22, sugiere que algunas de las piezas tienen una porosidad un poco superior a lo recomendado.

RESISTENCIA A CORTANTE DE PIEZAS INDIVIDUALES

Los bloques se ensayaron a compresión axial, una posición diferente a aquella en la que se realizan normalmente los ensayos de mampostería, aunque en este caso no hay una normativa que indique cómo realizarlos, se acudió a las normas NMX-C-404-ONNCCE-2012 y NMX-C-036-ONNCCE-2013 para ajustar el protocolo de ensayo a

las condiciones de carga de las piezas. Mediante este ensayo se obtuvo la resistencia a compresión axial y a través de esta la resistencia a cortante (ver la Tabla 5).

En la literatura especializada sobre ensayos para evaluar la resistencia a cortante de piezas de mampostería sólo se encontró la referencia de Hulse y Ambrose (1982), en la cual se relacionan la resistencia a compresión y la resistencia a cortante de unidades de ladrillo de barro perforado. Dada la limitada información disponible, la expresión desarrollada por ellos, se aplicó a los datos reportados en la columna 4 de la Tabla 5, y se concentran en la Tabla 9.

En esta tabla, al comparar los resultados dados por las ecuaciones (2) (columna 3) y (5) (columna 4) se observa que los resultados más desfavorables, para la resistencia a cortante, son los que se obtienen a partir de la expresión para cortante máximo (Ec. 2).

El valor medio de los datos de la columna 3 (12.04 kg/cm²) es menor que el que resulta de la columna 4 (15.57 kg/cm²); además, la desviación estándar y el coeficiente de variación para los datos de la columna 3 (6.40 y 0.53), son mayores que los correspondientes a la columna 4 (0.42 y 0.03).

Se observa que mediante la ecuación (2) se obtiene una estimación conservadora de la resistencia a cortante de las piezas ensayadas, y en principio puede utilizarse esta expresión para proponer valores mínimos de la resistencia a cortante del BHC estudiado.

CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A CORTANTE Y LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOMÉTRICAS DEL BHC

El coeficiente de correlación es una medida numérica que permite medir el grado de asociación lineal entre dos variables cuantitativas; este coeficiente puede adoptar valores desde “-1” a “1”, pasando por el “0”. Un coeficiente de correlación muy cercano a uno en valor absoluto indica que la relación entre las variables es muy fuerte, mientras que, si es muy cercano a cero, indica que la relación es muy débil. Cabe destacar que únicamente se tomó en cuenta la relación lineal,

puesto que no se observó que se presentara otro tipo de relación entre las variables consideradas.

La magnitud de este coeficiente se puede interpretar de acuerdo con la clasificación de la Tabla 18:

TABLA 18

Interpretación del coeficiente de correlación.

Rango de valores de $ r_{XY} $	Interpretación
$0.00 \leq r_{XY} \leq 0.10$	Correlación nula
$0.10 \leq r_{XY} \leq 0.30$	Correlación débil
$0.30 \leq r_{XY} \leq 0.50$	Correlación moderada
$0.50 \leq r_{XY} \leq 1.00$	Correlación fuerte

Fuente: Hernández Lalinde (2018).

Al considerar la clasificación de la Tabla 18, se pueden interpretar las correlaciones entre \bar{v}_m y el porcentaje de absorción de agua del BHC tal como aparecen en la Tabla 19.

TABLA 19

Correlaciones entre \bar{v}_m y el porcentaje de absorción de agua del BHC.

Proveedores	Interpretación
	Correlación nula
B, E, F, M	Correlación débil
A, C, D, G, H	Correlación moderada
I, J, K, L	Correlación fuerte

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con clasificación que aparece en la Tabla 18 se establecen, en la Tabla 20, las correlaciones entre \bar{v}_m y el área neta del BHC.

TABLA 20

Correlaciones entre \bar{v}_m y el área neta del BHC.

Proveedores	Interpretación
A, F, J, M	Correlación nula
C, E	Correlación débil
B, D, G, I, L	Correlación moderada
H, K	Correlación fuerte

Fuente: Elaboración propia.

Al consultar la clasificación de la Tabla 18 se puede organizar la correlación entre \bar{v}_m y el espesor e_1 tal como se muestra en la Tabla 21.

TABLA 21

Correlaciones entre \bar{v}_m y el espesor e_1 del BHC.

Proveedores	Interpretación
A, I, K	Correlación nula
E, F, G, H, L	Correlación débil
B, J, M	Correlación moderada
C, D	Correlación fuerte

Fuente: Elaboración propia.

Con arreglo a la clasificación de la Tabla 18, en la Tabla 22 se presenta la interpretación de la correlación entre \bar{v}_m y el espesor e_2 .

TABLA 22

Correlaciones entre \bar{v}_m y el espesor e_2 del BHC.

Proveedores	Interpretación
C, D	Correlación nula
E, G, H, K, M	Correlación débil
B, I, J, L	Correlación moderada
A, F	Correlación fuerte

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados anteriores se observa que existen correlaciones en los intervalos de débil a fuerte entre el esfuerzo cortante \bar{v}_m y el porcentaje de absorción de agua del BHC, 4 proveedores tienen una correlación débil (30.77 %), 5 tienen una correlación moderada (38.46 %) y 4 tienen una correlación fuerte (30.77 %).

Dado que no se registró una correlación nula, se observa en primer término, que la porosidad del BHC ensayado influye moderadamente en la resistencia a cortante de la pieza. Se deduce que las unidades estudiadas en su mayoría son muy porosas y que esta deficiencia en la compacidad predomina en su resistencia a cortante.

La correlación entre el esfuerzo cortante \bar{v}_m y el área neta se presenta en los intervalos de nula a fuerte, 4 lotes mostraron una correlación nula (30.77 %), 2 lotes indicaron una correlación

débil (15.38 %), 5 lotes presentaron una correlación moderada (38.46 %) y 2 lotes registraron una correlación fuerte (15.38 %).

Aunque tiene el mismo porcentaje de correlación moderada que la absorción de agua, la proporción de correlación nula es mayor que en el caso anterior, por lo tanto, se puede aceptar que la resistencia al esfuerzo cortante depende en menor medida del área resistente que de la porosidad de la pieza.

Por lo que se refiere a los espesores e_1 y e_2 , la correlación entre estas características geométricas y el esfuerzo cortante \bar{v}_m registraron, en el primer caso, correlaciones en los intervalos de nula a fuerte, 3 proveedores presentaron una correlación nula (23.08 %), 5 proveedores presentaron una correlación débil (38.46 %), 3 proveedores presentaron una correlación moderada (23.08 %) y 2 proveedores presentaron una correlación fuerte (15.38 %).

En el segundo caso también se presentaron correlaciones en los intervalos de nula a fuer-

te, dos lotes tienen una relación nula (15.38 %), cinco lotes tienen una correlación débil (38.46 %), cuatro lotes tienen una correlación moderada (30.77 %) y dos lotes tienen una correlación fuerte (15.38 %).

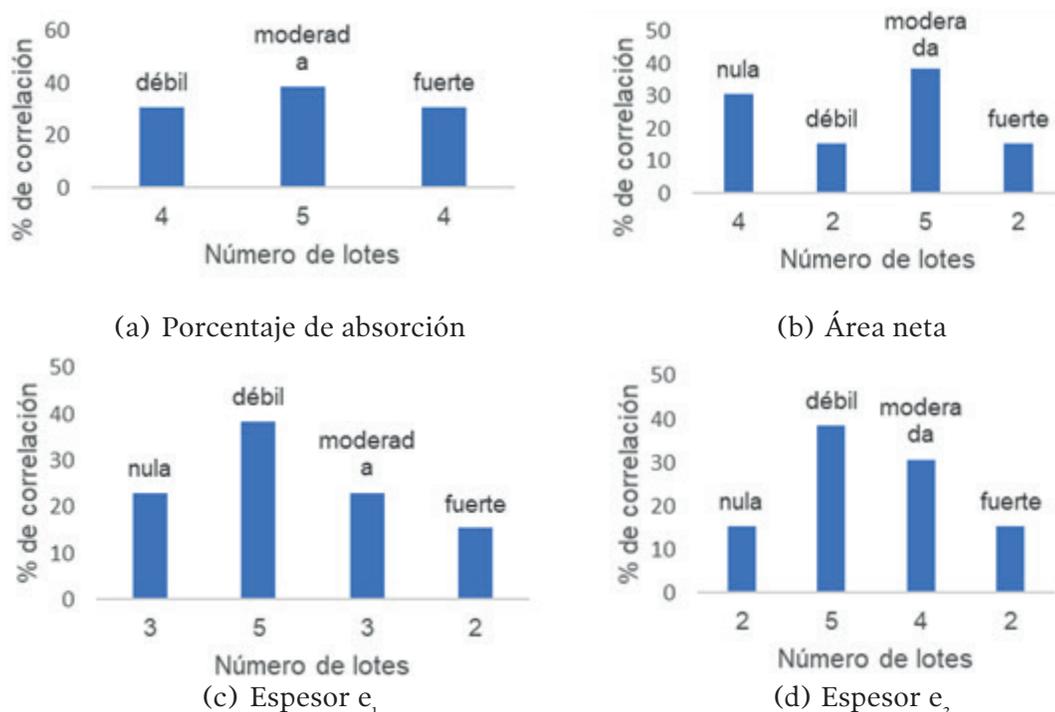
Estos resultados apuntan a que el espesor de los bloques tiende a ser una variable menos relevante que el área resistente y la porosidad, al tener en su mayoría correlaciones en los intervalos de nula a débil (61.54 % en el caso de e_1 y 53.84 % en el caso de e_2).

En la Figura 11 se concentran los resultados discutidos, para la correlación entre la resistencia a cortante, y las características físicas y geométricas del BHC.

Es importante hacer notar que lo reportado en este estudio representa un primer esfuerzo para correlacionar la resistencia a cortante de las piezas, calculada de forma indirecta, con algunos parámetros físicos y geométricos relevantes en la etapa de diseño estructural.

FIGURA 11

Correlación entre la resistencia a cortante y las características físicas y geométricas del BHC.



CONCLUSIONES

El uso de métodos estadísticos aplicados a la caracterización geométrica y mecánica del BHC, permite correlacionar los distintos parámetros estudiados de forma que se alcance una percepción más amplia de la calidad del material ensayado. En este trabajo se ha utilizado la estadística descriptiva, para estudiar las características físicas, geométricas y mecánicas del BHC.

A tal efecto, se ha realizado el análisis estadístico de 130 piezas de BHC fabricados en la región de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. El estudio incluye la caracterización geométrica, la estimación del porcentaje de absorción de agua, la evaluación indirecta de la resistencia a cortante y la correlación entre este parámetro y las características físicas y geométricas de las piezas ensayadas.

Los resultados muestran una gran variabilidad de los parámetros evaluados entre los lotes procedentes de distintos fabricantes e incluso entre las piezas de un mismo lote. En otros trabajos (Rivera Sánchez y González Moreno, 2006; Navas Carro y Salazar Méndez, 2014; Robalino et al, 2015) también se ha encontrado que el BHC presenta variaciones notables en los parámetros registrados en los ensayos y que no satisface los requisitos de la normativa de referencia.

Las piezas estudiadas no mostraron una uniformidad geométrica aceptable en la altura y la longitud del bloque, que superaron hasta en más de 1.0 cm las dimensiones de fabricación que señala la NMX-C-404-ONNCCE-2012; se registraron dispersiones variables (columnas 3, 5 y 7 de la Tabla 1), aunque pequeñas, entre los lotes estudiados.

En general, cada fabricante suministró piezas con ligeras variaciones en sus dimensiones geométricas lo cual indica cierta heterogeneidad en los moldes de fabricación utilizados. No obstante, debe señalarse que el espesor de las paredes de los bloques si superó en todos los lotes, el mínimo especificado en la normativa y que su dispersión respecto de la media fue ligeramente mayor que en el caso de las dimensiones geométricas de las unidades (columnas 3 y 5 de la Tabla 3).

La absorción volumétrica de agua también mostró variabilidad entre los lotes ensayados, aunque en 10 de los 13 lotes se registraron valores por debajo del 12% exigible, los 3 lotes restantes mostraron cantidades de absorción de agua entre 0.24 % y 7.35 % mayores que la absorción máxima que indica la NMX-C-404-ONNCCE-2012. No obstante, las desviaciones respecto del promedio (columna 7 de la Tabla 4) sugieren una porosidad que debe mejorarse dado que esta característica influye en la resistencia, absorción y permeabilidad de la mampostería.

Se propone el uso de la fórmula para el cálculo del esfuerzo cortante (Ec. 2), respecto de la fórmula propuesta por Hulse y Ambrose, para estimar de forma conservadora valores mínimos de la resistencia a cortante de las piezas ensayadas.

A partir de la relación (2) se obtuvo una resistencia media de 12.04 kg/cm², con una desviación estándar de 6.40 kg/cm² y un coeficiente de variación de 0.53, se observa que estos dos últimos valores son altos lo cual indica de nuevo la gran dispersión entre los resultados registrados en los ensayos.

El estudio de correlación entre la resistencia al esfuerzo cortante y las características físicas y geométricas del BHC, mostró que la característica que más influye en la resistencia al esfuerzo cortante es el porcentaje de absorción de agua, seguida del área neta.

En el primer caso las correlaciones estuvieron dentro de los intervalos de débil a fuerte con una proporción mayor en el intervalo de correlación moderada (Tabla 17).

En el segundo caso las correlaciones se presentaron en los intervalos de nula a fuerte con mayor proporción en el intervalo de correlación moderada, pero con una participación importante en el intervalo de correlación nula (Tabla 18).

Por lo tanto, se concluye que la porosidad influye de forma significativa en la resistencia al esfuerzo cortante del material evaluado.

La aplicación de un parámetro estadístico simple, como el coeficiente de correlación, permite establecer una ponderación en la influencia de

la geometría y la porosidad de la pieza, sobre su resistencia a esfuerzo cortante.

Esto constituye una ayuda para determinar qué características deben de atenderse, para alcanzar una mejor calidad del BHC, con un grado de incertidumbre menor que aquella que se basa en el cálculo de la dispersión de la media estimada.

Los resultados mostrados señalan el problema de calidad del material estudiado, y la necesidad de establecer un marco normativo de obligado cumplimiento, para unificar criterios respecto al control de calidad del BHC, fabricado en la región de Tuxtla Gutiérrez.

Al mismo tiempo, es necesario continuar realizando este tipo de trabajos, dado que una parte importante de la vivienda urbana (y cada vez con más frecuencia en la zona rural) en el entorno local se realiza mediante la autoconstrucción con piezas de mampostería, en las cuales la técnica de fabricación es de carácter artesanal.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los alumnos involucrados en el desarrollo de las pruebas experimentales: Sandra Leonor Pérez Fonseca y Jorge Luis Rodríguez Estrada. Asimismo, a los técnicos académicos del laboratorio de materiales de la facultad de ingeniería de la UNACH, por su colaboración en cada una de las pruebas realizadas. A los directivos de la facultad de ingeniería de la UNACH, por las facilidades para el desarrollo de las pruebas. Finalmente, se agradecen ampliamente los comentarios de los revisores anónimos, los cuales contribuyeron a mejorar la calidad de este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afanador García, N., Guerrero Gómez, G. & Monroy Sepúlveda, R. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e ingeniería neogranadina*. 22 (1), 43-58. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/248/58>

Afqahi Aryana, S. (2006). Statistical analysis of compressive strength of clay brick masonry prisms (Master of science in civil engineering). The University of Texas at Arlington. <https://rc.library.uta.edu/uta-ir/bitstream/handle/10106/496/umi-uta-1264.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Alcocer, S. M. (1997). Comportamiento sísmico de estructuras de mampostería: una revisión. *Memorias del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, 164-191. Veracruz, Ver., México. https://reconstruir.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/4_comportamiento_sismico_de_estructuras_de_mamposteria_una_revision.pdf

Argüello Méndez, T., Argüelles León, B. & Badillo González, R. M. (2012). Características físicas de la vivienda popular en la periferia urbana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Quehacer Científico en Chiapas*. (4), 4-13. https://dgp.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2012-jul-dic/caracteristicas_fisicas_vivienda_popular.pdf

American Society for Testing Materials (2016). ASTM C 90-16a. Standard Specification for Loadbearing Concrete Masonry Units. West Conshohocken, PA: ASTM International.

Augenti, N. & Parisi, F. (24-28 September 2012). MADA: online experimental database for mechanical modelling of existing masonry assemblages. 15th World Conference on Earthquake Engineering 2012, 1-6. Lisbon, Portugal. https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_2897.pdf

Baratta A., Voiello G. & Zuccaro G. (1994). Statistical Analysis of the Mechanical Properties of Masonry Walls by Computational Models. In: Breyse D. (eds) *Probabilities and Materials*. NATO ASI Series (Series E: Applied Sciences), 269. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1142-3_42.

Fernández Baqueiro, L., Marín Gómez, F., Varela Rivera, J. & Vargas Marín, G. (2009). Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto. *Ingeniería*. 13- 2, 41-50. https://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen13/determinacion_resistencia_compresion.pdf

- Gere, J. M & Goodno, B. J (2009). *Mecánica de Materiales* (séptima edición). CENGAGE Learning.
- Godínez Domínguez E.A., A. Tena Colunga, A., Pérez Rocha, L.E., Archundia Aranda, H.I., Gómez Bernal, A., Ruíz Torres, R.P., & Escamilla Cruz, J. (2021). The September 7, 2017 Tehuantepec, Mexico, earthquake: Damage assessment in masonry structures for housing. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 56, 102-123. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102123>.
- Hernández Lalinde, J. D. (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Revista AVFT*. 37 (5), 587-595. https://www.revistaavft.com/images/revistas/2018/avft_5_2018/25sobre_uso_adecuado_coeficiente.pdf
- Hulse R. & Ambrose J. R. (16-19 May 1982). The Shear Strength of Bricks and Brickwork (Sesión de conferencia). 6th International Brick and Block Masonry Conference, 16-32. Rome, Italy. <http://www.hms.civil.uminho.pt/ibmac/1982/16.pdf>
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (2007). INTE 06-03-01. INTECO. Costa Rica.
- Morales Padilla, M. A. (2008). Evaluación de la resistencia a la compresión de blocks fabricados en la región de Perote, Ver. de acuerdo a la norma NMX-C-ONNCCE 2004 (Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería Civil). Universidad Veracruzana.
- Navas Carro, A. & Salazar Méndez, J. C. (2014). Propiedades Geométricas de los bloques y la mampostería de concreto. *Ingeniería*. 24 (2), 129-144. https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/13929/pdf_27
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. (2004). Gaceta Oficial del Distrito Federal. México. <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/745.pdf>
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. (2017). Gaceta Oficial del Distrito Federal. México. <https://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-diseno-construccion-estructuras-mamposteria-2017.pdf>
- <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/745.pdf>
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. (2020). Gaceta Oficial del Distrito Federal. México. <https://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-diseno-construccion-estructuras-mamposteria-19-octubre-2020.pdf>
- Organismo Nacional para la Normalización y Certificación para la Construcción y Edificación. NMX-C-036-ONNCCE-2013. ONNCCE. (2013). México.
- Organismo Nacional para la Normalización y Certificación para la Construcción y Edificación. NMX-C-038-ONNCCE-2012. ONNCCE. (2012). México.
- Organismo Nacional para la Normalización y Certificación para la Construcción y Edificación. NMX-C-404-ONNCCE-2012. ONNCCE. (2012). México.
- Pérez Fonseca, S., Rodríguez Estrada, J. (2020). Análisis estadístico de las propiedades geométricas y mecánicas del bloque hueco de concreto utilizado en la región de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería). Universidad Autónoma de Chiapas.
- Rivera Sánchez, J. L. & González Moreno, J. J. (2006). Caracterización de la mampostería estructural elaborada con bloques de concreto en la ciudad de Santa Marta (Memoria de Grado). Universidad del Magdalena. <https://core.ac.uk/reader/198274810>
- Robalino, C., Peñaherrera, L., Tito, D. & López, M. (2015). Estudio de las propiedades mecánicas de mampostería de bloques de hormigón en edificaciones del Valle de los Chillos que iniciaron su construcción durante el año 2014. *Revista CIENCIA*. 17(1) 147-157. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/ciencia/article/view/517/425>
- Ruiz-Sibaja, J., Vidal, F. & Zebadúa, A. (2019). Propiedades geométricas y mecánicas del bloque hueco de concreto fabricado en el área de Tuxtla Gutiérrez (Chiapas, Mex.). *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*. VIII (21), 8-31. <https://espacioimasd.unach.mx/index.php/Inicio/article/view/191>

- Sociedad de Ingenieros Estructuralistas Dominicanos (SINEDOM) (2014). Diagnóstico de la mampostería dominicana. SINEDOM. Santiago, República Dominicana. https://www.academia.edu/11090676/Diagn%C3%B3stico_de_la_Mamposter%C3%ADa_Dominicana_v_elect_Venosa
- Gutiérrez, J. A. & Sánchez Alejandro, A. (2016). Preparación para el ensayo de un muro de mampostería construido a escala natural con materiales y aspectos constructivos típicos de colima. Tlamati Sabiduría. 7 (Número Especial 2), 333-341. <http://tlamati.uagro.mx/t7e2/599.pdf>
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L. & Ye, K. (2012). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Pearson.
- Yang, K. H., Lee, Y. & Hwang, Y. H. (2019). A Stress-Strain Model for Brick Prism under Uniaxial Compression. *Advances in Civil Engineering*. 2019, 1-10. <https://downloads.hindawi.com/journals/ace/2019/7682575.pdf>