

Evaluación de las propiedades físicas, geométricas y mecánicas del bloque hueco de concreto utilizado estructuralmente en la construcción de vivienda de interés social en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

Evaluation of the physical, geometric and mechanical properties of the hollow concrete block for structural use in the construction of social interest housing in Tuxtla Gutierrez, Chiapas, Mexico

DOI: <https://10.32870/rvcs.v0i19.329>

ALEJANDRO RUIZ SIBAJA

Universidad Autónoma de Chiapas, México. ORCID: 0000-0002-7698-0522

Correo electrónico: asibaja@unach.mx

EBER GODÍNEZ DOMÍNGUEZ

Universidad Autónoma de Chiapas, México. ORCID: 0000-0003-2925-4592

Correo electrónico: eber.godinez@unach.mx

MARCO ANTONIO SOLÍS

Universidad Autónoma de Chiapas, México. ORCID: 0009-0009-3504-6707

Correo electrónico: marco.solis@unach.mx

Recepción: 12 junio de 2025 Aceptación: 19 de noviembre de 2025

RESUMEN

Se presentan los resultados de ensayos controlados para la caracterización física, geométrica y mecánica de bloques huecos de concreto (BHC) utilizados en edificaciones de mampostería en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Se incluyen también los resultados de pruebas de resistencia a compresión del mortero de pega. Los ensayos se realizaron en 2022 y sus resultados se revisaron contra las disposiciones de las normas vigentes de México. Debe notarse que, en Tuxtla Gutiérrez, como en la mayoría de los municipios de Chiapas, existen vacíos en lo referente a criterios normativos para el diseño de estructuras de mampostería. Se encontró que algunas de las dimensiones geométricas no cumplen con las normas de referencia. La resistencia de diseño a compresión

ABSTRACT

The results of controlled tests for the physical, geometric and mechanical characterization of hollow concrete blocks used in masonry buildings in Tuxtla Gutiérrez are presented in this paper. The compressive strength test results for the mortar, manufactured according to local construction practices, are also included. The tests were conducted in 2022, and their results were reviewed against the values specified in current Mexican codes. It is worth noting that, as in most municipalities in Chiapas, regulatory criteria gaps exist for the design of masonry structures in Tuxtla Gutiérrez. It was found that some of the geometric dimensions do not comply with the criteria specified in the reference standards. The design compressive strength of the mortar



del mortero cumple con los requisitos para considerarse tipo I. En la mayoría de las piezas ensayadas la absorción total de agua de los bloques es menor que el máximo permitido y su peso volumétrico supera el mínimo exigido en todos los casos. Las resistencias de diseño a compresión de piezas individuales y de pilas de bloques construidas con mortero tipo I son muy inferiores a las recomendadas en la normativa vigente. Se encontró que la mayoría de las piezas tampoco cumplen con la resistencia media a compresión necesaria para uso no estructural. Se emplea un criterio aleatorio para la selección de los diferentes proveedores de las piezas de BHC. Además, no fue posible obtener las dosificaciones reales de los BHC, ni las características físicas de agregados y cementos empleados, lo cual impide correlacionar directamente la calidad del insumo con la respuesta mecánica de la mampostería. A partir de estos resultados se advierte que es indispensable regular y controlar el proceso de fabricación de los bloques huecos de concreto que se utilizan en Tuxtla Gutiérrez.

Palabras clave: bloque hueco de concreto, caracterización mecánica, resistencia a compresión, mampostería, Chiapas.

INTRODUCCIÓN

En Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, el 47% de los muros que se construyen en la vivienda popular son de bloque hueco de concreto (BHC) (Argüello-Méndez, 2022). Éste es un indicador de la importancia creciente que tiene este material en la localidad, que ha ido desplazando al uso del ladrillo de barro cocido en la fabricación de muros de mampostería. Entre otras razones, esta preferencia se debe a que el BHC, debido a su mayor tamaño y regularidad geométrica, reduce el tiempo de ejecución, requiere menos mano de obra, y facilita la alineación de viviendas construidas en serie, lo cual beneficia tanto al cliente como al constructor. Adicionalmente, sus celdas permiten la colocación de acero de refuerzo vertical y de instalaciones eléctricas y sanitarias sin que haya que perforar el muro. Además de esto,

specimens complies with the requirements to be classified as type 1. In most of the units tested, the total water absorption is lower than the maximum allowed and the volumetric weight exceeds the minimum required in all cases. The design compressive strengths of units and hollow concrete block masonry prisms made with type I mortar are much lower than those recommended by current codes. In addition, it was found that most of the pieces also do not meet the average compressive strength required for non-structural use. A random criterion is used to select the different suppliers of BHC units. Furthermore, it was not possible to obtain the actual dosages of BHCs or the physical characteristics of the aggregates and cements used. This makes it impossible to directly correlate the quality of the input with the mechanical response of the masonry. Based on the results obtained, it is essential to regulate and control the manufacturing process of the hollow concrete blocks used in Tuxtla Gutiérrez.

Keywords: hollow concrete block, mechanical testing, compressive strength, masonry, Chiapas.

el BHC sólo necesita un mantenimiento mínimo, dado que es resistente al intemperismo, lo cual significa que no precisa de reparaciones frecuentes, hecho que reduce los costos a largo plazo.

Se ha identificado que la mayoría del BHC que se fabrica en Tuxtla Gutiérrez es artesanal, y que existen al menos cinco fabricantes principales (González-García *et al.*, 2019) que abastecen a las distintas casas de materiales de la citada ciudad. El uso creciente de este material en la construcción de vivienda popular en Tuxtla Gutiérrez, hace necesario que para atender esta demanda se tengan que producir grandes cantidades de BHC, sin que se haya cuidado el cumplimiento de requisitos mínimos de calidad en su fabricación. Un aspecto relevante asociado a lo anterior radica en que el BHC se emplea tanto para la construcción de vivienda unifamiliar como multifamiliar, en edificios de tres o cuatro niveles. Estas cons-

trucciones también pueden llegar a usarse como oficinas o consultorios.

Aunado a lo anterior, Chiapas se encuentra en una zona de México de alta actividad sísmica, en consecuencia, ante la acción de terremotos de mediana y gran magnitud se han presentado daños de gran importancia en las edificaciones de mampostería, principalmente en aquellas edificadas mediante procesos de autoconstrucción, y con materiales de calidad deficiente. González-Herrera *et al.* (2017) señalan que la mayoría de las edificaciones afectadas en el sismo de Villaflores (1995, $M_w=7.2$) fueron de adobe y mampostería sin refuerzo, con piezas de poca resistencia, de las que alrededor de 4,800 son viviendas que sufrieron daños parciales y totales. Años después, en 2017, ocurrió en la costa de Chiapas un sismo de mayor magnitud ($M_w=8.2$). Godínez-Domínguez *et al.* (2019, 2021) indican que 46,773 viviendas de Chiapas, la mayoría de ellas de mampostería, sufrieron daños, de las cuales 14,073 (30%) se consideraron pérdida total. Observaron que gran parte de los daños se deben “en su mayoría, a una mala concepción, inadecuado proceso constructivo, mala calidad de los materiales de construcción, carencia de supervisión especializada o técnicas constructivas tradicionales inadecuadas”.

Estos dos grandes eventos sísmicos ponen de manifiesto que uno de los aspectos que influyeron en el comportamiento estructural deficiente de las estructuras de mampostería de Chiapas, es el uso de materiales que no cumplen con los requisitos de calidad que indican las normativas vigentes en México. Por lo tanto, resulta de interés evaluar las características físicas, geométricas y mecánicas de este material, con el propósito de conocer sus valores representativos y, con base en ello, proponer mejoras en sus procedimientos de fabricación, de forma que cumplan con los requisitos de calidad que señalan las normas de referencia vigentes.

El estudio de las propiedades del BHC utilizado en Tuxtla Gutiérrez ha sido de interés en años recientes. Ruiz-Sibaja *et al.* (2019) presentaron los resultados de pruebas controladas para la caracterización geométrica (dimensiones), propiedades mecánicas (resistencia a compresión en piezas y

pilas), absorción de agua y peso volumétrico del BHC de ocho proveedoras diferentes y del mortero de pega que se utiliza en la región metropolitana de Tuxtla Gutiérrez. Los ensayos se realizaron conforme a las recomendaciones y especificaciones descritas en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTC-DCM-2017), y las Normas Mexicanas, NMX, emitidas por la Organización Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción (ONNCCE).

Con base en los resultados obtenidos, los autores concluyeron que para el mortero se cumplía con las especificaciones de la normativa consultada; en cuanto a la geometría, los bloques presentaron variaciones considerables en altura, por lo que existía irregularidad entre las dimensiones geométricas de las piezas, obtenidas de los distintos proveedores; por lo que se refiere a la absorción de agua, solamente la mitad de los BHC cumplieron con lo indicado en la normativa; para el peso volumétrico, los valores medios obtenidos quedaron por debajo del valor mínimo especificado en las NTC-DCM-2017.

Las pruebas de resistencia a compresión de las piezas individuales indicaron que no se cumplía con la resistencia mínima señalada por las normas de referencia; y en cuanto a las pilas, los resultados mostraron que su resistencia estuvo por debajo de la mínima especificada para pilas fabricadas con mortero tipo I, de acuerdo con las NTC-DCM-2017. A partir de sus resultados, subrayan “la necesidad de una regulación y control local del proceso de fabricación del bloque de concreto para mejorar la calidad del mismo y asegurar la resistencia de los muros que se fabriquen con este material”.

Por su parte, Ruiz-Sibaja y Godínez-Domínguez (2022) presentaron un análisis estadístico realizado a los resultados de ensayos controlados de 130 piezas de BHC de 13 proveedores distintos de Tuxtla Gutiérrez. Los estudios incluyen las medidas de tendencia central de la geometría, resistencia a cortante, absorción de agua y la correlación entre el esfuerzo cortante, las características físicas y geométricas de las piezas. Los ensayos de referencia se llevaron a cabo conforme a las

recomendaciones y especificaciones descritas en las NTC-DCEM-2017, y las NMX publicadas por el ONNCCE. Concluyeron que los bloques presentan una variabilidad geométrica considerable en la altura y longitud; que superaron hasta en más de 1 cm las dimensiones que señala la NMX-C-404-ONNCCE-2012, registrando dispersiones variables, aunque pequeñas entre los lotes. También señalan que la absorción volumétrica de agua presentó variabilidad entre los lotes ensayados; y que en 10 de los 13 lotes se registraron valores por debajo del 12% establecido como límite máximo en la NMX-C-404-ONNCCE-2012; los tres lotes restantes mostraron cantidades de absorción de agua entre 0.24 y 7.35% por encima del límite máximo referido. 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. Advierten sobre la necesidad de seguir realizando ensayos controlados a la mampostería local, dado que una parte importante de la vivienda urbana se realiza mediante la autoconstrucción con piezas de mampostería, en las cuales la técnica de fabricación, en su gran mayoría, es de carácter artesanal.

Escamiroso-Montalvo y Molina-Narváez (2022) estudiaron la resistencia a la compresión de bloques de concreto usados en la construcción de viviendas en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Las piezas de BHC se obtuvieron de tres proveedores diferentes (cinco piezas por proveedor); las piezas de dos de los proveedores fueron de fabricación mecánica, y las del proveedor restante, de fabricación manual. El estudio se enfoca exclusivamente en la determinación de las características geométricas y la resistencia a compresión de las piezas individuales. Los ensayos se llevaron a cabo de acuerdo con las recomendaciones y especificaciones de las NTC-DCEM-2017 y las NMX emitidas por el ONNCCE. Los autores reportan que no pudieron realizar ensayos granulométricos ni el análisis de las propiedades físicas de los áridos naturales, debido a la falta de información por parte de los proveedores. Por lo tanto, no se pudo identificar la influencia de estos áridos sobre la calidad de la

resistencia a la compresión del BHC ensayado, ni se pudieron realizar ensayos para determinar la óptima dosificación del cemento, que permitiera alcanzar la resistencia a la compresión adecuada de las piezas. Aun cuando las piezas fabricadas mecánicamente mostraron mayor resistencia a la compresión que aquellas fabricadas manualmente, los autores concluyen que las piezas ensayadas no cumplen con los requisitos de calidad mínima establecidos en las NTC-DCEM-2017 y la NMX-C-404-ONNCCE-2012. Finalmente, advierten sobre la necesidad urgente de controlar la calidad técnica de la resistencia a la compresión del BHC fabricado por las empresas proveedoras de Tuxtla Gutiérrez, para reducir la vulnerabilidad de las viviendas de las familias de bajos ingresos del estado de Chiapas, ya que se localizan en una zona de alta actividad sísmica.

Por lo anteriormente descrito, con la finalidad de verificar la evolución en la calidad de la producción de las piezas de BHC (a casi siete años del estudio inicial), en el presente trabajo se presentan y discuten los resultados de una nueva campaña de caracterización, física, geométrica y mecánica del BHC utilizado en el área metropolitana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. En los ensayos controlados se utilizan un total de 180 piezas, provenientes de seis proveedores diferentes, 30 piezas por cada proveedor. Debe notarse que se emplea un criterio aleatorio para la selección de los diferentes proveedores de las piezas de BHC. Además, se estudia la calidad del mortero de pega, fabricado de acuerdo con la práctica constructiva local (dosificación 1:3, cemento-arena). El estudio incluye los siguientes ensayos: caracterización de la geometría, absorción de agua, peso volumétrico, resistencia a compresión en piezas individuales y en pilas de bloques y resistencia a compresión del mortero de pega. No fue posible obtener las dosificaciones reales de los BHC, pues es información confidencial de los productores. Tampoco se obtienen las características físicas de agregados y cementos empleados, lo cual impide correlacionar directamente la calidad del insumo con la respuesta mecánica de las piezas o pilas.

Los ensayos de laboratorio se llevaron a cabo en el segundo semestre de 2022, en el Laboratorio

de Mecánica de Suelos, Materiales y Tecnología del Concreto, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas conforme a los protocolos y valores de referencia establecidos en las normas del ONNCCE y las NTC-DCEM-23.

El objetivo principal de esta investigación radica en determinar si las piezas de BHC y las pilas, formadas por tres bloques unidos con mortero tipo I, cumplen con los requisitos de resistencia a compresión para su uso en muros estructurales, conforme a la normativa de referencia vigente.

ENSAYOS REALIZADOS

El material se prepara de acuerdo con las indicaciones de las normativas mencionadas; en consecuencia, por cada uno de los seis lotes de BHC se emplean, en cada ensayo controlado, el siguiente número de piezas (tabla 1):

Tabla 1
Número de piezas utilizadas por cada lote ensayado

Ensayo	Número de piezas
Caracterización física y geométrica	10
Resistencia a compresión simple de piezas individuales	10
Resistencia a compresión simple de pilas (tres piezas por pila)	9

En los ensayos de caracterización geométrica y física (geometría, absorción de agua y peso volumétrico) se pueden utilizar las mismas piezas; por lo tanto, se manejaron 30 piezas por cada proveedor (180 piezas por los seis proveedores); además, se prepararon probetas de mortero para evaluar su resistencia a compresión a los 3, 7, 14 y 28 días, esto es, se ensayaron 24 probetas.

El número de piezas consideradas para cada ensayo cumple con los mínimos establecidos en la normativa de referencia. Por ejemplo, para el caso de pilas, en las NTC-DCEM-23 se especifica que deben ensayarse nueve pilas; en este estudio se ensayaron 18 pilas. Asimismo, para el caso de

morteros, en la misma normativa de referencia se especifica que deben ensayarse tres especímenes a cada edad considerada; en este estudio se ensayaron seis especímenes en cada periodo de control.

De manera general, se revisaron las piezas de cada proveedor antes de realizar las pruebas en laboratorio, y se observó lo indicado, a manera de resumen, en la tabla 2.

Tabla 2
Observaciones generales sobre los BHC de cada proveedor antes de proceder a los ensayos controlados

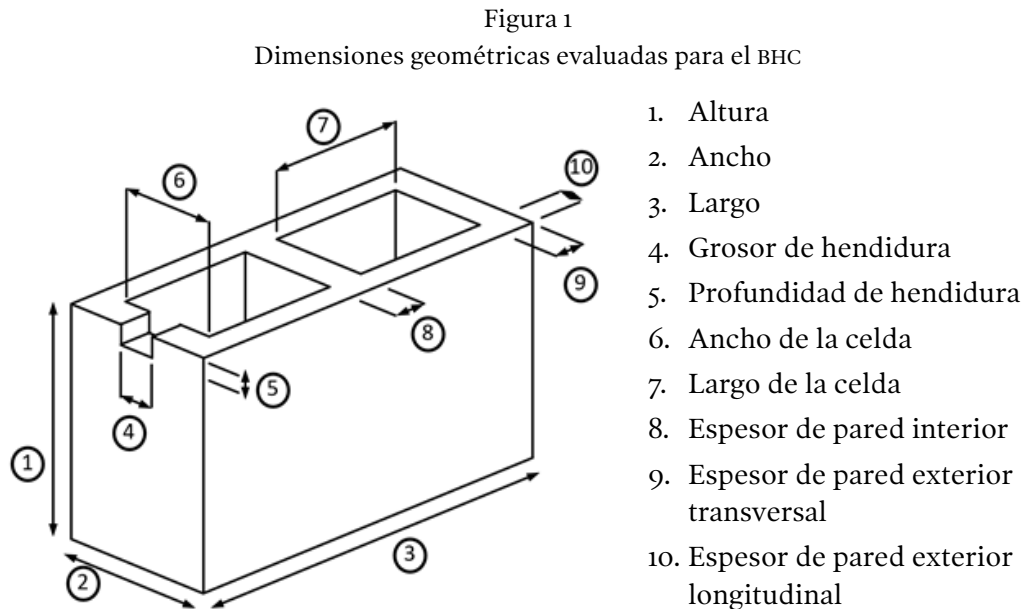
Proveedor	Observaciones
A	Superficie de porosidad baja, con muy pocas imperfecciones en aristas y bordes.
B	Superficie de porosidad media, con pocas imperfecciones en aristas y bordes.
C	Superficie de porosidad alta, con pocas imperfecciones en aristas y bordes.
D	Superficie de porosidad alta, con muchas imperfecciones en aristas y bordes, con presencia de grietas en la mayoría de las piezas y una variación de color con presencia de materia orgánica sobre las piezas.
E	Superficie de porosidad alta, con pocas imperfecciones en aristas y bordes, y cuenta con materia orgánica (corteza de árbol y hojas) en la constitución de las piezas.
F	Superficie con porosidad media, con pocas imperfecciones en aristas y bordes.

Es importante hacer notar que no fue posible obtener las dosificaciones reales de los BHC, pues los proveedores indicaron que es información confidencial. Sin embargo, de lo observado, éstas se generan de manera empírica, sin un método normado, lo cual induce mayores incertidumbres en la calidad de la producción, e influye negativamente a las propiedades mecánicas. Tampoco se determinaron las características físicas de agregados y cementos empleados, lo cual impide correlacionar directamente la calidad del insumo con la respuesta mecánica de la mampostería.

CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA DE LOS BHC

La determinación de las dimensiones de las piezas de BHC se realizó según las recomendaciones

de la norma mexicana NMX-C-038-ONNCCE-2013. Las dimensiones evaluadas se muestran esquemáticamente en la figura 1.



Fuente: Ramírez Constantino, 2022.

Las dimensiones geométricas se determinaron con la ayuda de un pie de rey, realizando tres mediciones para obtener el promedio de ellas. Por cada proveedor, de forma aleatoria, se eligieron 10 especímenes de BHC, estas piezas son las mismas que se utilizaron en las pruebas individuales a compresión simple. En las tablas 3, 4, 5 y 6 se muestran, para cada proveedor, los resultados de la caracterización geométrica. En las tablas 3 y 4 se reportan, en las columnas 2, 4 y 6, dimensiones promedio, en tanto que en las columnas 3, 5 y 7

se indican las desviaciones estándar, σ , correspondientes a cada parámetro medido. En la tabla 5 se presentan los coeficientes de variación, CV, de los parámetros estudiados. Finalmente, en la tabla 6 se presenta un resumen con las áreas netas (A_{neta}) y brutas (A_{bruta}) promedio de los BHC, con las desviaciones estándar y los coeficientes de variación correspondientes. En adelante t_{pe} se emplea para referirse al espesor de las paredes exteriores y t_{pi} para referirse al espesor de las paredes interiores.

Tabla 3
Dimensiones promedio y desviación estándar
de las dimensiones alto y ancho del BHC

Proveedor	Alto (mm)	σ_{alto} (mm)	Ancho (mm)	σ_{ancho} (mm)	Largo (mm)	σ_{largo} (mm)
A	201.30	0.67	121.1	0.52	400.2	0.42
B	200.00	0.82	121.4	0.47	401.1	0.57
C	202.00	1.76	121.0	0.47	402.4	0.52
D	206.00	2.21	120.0	0.00	398.2	0.42
E	190.70	0.67	119.6	0.52	395.9	0.57
F	200.40	0.97	121.6	0.52	401.2	0.42

Tabla 4
Dimensiones promedio y desviación estándar de los espesores de pared del BHC

Proveedor	t_{pe} (mm)	$\sigma_{t_{pe}}$ (mm)	t_{pi} (mm)	$\sigma_{t_{pi}}$ (mm)
A	31.20	1.33	31.8	0.79
B	31.20	1.53	14.4	3.27
C	28.20	0.59	24.8	1.14
D	28.00	0.77	26.0	1.63
E	29.20	0.83	29.5	0.53
F	31.80	0.97	13.8	2.30

Tabla 5
Coeficientes de variación (CV) de las dimensiones: alto, ancho y largo del BHC, pe y pi

Proveedor	CV_{alto} (%)	CV_{ancho} (%)	CV_{largo} (%)	$CV_{t_{pe}}$ (%)	$CV_{t_{pi}}$ (%)
A	0.34	0.43	0.11	4.26	2.48
B	0.41	0.39	0.14	4.91	22.73
C	0.87	0.39	0.13	2.11	4.58
D	1.07	0.00	0.11	2.74	6.28
E	0.35	0.43	0.14	2.85	1.79
F	0.48	0.42	0.11	3.06	16.66

Tabla 6
Áreas netas y brutas promedio de los BHC, sus desviaciones estándar, sus coeficientes de variación y la relación entre ellas

Proveedor	A_{neta} (cm ²)	$\sigma_{A_{neta}}$ (cm ²)	A_{bruta} (cm ²)	$\sigma_{A_{bruta}}$ (cm ²)	$CV_{A_{neta}}$ (%)	$CV_{A_{bruta}}$ (%)	A_{neta}/A_{bruta}
A	309.30	5.33	484.6	4.41	1.72	0.91	0.64
B	293.90	4.09	486.9	1.80	1.39	0.37	0.60
C	279.40	3.03	486.9	2.00	1.09	0.41	0.57
D	277.00	3.82	477.8	0.51	1.38	0.11	0.58
E	290.70	2.48	473.5	2.30	0.85	0.48	0.61
F	301.60	3.66	487.9	2.33	1.21	0.48	0.62

PESO VOLUMÉTRICO DE LAS PIEZAS

Se seleccionaron 10 piezas por cada lote, se pesaron y este peso se dividió entre el volumen del espécimen. Los pesos específicos mínimos, en estado seco, para piezas de arcilla y concreto, se

especifican en las NTC-DCEM-23, que en el caso del BHC debe ser de 1,700 kg/m³. En la tabla 7 se resumen los resultados de la estimación del peso volumétrico por cada lote evaluado.

Tabla 7
Peso volumétrico de las piezas de BHC

Proveedor	γ (kg/m ³)	σ_γ (kg/m ³)	CV_γ
A	1,860.90	59.35	3.19%
B	1,995.00	52.93	2.65%
C	2,014.10	85.35	4.24%
D	2,001.90	382.13	19.09%
E	1,837.30	29.47	1.60%
F	1,950.70	61.57	3.16%

En la tabla 7, γ es el peso volumétrico, σ_γ y CV_γ son la desviación estándar y el coeficiente de variación del peso volumétrico, respectivamente.

ABSORCIÓN DE AGUA DE PIEZAS

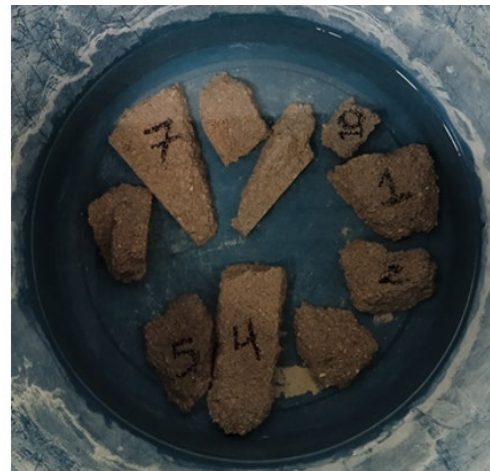
Las pruebas de absorción se realizaron conforme a lo descrito en la norma NMX-C-037-ONNC-CE-2013. Se seleccionaron 10 trozos provenientes de cada una de las 10 piezas empleadas en los ensayos a compresión simple para cada proveedor, se etiquetaron y se sumergieron en agua durante 24 horas (figura 2). Transcurrido este tiempo se sacaron, se secó la superficie de cada uno con una franela y se pesaron para obtener la masa saturada y superficialmente seca. Posteriormente, estos trozos se colocaron en una charola, se metieron en el horno y se dejaron secar a 110° C durante 24 horas. Se pesaron en estado seco para obtener la masa seca. Con estos datos se calculó el porcentaje de absorción en 24 horas utilizando la ecuación (1).

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

En la ecuación (1), A es la absorción de agua en %, M_{SSS} es la masa saturada y superficialmente seca en g, M_s es la masa seca en g. En la tabla 8 se presentan los resultados obtenidos del ensayo de absorción de agua, donde σ_A y CV_A son la desviación estándar y el coeficiente de variación, respectivamente.

Figura 2

Piezas utilizadas en el ensayo de absorción de agua



Fuente: Ramírez-Constantino, 2022.

Tabla 8
Resultados de la prueba de absorción de agua en piezas de BHC

Proveedor	A (%)	σ_A (%)	CV_A (%)
A	11.55	1.34	11.59
B	10.22	2.40	23.45
C	9.77	1.12	11.51
D	11.18	1.85	16.53
E	12.71	0.75	5.89
F	10.06	0.77	7.69

COMPRESIÓN DE PIEZAS INDIVIDUALES

Se ensayaron a compresión 10 piezas por cada proveedor (en total 60 piezas) de acuerdo con el protocolo indicado en la norma NMX-C-036-ONNCCCE-2013. Siguiendo lo indicado en esta norma, se realizó el cabeceo de los especímenes, con una pasta de yeso y cemento, de forma tal que abarque la totalidad del área transversal donde se aplica la carga en las pruebas a compresión simple, tanto en las áreas donde se encuentran los alveolos como en el área totalmente plana (figura 3).

Figura 3
Prueba de compresión simple en BHC



Fuente: Ramírez-Constantino, 2022.

La resistencia de diseño a compresión, conforme a las NTC-DCEM-23, se obtuvo mediante la ecuación (2).

$$f'_p = \frac{\bar{f}_p}{1 + 2.5c_p} \quad (2)$$

Donde f'_p es la resistencia de diseño a compresión en kg/cm², \bar{f}_p es la resistencia promedio a compresión en kg/cm² y c_p es un coeficiente de variación de la resistencia a compresión, de las unidades de mampostería, que no debe ser menor que 0.35 para piezas de producción artesanal. En la tabla 9 se concentran los resultados de los ensayos a compresión de piezas individuales.

Tabla 9
Resultados de ensayos a compresión de piezas individuales de BHC

Proveedor	\bar{f}_p (kg/cm ²)	$\sigma_{\bar{f}_p}$ (kg/cm ²)	$CV_{\bar{f}_p}$	f'_p (kg/cm ²)	$\sigma_{f'_p}$ (kg/cm ²)
A	67.50	12.89	19.09%	36.00	6.87
B	25.00	3.89	15.59%	13.33	2.07
C	25.90	7.77	29.94%	13.81	4.14
D	21.10	3.50	16.60%	11.25	1.88
E	21.80	2.99	13.73%	11.63	1.59
F	29.10	7.20	24.75%	15.52	3.85

En la tabla 9, $\sigma_{\bar{f}_p}$ y $CV_{\bar{f}_p}$ son la desviación estándar y el coeficiente de variación de \bar{f}_p , respectivamente; $\sigma_{f'_p}$ es la desviación estándar de f'_p . En el cálculo de f'_p se usó, en todos los casos, un coeficiente de variación de 35%, ya que los que se obtuvieron en el estudio estadístico (tabla 9) son inferiores que este valor mínimo establecido en la norma de referencia.

MORTERO DE PEGA

Se ensayaron cubos de mortero de pega de 5 × 5 × 5 cm (figura 4), con edades de 3, 7, 14 y 28 días (seis cubos por cada edad), conforme a lo especificado en la norma NMX-C-061-ONNCCCE-2010. Las probetas se elaboraron con una dosificación cemento-arena 1:3, utilizada en la práctica constructiva de Tuxtla Gutiérrez (dosificación correspondiente a mortero tipo I de acuerdo con las NTC-DCEM-23). Las probetas se mantuvieron en un cuarto de curado conforme a los requisitos de las NMX-C-061-

ONNCCE-2010. A cada probeta se le aplicó carga de compresión y se registró la carga para la cual ocurre la ruptura. Conforme a las NTC-DCEM-23, la resistencia de diseño a compresión se calcula mediante la ecuación (3). En la tabla 10 se muestran los resultados de estos ensayos.

$$f'_j = \frac{\bar{f}_j}{1 + 2.5c_j} \quad (3)$$

Donde f'_j es la resistencia de diseño a compresión en kg/cm^2 , \bar{f}_j es la resistencia promedio a compresión en kg/cm^2 y c_j es un coeficiente de variación de la resistencia a compresión del mortero, que no será menor que 0.20.

Figura 4
Probetas de mortero de 5 cm de lado



Fuente: Ramírez-Constantino, 2022.

Tabla 10
Resultados de ensayos a compresión
de cubos de mortero a distintas edades

Edad (días)	\bar{f}_j (kg/cm^2)	$\sigma_{\bar{f}_j}$ (kg/cm^2)	$CV_{\bar{f}_j}$	f'_j (kg/cm^2)	$\sigma_{f'_j}$ (kg/cm^2)
3	214.10	18.80	8.78 %	142.73	12.49
7	196.10	77.28	39.42 %	98.77	19.75
14	226.30	13.20	5.83 %	150.87	8.79
28	272.00	11.29	4.15 %	181.33	7.52

En la tabla 10, \bar{f}_j es la resistencia promedio a compresión, $\sigma_{\bar{f}_j}$ y $CV_{\bar{f}_j}$ son, respectivamente, la desviación estándar y el coeficiente de variación de \bar{f}_j , f'_j es la resistencia de diseño a compresión y $\sigma_{f'_j}$ su respectiva desviación estándar.

Para las probetas con edades de 3, 14 y 28 días se utilizó un coeficiente de variación de 20%, dado que el que se obtuvo en el estudio estadístico es

menor que este valor; para las probetas con edad de siete días se utilizó el coeficiente de variación de 39.42%, porque es mayor que el valor mínimo de 20%, conduciendo a valores más desfavorables y/o conservadores.

Es importante hacer notar que en este estudio únicamente se determinaron resistencias a compresión de los morteros a diferentes edades de control; sin embargo, existen propiedades adicionales que son relevantes en la evaluación integral de la mampostería, por ejemplo: la fluidez (como medida de consistencia del mortero fresco), la adherencia entre mortero-pieza, y la durabilidad.

COMPRESIÓN DE PILAS

De acuerdo con la NMX-C-464-ONNCCE-2010, se prepararon pilas con tres piezas, unidas con mortero tipo 1. Previo al ensaye a compresión, la cara

en contacto de cada una de las piezas extremas de cada pila se cabeceó para contar con una superficie adecuada para la transmisión de la carga (figura 5). Se ejerció la carga hasta la ruptura del espécimen, se registró esta carga, y se calculó el esfuerzo de compresión considerando el factor correctivo asociado a la esbeltez de la pila conforme a las NTC-DCEM-23. A partir de estos resultados, conforme se indica en las NTC-DCEM-23, se calcularon las resistencias de diseño a compresión de cada espécimen mediante la ecuación (4).

Figura 5
Prueba de compresión en pila de BHC



Fuente: Ramírez-Constantino, 2022.

$$f'_m = \frac{\bar{f}_m}{1 + 2.5c_m} \quad (4)$$

Donde f'_m es la resistencia de diseño a compresión en kg/cm², \bar{f}_m es la resistencia promedio a compresión en kg/cm² y c_m es un coeficiente de variación de la resistencia a compresión, de las pilas de mampostería, que no debe considerarse menor a 0.15. En la tabla 11 se resumen los resultados del ensayo a compresión para las pilas de BHC. En este caso, $\sigma_{\bar{f}_m}$ y $CV_{\bar{f}_m}$ son la desviación estándar y el coeficiente de variación de \bar{f}_m , respectivamente; $\sigma_{f'_m}$ es la desviación estándar de f'_m . En el cálculo de f'_m se usó, para los proveedores A y F, un coeficiente de variación de 15% dado que el que se obtuvo en el estudio estadístico es menor que

este valor, en todos los demás se usó el coeficiente de variación que resultó del estudio estadístico.

Tabla 11
Resultados de ensayos a compresión de pilas de BHC

Proveedor	\bar{f}_m (kg/cm ²)	$\sigma_{\bar{f}_m}$ (kg/cm ²)	$CV_{\bar{f}_m}$	f'_m (kg/cm ²)	$\sigma_{f'_m}$ (kg/cm ²)
A	26.70	1.17	4.38%	19.40	0.85
B	25.70	3.87	15.04%	18.70	2.81
C	16.80	3.76	22.34%	10.80	2.41
D	16.60	5.97	35.85%	8.80	3.15
E	10.10	4.46	44.08%	4.80	2.12
F	28.60	0.10	0.34%	20.80	0.07

Como se observa, debido a la carencia de algunos elementos básicos, como la falta de disponibilidad de cabezales adecuados, en esta primera etapa del estudio no se incluyen ensayos enfocados en la determinación de resistencias a compresión diagonal (cortante), aspecto fundamental en la evaluación de los sistemas de mampostería ante cargas laterales inducidas, por ejemplo, por efectos sísmicos. Éste no es un tema menor, pues al no existir información obtenida de forma seria, con base experimental, los diseñadores (cuando se realiza un diseño estructural formal) recurren al uso de valores de diseño sin sustento alguno, empleando diferentes criterios; por ejemplo, definir valores mínimos con base en lo establecido en algunos reglamentos, como las NTC-DCEM-23, que, en teoría, representaría la alternativa conservadora. Pero esto no es la constante, ya que existen quienes optan por el uso de valores de diseño mayores. Evidentemente estas decisiones impactan los diseños finales y su comportamiento real ante acciones sísmicas intensas. Por esto, se tiene considerado su estudio para la segunda etapa de esta investigación.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA LARGO, ALTO Y ANCHO

De acuerdo con la NMX-C-404-ONNCCE-2012, la dimensión real del largo no debe diferir en ffl 2 mm respecto a la dimensión de fabricación de 390 mm, y de acuerdo con la tabla 3, ninguno de los proveedores cumple con este requisito; se aprecia que la dispersión estadística de esta dimensión ocurre alrededor de 0.50 para todos los lotes, esto es, que el largo de las piezas varía aproximadamente entre el promedio y ffl 0.50 mm.

Esta misma norma indica que la dimensión real del ancho no debe diferir en ffl 2 mm respecto a la dimensión de fabricación de 120 mm. Conforme a lo reportado en la tabla 3, se observa que todos los lotes cumplen con esta recomendación, y que sus dispersiones son de un orden parecido al que se obtuvo para el largo.

Por lo que se refiere al alto, la norma referida señala que la dimensión real no debe diferir en ffl 3 mm respecto a la dimensión de fabricación de 190 mm, y conforme a la tabla 3, solamente el proveedor E cumple con esta condición; además, se advierte que las dispersiones presentan una variación significativa de un proveedor a otro, lo cual indica que en esta dimensión existe una mayor variación en los moldes de los fabricantes.

De lo presentado en la tabla 5 puede confirmarse esta situación, los coeficientes de variación del largo son de orden parecido, y lo mismo puede decirse de los coeficientes de variación del ancho. Por lo que se refiere al alto, estos coeficientes muestran una apreciable variación de un proveedor a otro.

En general, en lo referente a la geometría las piezas del lote E presentan la menor cantidad de irregularidades, y las piezas del proveedor A son las que muestran el mayor número de irregularidades.

ESPESORES DE PAREDES

Las NMX-C-404-ONNCCE-2012 y NTC-DCEM-23 señalan que las paredes exterior e interior no deben tener un espesor menor que 20 mm; en este sentido y conforme al mostrado de la tabla 4, todas las

paredes exteriores de los proveedores cumplen este requisito. En cuanto a las paredes interiores, únicamente los proveedores A, C, D y E cumplen el requisito. No obstante, se advierte que los lotes A y B presentan las mayores dispersiones para el espesor de la pared exterior, y que en los lotes B, C, D y F se registraron las mayores dispersiones para el espesor de la pared interior; es de notar la falta de uniformidad en los moldes de los fabricantes para los espesores de las piezas ensayadas, lo que también puede observarse de lo expuesto en la tabla 5.

ÁREAS NETA Y BRUTA

En la tabla 6 se advierte que los cocientes de las áreas netas y brutas son mayores que 0.50 y menores que 0.75, por lo que, de acuerdo con las NMX-C-404-ONNCCE-2012 y NTC-DCEM-23, a los BHC ensayados se les puede considerar como piezas huecas. Por otra parte, se advierte que las desviaciones estándar para el área neta son mayores para los lotes A y B, situación que se repite para el caso del área bruta. Al igual que con las dimensiones que definen la geometría de las piezas, se notan diferencias apreciables entre los coeficientes de variación, lo cual indica nuevamente la falta de uniformidad de los moldes utilizados para fabricar las piezas.

PESO VOLUMÉTRICO

Las NTC-DCEM-23 señalan que el peso volumétrico mínimo del BHC debe ser de 1,700 kg/m³, y conforme a los resultados concentrados en la tabla 7, se observa que para las piezas de todos los lotes ensayados se registraron valores por encima del mínimo; en consecuencia, todos los lotes ensayados cumplen con este requisito de la normativa vigente. En este sentido, es notoria una dispersión mucho mayor que las demás para el lote D, para el cual las piezas también presentaron una mayor dispersión en las dimensiones que definen su geometría (tabla 5).

ABSORCIÓN DE AGUA

Como se observa en la tabla 8, los lotes A, B, C, D y F no superan el 12% especificado en la NMX-C-

404-ONNCCE-2012 como valor máximo de absorción de agua para piezas de BHC. Esta propiedad es importante porque influye directamente en la adherencia entre el bloque y el mortero de pega, por tal razón los BHC de los lotes mencionados presentan una porosidad adecuada. Esto no se cumple en las piezas del lote E, para las cuales es de esperar que el agua de amasado del mortero desaparezca antes de que se produzca una hidratación suficiente de la pasta, lo que puede ocasionar una pérdida parcial o total de dicha adherencia y, asimismo, de la resistencia del mismo mortero, además de tener influencia en el mecanismo resistente a tensión diagonal. Se advierte que, aunque la dispersión estimada de las piezas del lote B es mayor que la del resto (lo que indica piezas más porosas que el resto de los lotes), cumplen con los niveles establecidos por la normativa vigente.

RESISTENCIA DE DISEÑO A COMPRESIÓN DE PIEZAS INDIVIDUALES

Según se aprecia en la tabla 9, la resistencia de diseño a compresión de los BHC ensayados es deficiente. Las NTC-DCEM-23 indican que la resistencia mínima a compresión debe ser de 60 kg/cm². Se observa que se registraron valores del 18.75% (proveedor D) al 60% (proveedor A) de la resistencia mínima especificada, lo cual evidencia la deficiente calidad de las piezas, ya que no se garantiza que, en condiciones de trabajo, puedan soportar cargas de compresión sin deformarse ni romperse. Se aprecia, además, que los lotes A, C y F presentan las mayores desviaciones estándar, lo que coincide con la dispersión observada para las áreas brutas (tabla 6).

Por otra parte, la NMX-C-441-ONNCCE-2013 establece que la resistencia media, \bar{f}_p , del BHC, para uso no estructural, debe ser de 35 kg/cm², requisito que únicamente cumplen las piezas del proveedor A. Estos resultados muestran el riesgo presente en las edificaciones de mampostería que se construyen en Tuxtla Gutiérrez, pues se están utilizando piezas que carecen de la calidad adecuada para utilizarse en muros no estructurales, situación que no sólo pone en peligro el patrimonio de las personas sino también su integridad.

MORTERO DE PEGA

A partir de los datos reportados en la tabla 10 es claro que la mayor resistencia de diseño a compresión del mortero de pega se alcanza a los 28 días de edad. Con excepción del resultado obtenido para la edad de siete días (que se aparta de la tendencia, probablemente debido a una compactación deficiente de la mezcla), se aprecia que, como se espera, la resistencia de diseño a compresión aumenta conforme lo hace la edad de la probeta. Cabe mencionar que las mayores dispersiones se registraron para las probetas de siete días de edad (por las razones ya mencionadas), para las demás edades las dispersiones difieren hasta en 40% entre el mínimo y máximo valor (para las edades de tres y 28 y tres días, respectivamente). Las NTC-DCEM-23 indican que el mortero tipo I debe tener una resistencia de diseño a compresión mínima de 125 kg/cm², por lo tanto, al material ensayado se le puede clasificar como mortero tipo I, de manera que es adecuada la dosificación de 1:3 utilizada en su preparación.

RESISTENCIA DE DISEÑO A COMPRESIÓN DE PILAS

Congruente con los resultados obtenidos para piezas individuales, de acuerdo con los valores indicados en la tabla 11, en ningún caso se alcanzó la resistencia mínima de diseño a compresión de 25 kg/cm² recomendada en las NTC-DCEM-23. Los resultados van desde 4.80 kg/cm² (para el proveedor E) hasta 20.80 kg/cm² (para el proveedor F), valores que representan el 19.20 y el 83.20%, respectivamente, del valor mínimo indicado en la norma vigente. Aunque el mortero de pega utilizado es de buena calidad, la resistencia de diseño a compresión de las pilas está controlada por la deficiente resistencia de diseño a compresión de las piezas individuales. La mayor dispersión se presentó para las pilas de los lotes B y D, y la menor para las pilas del lote F; se observa que estas últimas piezas son las que alcanzaron mayor resistencia de diseño a compresión, por lo que en principio podría pensarse que su proceso de fabricación es de mejor calidad que el resto de las piezas.

CORRELACIÓN ESTADÍSTICA E INTERVALOS DE CONFIANZA

En la tabla 12 se indican los coeficientes de correlación entre las variables de los ensayos realizados. A partir de estos resultados se observa que, entre la absorción (A) y la resistencia de diseño a compresión de las piezas individuales (f'_p), existe una correlación débil, esto es, aunque las piezas cumplen con el nivel de absorción máxima de 12% que recomienda la normativa vigente (NMX-C-404-ONNCCE-2012), esto no influye en un mejor desempeño de su resistencia de diseño a compresión.

Tabla 12
Coeficientes de correlación entre las variables de los ensayos realizados

Variables	Coeficiente de correlación (r_{XY})	Interpretación
$A - f'_p$	0.10	Correlación débil
$A_n - f'_p$	0.67	Correlación fuerte
$t_{pe} - f'_p$	0.43	Correlación moderada
$t_{pi} - f'_p$	0.53	Correlación fuerte
$f'_p - f'_m$	0.51	Correlación fuerte

Por otra parte, se aprecia que entre el espesor de la pared exterior (t_{pe}) y f'_p se tiene una correlación moderada, se infiere que cuando t_{pe} aumenta, también f'_p tiende a aumentar, si bien con cierta dispersión o variabilidad.

En cambio, se presenta una correlación fuerte entre el espesor de la pared interior (t_{pi}) y f'_p , se concluye que cuando cambia t_{pi} , f'_p tiende a cambiar de manera predecible y consistente.

Aunque ambos espesores cumplen con el valor mínimo de 2 cm (NMX-C-404-ONNCCE-2012 y NTC-DCM-23) se advierte que e_2 influye más sobre f'_p que el espesor e_1 , por lo que puede considerarse que es más probable que en cuanto mayor sea este espesor mejor será la calidad a compresión de la pieza.

Por lo que se refiere al área neta (A_n), se observa una correlación fuerte con f'_p , en consecuencia, se deduce que cuanto mayor sea A_n se tendrán mayores valores de f'_p , esto es, que los cambios en A_n están fuertemente asociados con cambios en f'_p , por lo tanto, su relación es muy predecible.

Finalmente, entre f'_p y f'_m , se presenta una correlación fuerte, por lo tanto, se infiere que a mayores valores de f'_p , mayores serán los valores de f'_m , es decir, aunque el resultado no implica causalidad, se puede considerar que una mejor calidad de las piezas de mampostería se relaciona con una mejor calidad de las pilas de este material.

En la figura 6 se muestra la relación entre la absorción de las piezas (A) y su resistencia de diseño a compresión (f'_p). La línea de regresión tiene una pendiente positiva, lo que indica que la relación entre las variables es directa, si bien el coeficiente de determinación (R^2) es pequeño (0.0094), de lo que se deduce que la línea de ajuste no explica adecuadamente la variabilidad de la resistencia de diseño a compresión cuando varía la absorción, esto es, no se puede predecir de forma conveniente la resistencia de diseño a compresión a partir de la absorción de las piezas estudiadas.

En la figura 7 se representa la relación entre el área neta (A_n) de las piezas y su resistencia de diseño a compresión (f'_p). Se aprecia que la línea de ajuste tiene una pendiente positiva, de lo que se infiere que la relación entre las variables es directa; asimismo, el coeficiente de determinación (R^2) es 0.45, por lo tanto, se puede decir que el modelo es de ajuste moderado, esto es, puede explicar en parte el comportamiento de la variable dependiente (f'_p), pero no toda su variabilidad.

Figura 6
Correlación estadística entre la absorción (A) y la resistencia de diseño a compresión (f'_p)

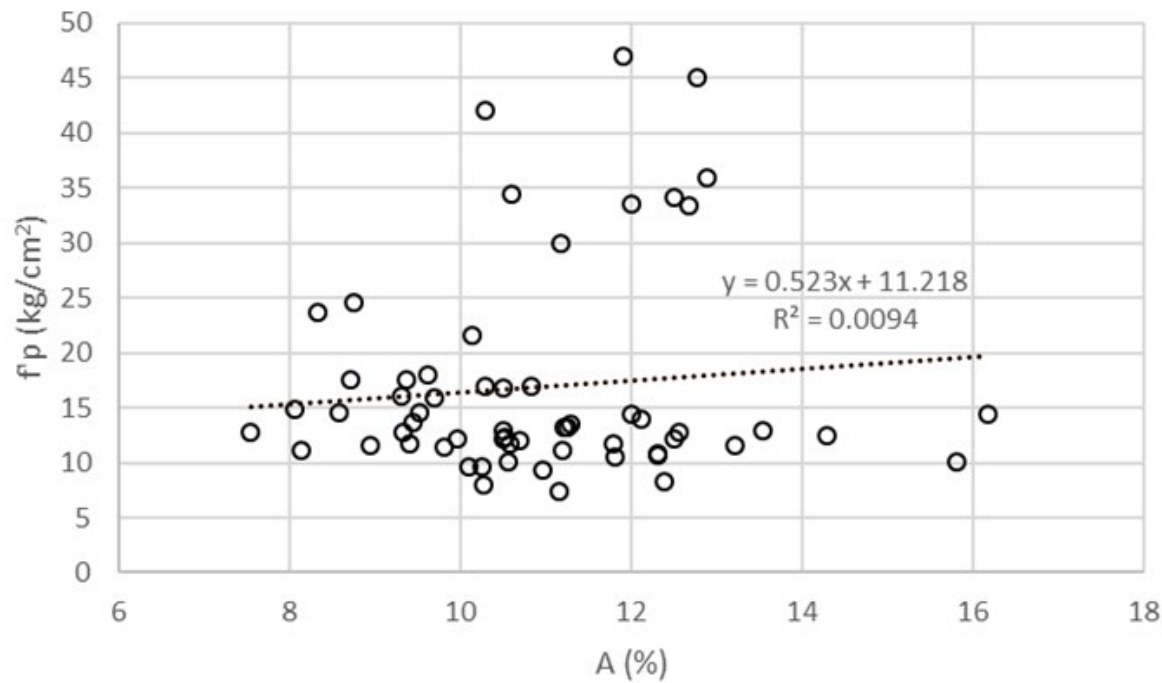
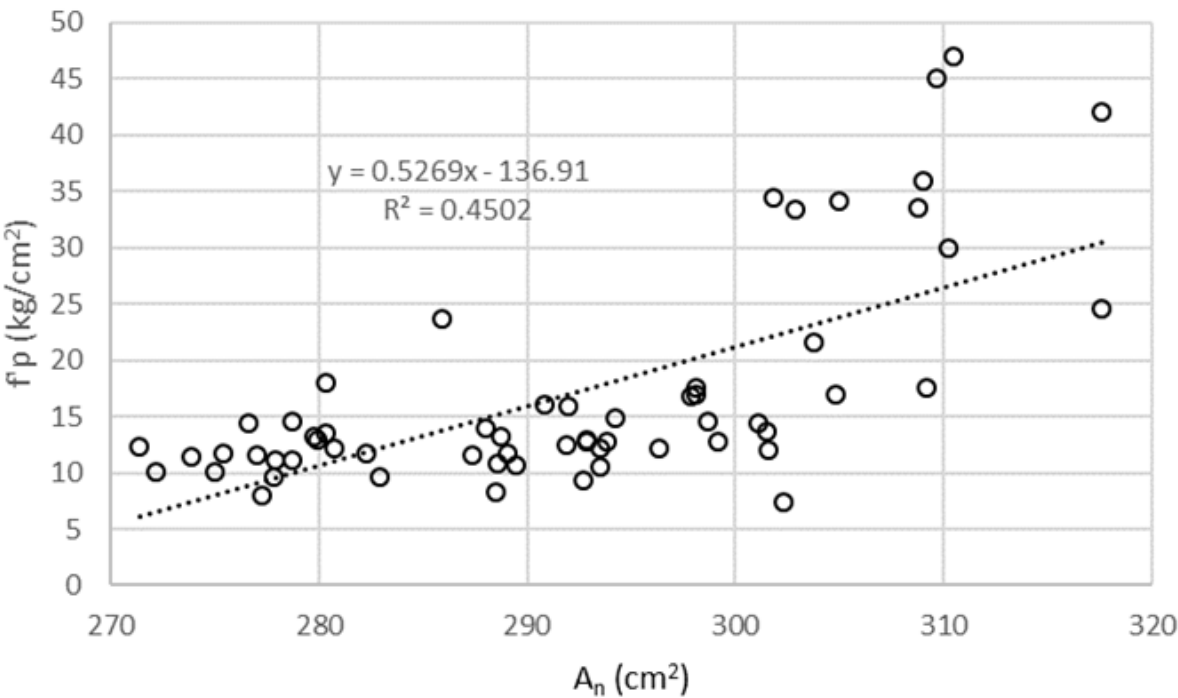


Figura 7
Correlación estadística entre el área neta (A_n) y la resistencia de diseño a compresión (f'_p)



En la figura 8 se muestra la línea de mejor ajuste entre el espesor de la pared exterior (t_{pe}) de las piezas y su resistencia de diseño a compresión (f'_p). Se aprecia que esta línea tiene pendiente positiva, de lo que se deduce que la relación entre estas variables es también directa; no obstante, el valor del coeficiente de determinación (R^2) es 0.18, lo que señala que las observaciones se alejan de las predicciones del modelo, por lo tanto, la variabilidad en el espesor de la pared exterior no pronostica de forma conveniente la variabilidad de la resistencia de diseño a compresión.

En la figura 9 se muestra la relación entre el espesor de la pared interior de las piezas (t_{pi}) y la resistencia de diseño a compresión (f'_p). La línea de regresión tiene pendiente positiva, por lo tanto se concluye que existe una relación directa entre ambas variables; también se aprecia que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.28, esto es, se trata de un ajuste bajo, en consecuencia, la línea de ajuste no logra explicar gran parte de la variabilidad en los datos; esto es, la variable independiente t_{pi} tiene poco poder predictivo para explicar los cambios en la variable dependiente f'_p .

Figura 8

Correlación estadística entre el espesor de la pared exterior (t_{pe}) y la resistencia de diseño a compresión (f'_p)

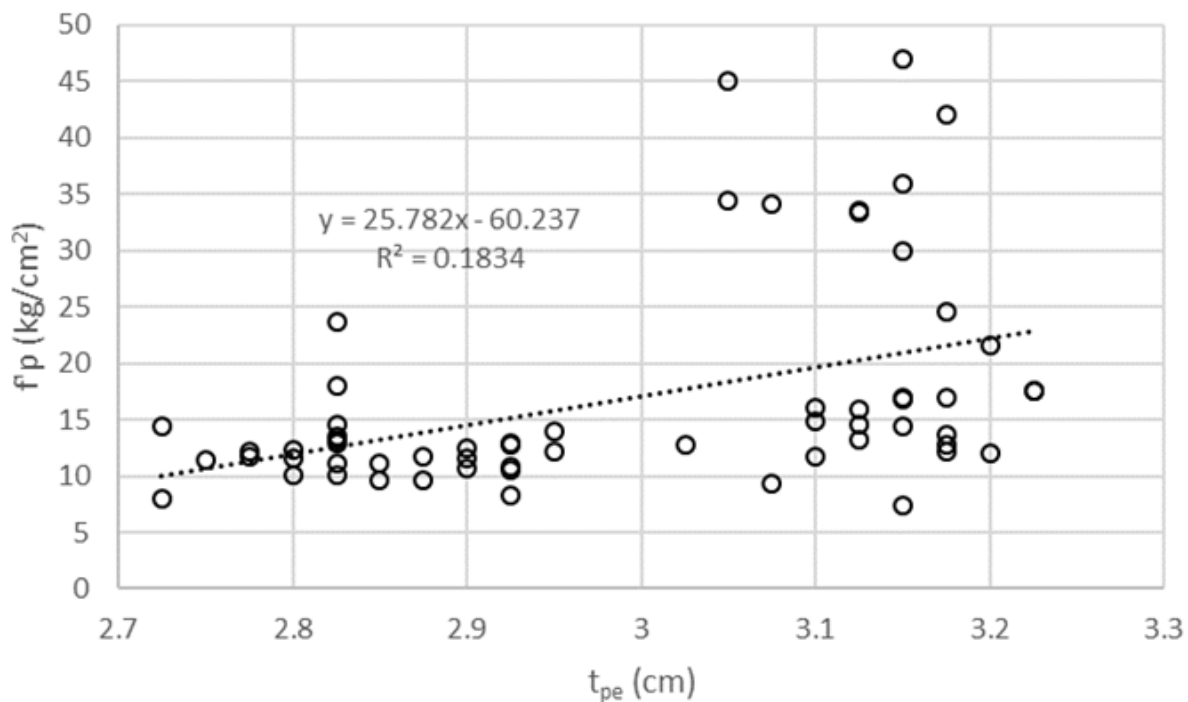
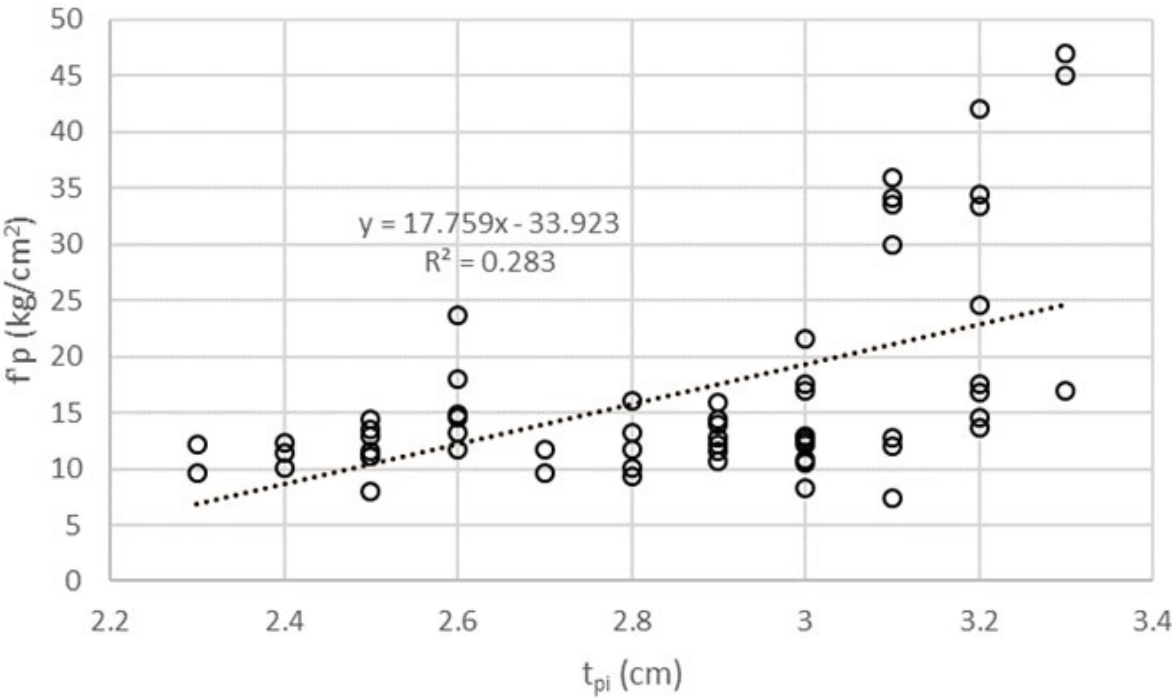


Figura 9

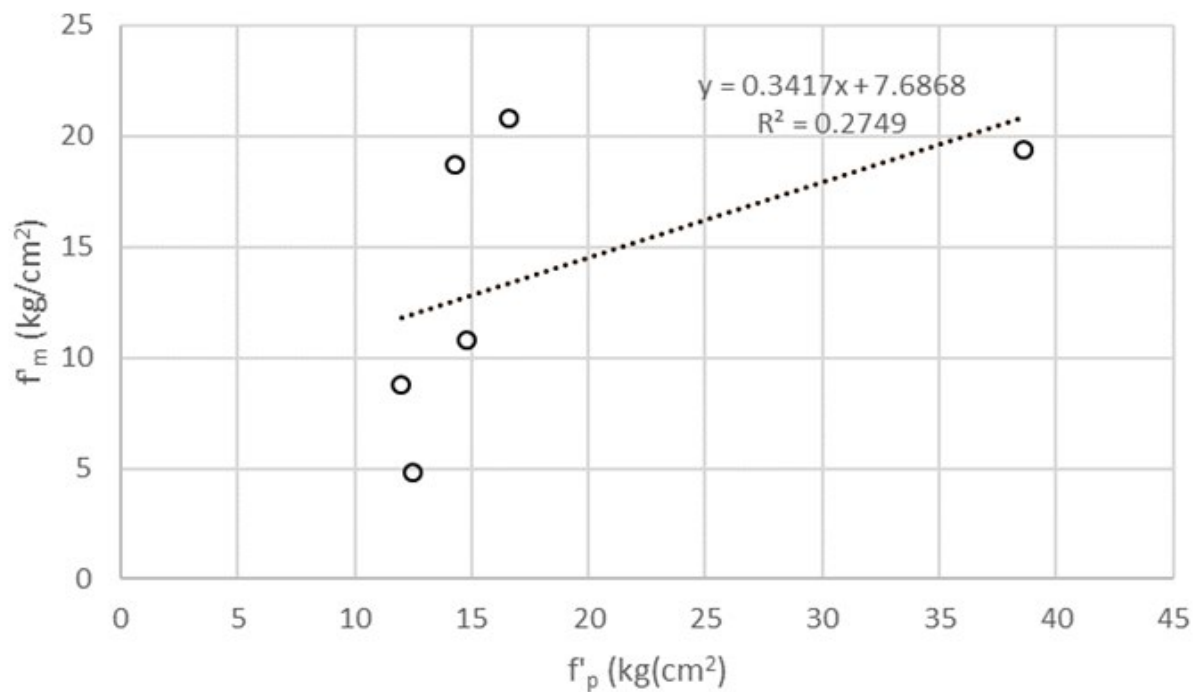
Correlación estadística entre el espesor de la pared interior (t_{pi}) y la resistencia de diseño a compresión (f'_p)



En la figura 10 se muestra la relación entre los valores medios de f'_p y f'_m . Como se observa, la línea de regresión tiene pendiente positiva; por lo tanto, se concluye que existe una relación directa entre ambas variables. En general, se observa que conforme crece f'_p también crece f'_m , otros autores reportan un comportamiento parecido (Tena *et al.*, 2017); no obstante, el coeficiente de determinación (R^2) es 0.27, lo que señala un ajuste bajo, es decir, la línea de ajuste explica

una mínima parte de la variación de la variable dependiente (f'_m), y señala que en su comportamiento influyen otros factores además de f'_p . Como se observa, la muestra resulta insuficiente para explicar la relación entre f'_p y f'_m , aunque el índice de correlación entre estas variables indica una correlación fuerte, la regresión señala que el modelo no es capaz de predecir los resultados alcanzados, por lo que en trabajos futuros se considerará un mayor tamaño de la muestra.

Figura 10
Correlación estadística entre los valores medios de f'_p y f'_m



De forma complementaria, para las variables representativas de la mampostería estudiada, en la tabla 13 se presentan los intervalos de confianza al 90% (columnas 4 y 5) y al 95% (columnas 6 y 7).

Tabla 13
Intervalos de confianza de las variables representativas de la mampostería estudiada

Variable	Valor medio	Desviación estándar	Intervalo de confianza al 90%		Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior
A (%)	10.91	1.74	10.54	11.29	10.47	11.36
t_{pe} (cm)	2.99	0.16	2.96	3.03	2.95	3.03
t_{pi} (cm)	2.86	0.28	2.80	2.92	2.79	2.93
A_n (cm²)	291.96	11.97	289.42	294.50	288.93	294.99
f'_p (kg/cm²)	16.93	9.40	14.93	18.92	14.55	19.31
f'_m (kg/cm²)	13.88	6.05	9.82	17.94	9.05	18.72

En el caso de la resistencia de diseño a compresión (f_p'), se puede decir que se tiene un 95% de confianza de que el promedio de esta variable se encuentre entre 14.55 y 19.31 kg/cm², si bien el ancho del intervalo es de 4.76 kg/cm² (más amplio); en cambio, para un intervalo de confianza de 90% el promedio de esta variable se localiza entre 14.93 y 18.92 kg/cm², con un ancho de intervalo de 3.99 kg/cm² (más estrecho). Esto es, para un 95% de confianza se espera que el 95% de los intervalos calculados incluyan el valor verdadero de f_p' y para el 90% de confianza se espera que el 90% de esos intervalos contengan el valor verdadero de f_p' . Conclusiones parecidas se pueden hacer para las demás variables de esta tabla.

CONCLUSIONES

Se presenta un estudio en que se evalúan, de manera experimental, parámetros relevantes para el estudio del comportamiento de mampostería formada por BHC en viviendas de interés social ubicadas en una zona sísmica, como Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, entre las que se encuentran: la geometría, la absorción de agua, el peso volumétrico, y la resistencia a compresión de piezas y pilas. También se obtuvo la resistencia a compresión del mortero de pegue. El estudio representa una primera etapa, pues existen importantes aspectos aún por cubrir, como la determinación de: a) resistencias a compresión diagonal (cortante); b) adherencia mortero-pieza, y c) durabilidad; los cuales representan una etapa futura por realizar en esta investigación. Asimismo, con la información completa se abordarán aspectos relevantes asociados a mecanismos de transferencia de resultados a políticas de control de calidad, protocolos de recepción en obra o medidas preventivas de carácter normativo. A pesar de las limitantes, se presentan a continuación algunas conclusiones basadas en los resultados obtenidos.

Con referencia a la geometría de las piezas, ninguno de los lotes cumple con las especificaciones señaladas por la normativa vigente en lo referente al largo, ancho y alto. El proveedor E

es el único que cumple, simultáneamente, con el largo y anchos especificados. En relación con las dimensiones modulares (12 cm × 20 cm × 40 cm), se observa que las dimensiones promedio de las piezas por proveedor no muestran desviaciones relevantes. En este sentido, las proveedoras con geometría más próximas a las modulares son: A, B y F, las proveedoras C y D son las de mayores irregularidades.

En todos los lotes se cumple con el requisito del espesor mínimo de 20 mm para las paredes exteriores; sin embargo, en cuanto a las paredes interiores, únicamente las piezas de los proveedores A, C, D y E cumplen con el espesor mínimo de 20 mm.

Todas las piezas evaluadas cumplieron con la condición para clasificarse como huecas, ya que los cocientes de las áreas netas a brutas se encontraron entre 0.50 y 0.75, lo cual se ajusta a lo que señala la normativa considerada.

El mortero ensayado, con dosificación 1:3, según la práctica constructiva de Tuxtla Gutiérrez, se puede clasificar como mortero clase I, ya que su resistencia a la edad de 28 días superó los 125 kg/cm², como lo especifican las NTC-DCEM-23.

El peso volumétrico promedio de las piezas, de todos los lotes ensayados, presentó un valor superior a 1,700 kg/m³, por lo tanto, satisface los requisitos mínimos de las NTC-DCEM-23.

Las piezas de los proveedores A, B, C, D y F cumplen con la especificación de absorción de agua total a 24 horas, no mayor a 12%, indicada en la NMX-C-404-ONNCCE-2012.

Ninguna de las piezas ensayadas cumple con la resistencia mínima a compresión de piezas de 70 kg/cm² especificada por la NMX-C-404-ONNCCE-2012. De igual manera, ninguna de ellas cumple con la resistencia promedio a compresión de piezas mínima de 90 kg/cm² especificada por la misma normativa. Finalmente, de acuerdo con las NTC-DCEM-23, en ninguno de los lotes se alcanzaron los 60 kg/cm² que se requieren como mínimo para la resistencia de diseño a compresión de piezas. Únicamente las piezas del lote A podrían destinarse a uso no estructural según la NMX-C-441-ONNCCE-2013.

En ninguno de los lotes se alcanzó la resistencia mínima de 25 kg/cm² para diseño a compresión de la mampostería que se recomienda en las NTC-DCEM-23. Es importante hacer notar que la resistencia promedio de diseño a compresión obtenida en el estudio realizado en 2019 (Ruiz-Sibaja *et al.*, 2019) indicó un valor de 15.09 kg/cm²,

evidenciando, siete años después, la carencia en iniciativas para el fomento del control de calidad y la mejora en las propiedades del BHC producido en esta región.

En la tabla 14 se presenta un resumen sobre el cumplimiento (✓) o no (✗) del material estudiado respecto a la normativa vigente.

Tabla 14
Resumen de resultados y comparativa respecto a parámetros de referencia normativos vigentes (NMX ONNCCCE y NTC-DCEM-23)

Normativa	Proveedor					
	A	B	C	D	E	F
Dimensiones (NMX-C-404-ONNCCCE-2012)	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Espesor de pared exterior (NMX-C-404-ONNCCCE-2012 y NTC-DCEM-23)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Espesor de pared interior (NMX-C-404-ONNCCCE-2012 y NTC-DCEM-23)	✓	✗	✓	✓	✓	✗
A_{neta}/A_{bruta} (NMX-C-404-ONNCCCE-2012 y NTC-DCEM-23)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Peso volumétrico (NTC-DCEM-23)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Resistencia de diseño a compresión de piezas (NTC-DCEM-23)	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Absorción de agua (NMX-C-404-ONNCCCE-2012)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Resistencia de diseño a compresión en pilas (NTC-DCEM-23)	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Estos resultados muestran la gravedad de una situación actual, se están construyendo muros estructurales de viviendas con piezas que no cumplen con los requisitos mínimos ni para emplearse en muros no estructurales, incrementándose evidentemente la vulnerabilidad de las viviendas

y/o estructuras al someterse a acciones sísmicas intensas, poniendo en riesgo no solamente a la estructura en sí (que representa gran parte del patrimonio de cualquier familia en México), sino la integridad de sus habitantes. Sin duda un aspecto que trasciende lo técnico y puede tener

un impacto social y económico muy significativo en el desarrollo de un estado y país, como se ha evidenciado en dos de los sismos de mayor magnitud registrados en México (en septiembre de 1985 y de 2017).

Resulta evidente la ausencia de normatividad y/o regulaciones locales en los procesos de fabricación y control de calidad de los BHC en Tuxtla Gutiérrez, por lo que se requiere desarrollar mayores elementos técnicos que conlleven a la propuesta, desarrollo e implementación de políticas públicas regulatorias en este rubro. De lo anterior, es evidente que resulta necesario mejorar la calidad de las piezas fabricadas de este material mediante una regulación local de obligado cumplimiento, que establezca lineamientos para la fabricación de piezas de mampostería y para el cálculo y construcción con ellas. El papel de las autoridades municipales es vital en esta labor, así como el de las universidades de Chiapas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al alumno involucrado en el desarrollo de las pruebas experimentales: José Allan Ramírez Constantino. Asimismo, a los técnicos académicos del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNACH, por su colaboración en el trabajo que aquí se describe. A los directivos de la Facultad de Ingeniería de la UNACH, por las facilidades para el desarrollo de los ensayos. Finalmente, se agradecen ampliamente los comentarios de los revisores anónimos, los cuales contribuyeron a mejorar la calidad de este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argüello-Méndez, T. R. (2022). *La producción de la vivienda popular en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. Universidad Autónoma de Chiapas. <https://repositorio.unach.mx/jspui/handle/123456789/3824>
- Escamirosa-Montalvo, L. F., & Molina-Narváez, N. (2022). Análisis de la resistencia a la compresión de bloques de concreto usados en la construcción de viviendas en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 11(29). <https://doi.org/10.31644/imasd.29.2022.a03>
- Godínez-Domínguez, E., Tena-Colunga, A., Archundia-Aranda, H., Gómez-Bernal, A., Ruiz-Torres, R., y Escamilla-Cruz, J. (2019). Daños en viviendas localizadas en el sureste de México ocasionados por el sismo de Tehuantepec del 7 de septiembre de 2017, $M_w = 8.2$. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 24(2), 223-258. <https://doi.org/10.24133/riie.v24i2.1285>
- Godínez-Domínguez, E. A., Tena-Colunga, A., Pérez-Rocha, L. E., Archundia-Aranda, H. I., Gómez-Bernal, A., Ruiz-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*, vol. 56, 102123. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102123>
- González-García, E., Molina-Narváez, N., & Castañeda-Nolasco, G. (2019). Análisis de componentes artesanales utilizados en muros de vivienda en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. En: J. M. Ochoa Rangel, *Vivienda y comunidades sustentables en México*. (8ª ed.). Universidad de Sonora. <https://altexto.mx/vivienda-y-comunidades-sustentables-en-mexico-ijr1w.html>
- González-Herrera, R., Aguilar-Carboney, J. A., y Figueroa-Gallegos, J. A. (2017). Daños en estructuras habitacionales y educativas. En: R. González Herrera (ed.), *El sismo de Villaflores, Chiapas, sus realidades y consecuencias* (pp. 255-302). Universidad Autónoma de Chiapas. https://espacioimasd.unach.mx/libro/num15//El_sismo_de_Villaflores_Chiapas_sus_realidades_y_consecuencias.pdf
- NTC-DCEM-23. Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. (2023). *Gaceta Oficial del Distrito Federal*. México. https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetitas/b3c4f4ff-37241doag93cc6742a8b0bf2f.pdf
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C. (2012a). Industria de la construcción —mampostería—. Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural: Especificaciones y métodos de ensayo (NMX-C-404-ONNCCE-2012).

- . (2012b). Industria de la construcción —mampostería—. Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural: Especificaciones y métodos de ensayo (NMX-C-441-ONNCCE-2013).
- . (2012c). Industria de la construcción —mampostería—. Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural: Especificaciones y métodos de ensayo (NMX-C-464-ONNCCE-2010).
- . (2013a). *Industria de la construcción —mampostería—. Determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones: Método de ensayo (NMX-C-036-ONNCCE-2013).*
- . (2013b). Industria de la construcción —mampostería—. Determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones: Método de ensayo (NMX-C-037-ONNCCE-2013).
- . (2013c). Industria de la construcción —mampostería—. Determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones: Método de ensayo (NMX-C-038-ONNCCE-2013).
- . (2013d). Industria de la construcción —mampostería—. Determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones: Método de ensayo (NMX-C-061-ONNCCE-2010).
- Ramírez-Constantino, J. A. (2022). *Características mecánicas del bloque hueco de concreto utilizado en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.* (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de Chiapas. Repositorio institucional <https://drive.google.com/file/d/1lozm1lcwkgk7caqvaaawebrnhzbrtodC/view>
- Ruiz-Sibaja, J. A., & Godínez-Domínguez, E. A. (2022). Análisis estadístico de características geométricas y mecánicas del bloque hueco de concreto de Tuxtla Gutiérrez. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 11, 63-84. <https://doi.org/10.32870/rvcs.voi11.193>
- Ruiz-Sibaja, J. A., Vidal-Sánchez, F., & Zebadúa-Sánchez, 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*, 8(21). <https://doi.org/10.31644/imasd.21.2019.a01>
- Tena, A., Liga, A., Pérez, A., y González, A. (2017). Proposal for improved mixes to produce concrete masonry units with commonly used aggregates available in the Valley of Mexico. *Revista ALCONPAT*, 7(1), 36-56. doi: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.170>