



Calidad de tabicones pesados con adición perlas de poliestireno pre-expandidas (EPS)

Quality of heavy bricks with addition of pre-expanded polystyrene beads (EPS)

Luis Elías Chávez Valencia^{1*} , Saul Villalobos Pérez¹ , Wilfrido Martínez Molina² , Mauricio Arreola Sánchez² 

¹ Departamento de ingeniería Civil y Ambiental, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.

² Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Historial

Manuscrito recibido: 2 de agosto de 2024

Manuscrito aceptado: 12 de septiembre de 2024

Manuscrito publicado: diciembre 2024

*Autor para correspondencia

Luis Elías Chávez Valencia

e-mail: lechavez@ugto.mx

ORCID: 0000-0003-0830-7747

Resumen

La empresa Zoquite, ubicada en la ciudad de Guanajuato, en una de sus facetas se dedica a la elaboración de vibrocomprimidos, siendo los tabicones los más vendidos, ya sean ligeros o pesados, cuya principal diferencia es el insumo pétreo, que para los primeros es pomacita y para los segundos es arena. En esta investigación se desarrollaron tabicones pesados con relación agua-cemento en masa de 0.5, y una proporción cemento Portland-arena en volumen de 1:3 como el mortero tipo I, en los cuales la arena fue sustituida por EPS (perlas de poliestireno expandido) de 0.5 mm de diámetro nominal en 10, 20, 30, 40, 50 y 60 por ciento en volumen. Después de determinar la calidad de los insumos materiales a través de pruebas de laboratorio y en concordancia por la ficha técnica del EPS, se elaboraron tabicones pesados y fueron curados en la cámara de curado húmedo de la Universidad de Guanajuato, lo cuales fueron caracterizados en conformidad con las normas NMX y con las ASTM. Se concluyó que el agua de mezclado tiene un efecto marcado en la absorción y en la contracción, ya que su racionamiento se realiza concibiendo la necesidad de agua para el acomodo por vibrocompresión y no tanto para hidratación del cemento Portland, así mismo, las propiedades mecánicas de los tabicones fueron incrementándose hasta alcanzar su valor mayor a 28 días de curado para todos los casos, con 11.42 MPa de resistencia a compresión simple para el testigo, cuyo valor se incrementó para la adición de 10, 20 y 30% de EPS. Así mismo, el módulo de ruptura también es influenciado positivamente por la adición de EPS.

Palabras clave: Calidad, Tabicones, Manufactura, Vibrocompresion, perlas de poliestireno expandido.

Abstract

Zoquite company, which is in the city of Guanajuato, in one of its facets, is dedicated to the production of vibrocompressed, being the bricks the best seller, whether light or heavy, whose main difference is the stone supplies, which for the former is made by pumice and the seconds by sand. In this research, sand-bricks were developed with a water-cement ratio of 0.5 and a Portland cement-sand ratio of 1:3 as a mortar type I, in which the sand was replaced by EPS with a 0.5 mm of nominal diameter in 10, 20, 30, 40, 50 and 60 percent by volume. After guaranteeing the quality of the material supplies through the laboratory tests and in accordance with the EPS technical sheet, heavy blocks were made and cured in the curing chamber of the University of Guanajuato, and then they were characterized in accordance with the NMX and with the ASTM standards. With the results, it was concluded that the mixing water has a marked effect on absorptions and contraction since its rationing is carried out considering the need for water for accommodation by vibrocompression and not so much for hydration of the Portland cement, likewise, the mechanical properties of the blocks increased until all cases reach the greatest values at 28 days of curing, with 11.42 MPa of simple compression resistance for the control blocks, whose value increased for the addition of 10, 20 and 30% EPS. Likewise, the modulus of rupture also is positively influenced by the addition of EPS.

Keywords: Quality, Blocks, Manufacturing, Vibrocompression, Expanded Polystyrene.

Introducción

El tabicón es un elemento prefabricado por vibrocompresión en forma de prisma cuadrangular que es elaborado de una mezcla de agregados pétreos y cemento Portland, si el material pétreo tiene una masa volumétrica menor a 1050 kg/m^3 se considera que es ideal para la elaboración de tabicón ligero, en caso contrario se producirá tabicón pesado de acuerdo con la NMX C-299-2010; en Guanajuato capital, el tabicón ligero es empleado como no estructural debido a que las propiedades mecánicas que puede alcanzar son limitadas y en general son elaborados con pomacita y cemento Portland, mientras que los tabicones pesados logran resistencias a compresión simple mayores a 10.8 MPa, por lo que pueden ser empleados como elementos estructurales de acuerdo con las normas mexicanas (NMX) y en general están manufacturados con arena y cemento Portland. La gran ventaja que los tabicones ligeros presentan sobre los otros elementos prismáticos de construcción es la facilidad de ser transportados a través de los callejones de la ciudad de Guanajuato, por lo que un producto que tenga propiedades mecánicas para uso estructural tal como lo es el tabicón arena-cemento hidráulico, pero con peso reducido, puede ser una opción viable para la construcción. Desde el punto de vista de los muros elaborados con tabicones aligerados, estos presentan ventajas en sollicitaciones dinámicas gracias a su bajo módulo de elasticidad (Cook, 1983) (Vijayalakshmi, 2021) además del hecho de que si los muros elaborados con este tipo de tabicones se confinan presentan un rendimiento eficaz para zonas sísmicas con baja intensidad a aquellas con moderada intensidad (Irfanullah *et al.*, 2024), lo anterior se puede hacer empleando como aditivo las perlas pre-expandidas de poliestireno, denominadas EPS por las siglas en Inglés de *expanded polystyrene*.

Así pues, ya sea pomacita o arena, el material que es homogenizado, amasado y luego vibrocomprimido requiere de control de calidad, y para el caso en estudio con mayor razón ya que la manufactura se realiza en talleres con procesos *quasi*-artesanales. Aunado a lo anterior, en el centro del estado de Guanajuato, que es donde se tiene mayor densidad poblacional, las ladrilleras contribuyen en gran medida a la contaminación, es por lo anterior que el gobierno de los tres niveles ha promovido el uso de los vibrocomprimidos en sustitución al tabique de barro.

Entonces, en tiempos recientes la importancia del uso del tabicón estructural como un sustituto al tabique o ladrillo, empleado en la edificación de viviendas, ha evidenciado la necesidad del desarrollo de piezas en

distintos tamaños, colores y materiales, pero diversos factores del entorno de la industria de la construcción han limitado el escalado de la producción a un proceso industrial para lograr así una mejor calidad de los tabicones, por lo que siguen siendo manufacturados en talleres, tal como el de Zoquite (Chavez Valencia, 2023), pues es la forma que dicha actividad económica sigue siendo rentable.

La calidad del producto, del proceso y del servicio al cliente son elementos de la competitividad empresarial (Luna-Altamirano y otros, 2021); pero esta investigación se centró en la calidad del tabicón pesado empleado con fines estructurales; que es elaborado con arena y cemento hidráulico, y empleando como aditivo el EPS, para lo cual se analizaron las propiedades de las materias primas y del tabicón resultante con base a las normas mexicanas denominadas con NMX (ONNCCE, 2024) y a las normas American Society for Testing and Materials (ASTM). Así pues, siendo el tabicón pesado, adicionado con EPS, un producto que podría reemplazar al tabique y al tabicón ligero, y que a su vez tiene una alta dependencia de la obra de mano, la determinación de la calidad de dicho producto prefabricado es transcendental y se presenta a continuación.

Metodología

Las materias primas empleadas para la elaboración son: EPS, arena y el cemento Portland hidráulico. Como el EPS de 0.5 mm de diámetro nominal es un producto fabricado, su calidad está controlada por el fabricante y fuera de alcance de este estudio, por lo que su calidad no se determinó en esta investigación. Para la caracterización de la arena se determinó: granulometría, peso específico y absorción, y humedad actual; para el cemento hidráulico se determinó: gravedad específica, consistencia normal y tiempo de fraguado. Después, los tabicones pesados fueron elaborados en el taller de Zoquite con dosificación cemento-arena 1:3, que es un mortero tipo I de acuerdo las normas técnicas complementarias (NTC-RCDF) del reglamento de construcción de la ciudad de México (Arnal, 2007), una vez transcurrido el periodo de curado, se determinó la calidad del producto para 7, 14 y 28 días.

Agregado pétreo

La granulometría se evaluó con la norma ASTM C136-06 (ASTM, 2006), donde se pasó una muestra representativa de arena por los tamices establecidos en la norma, para conocer la distribución de los diámetros de partículas; posteriormente fue ilustrado

en una gráfica granulométrica donde se analizó con respecto a las especificaciones para norma ASTM C33/C33M-18 (ASTM, 2018) debido a que los tabicones pueden idealizarse como material compuesto con matriz cementicia formado por un mortero hidráulico vibrocomprimido. Para la absorción y peso específico del agregado pétreo fino se empleó la norma ASTM C128-22 (ASTM, 2022) que permitió la evaluación de la relación entre la masa de la arena y la masa de un volumen de agua igual al volumen de las partículas del agregado, además, la prueba se realiza cuando la arena se encuentra saturada y superficialmente seca, momento en el cual se determinó la absorción. Y finalmente la humedad actual se evaluó mediante la norma ASTM C566-19 (ASTM, 2019) que permite determinar el contenido de agua en la arena. Tanto la absorción como la humedad actual no tiene limitantes, más bien, estas propiedades de la arena se usan para realizar los ajustes necesarios en el agua de amasado, así mismo, el peso específico es importante en las relaciones volumétricas y gravimétricas del material compuesto constituyente de tabicón, es decir, el mortero hidráulico.

Cemento portland

La gravedad específica del cemento hidráulico se realizó con el frasco de Le Chatelier a través de la ASTM C188-17 (ASTM, 2023) que es el peso del cemento por unidad de volumen sin considerar los vacíos del cemento. La consistencia normal del cemento hidráulico se evaluó con ASTM C18723 (ASTM, 2023) que es la cantidad de agua necesaria para que la aguja de 1cm de diámetro del aparato de Vicat penetre $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ a la pasta de cemento, durante 30 segundos. Para el tiempo de fraguado se empleó la norma ASTM C191-21 (ASTM, 2021) por el método de la aguja de VICAT. Los resultados de la evaluación de las propiedades del cemento se compararon con los estándares que la industria mexicana del cemento hidráulico ha expedido mediante las NMX, con la meta de determinar la calidad de éste y su factibilidad de uso en la elaboración del tabicón pesado.

Elaboración y curado

Los niveles de dosificación se establecieron para mortero tipo I, conforme a las NTC-RCDF, donde usa 1 volumen de cemento Portland por 3 volúmenes

de arena, dicha proporción necesaria para producir 50 piezas está formada por 10 botes de arena (200 litros), 3 botes de cemento (60 litros) de CPO 30R y 1.5 botes de agua (30 litros) que resultan en relación agua-cemento (A/C) de 0.5 que es el valor medio del rango recomendado (Muciño y Santa Ana, 2017). La adición de EPS consistió en sustituir porcentajes de la arena de 0 a 60% en volumen, ver **Tabla 1**, donde un bote equivale a 20 litros.

Para la elaboración de los tabicones testigo, la mitad del total de la dosificación de materiales para 50 piezas fue colocada paulatinamente en una mezcladora de paletas y agitada por 5 minutos, después se colocó lentamente la otra mitad para ser agitada por otros 5 minutos más; para los casos de sustitución de la arena por EPS, la perlita se colocó al final de la homogenización durante otros 10 minutos más, cuidando realizar la adición de forma lenta para evitar la segregación y formación de clústeres. Una vez que los insumos materiales fueron homogenizados, la mezcla fue vaciada al pie de la vibrocompresora (Ver **Figura 1**) para que los tabicones fueran manufacturados como sigue:

1. Se colocó una tarima de madera bajo el molde hembra (10 huecos) y estos dos sobre la mesa vibratoria, verificando que tanto la tarima y el molde quedaran sujetos por las muescas;
2. Se colocó el material en tres capas ayudando con la mano para el acomodo del material, además, en cada una de las capas se dio un preacomodo con una vibración ligera (1 a 2 segundos), y al finalizar el llenado se procuró dejar el molde colmado;
3. Se colocó el apisonador (molde macho) sobre el molde

Tabla 1. Adición de EPS a la mezcla de elaboración de tabicón pesado.

Denominación	EPS %	Arena Botes (19 L)	EPS Botes (19L)
P0	0%	10	0
P10	10%	9	1
P20	20%	8	2
P30	30%	7	3
P40	40%	6	4
P50	50%	5	5
P60	60%	4	6



Figura 1. Estación de vicompresión de los tabicones con adición de EPS.

- hembra, y se vibrocompactó el material durante 5 a 10 segundos;
4. Se levantó el apisonador para despegar el molde hembra, quedando los tabicones depositados en la tarima de madera; y
 5. Se retiró la tarima de madera con los tabicones y se llevó al sitio de curado.

El método de curado convencional consiste en cubrir los tabicones con una frazada de hule durante un periodo de 24 hora continuas (Ver **Figura 2**), para posteriormente retirar la cubierta y dejarlos a la intemperie hasta ser comercializados, no obstante, este método puede tener un



Figura 2. Curado tradicional de los tabicones pesados.

impacto negativo sobre las propiedades de los tabicones, por lo que para esta investigación, las muestras fueron llevadas al cuarto de curado en las instalaciones de la Universidad de Guanajuato (Ver **Figura 3**), con un 90% de humedad relativa y 21 °C de forma constante de conformidad a la norma NMX C-159-2016.

A los 7, 14 y 28 días de curado, a los tabicones pesados se les determinó: dimensiones y peso volumétrico conforme a la norma NMX C-038-2013, contracción según la norma NMX C-024-2012, acabados con NMX C-404-2012; aunque la humedad actual no es un parámetro que esté normalizado para los tabicones, en esta investigación se realizó como el agua retenida con respecto al estado seco y es en ese estado que se determinó la absorción inicial según la norma NMX C-037-2013; así mismo, se evaluó la resistencia a compresión simple según la norma NMX C-036-2013, y la resistencia a flexión según la norma ASTM C293/C293M-16 (ASTM, 2016) que son propiedades importantes para tabicones de uso estructural que permiten ponderar su comportamiento mecánico. El nivel de la calidad de los tabicones se determinó con base a las especificaciones de la norma NMX C-404-2012 que es para tabicones de uso estructural.

Resultados y discusión

Insumos materiales. Arena

La arena es el insumo pétreo que la empresa Zoquite trae desde el San Miguel de Allende, Guanajuato; con textura y estructura gruesa, teniendo un peso específico



Figura 3. Cámara de curado de la Universidad de Guanajuato

de 2.35 t/m^3 , una absorción de 6.39% y una humedad 9.4% , que, aunque estas propiedades no son limitantes si son importantes en el desarrollo del producto bajo un concepto de mayor calidad, no obstante, para esta investigación no fueron empleados y se continuó con la manufactura del tabicón de forma empírica. Así mismo, en la **Tabla 2**, se muestran los resultados de la granulometría y en la **Figura 4** se ilustra la distribución granulométrica junto con los límites indicados en la norma ASTM C33/C33M-18, que son los tamaños recomendados para concreto hidráulico, lo anterior debido a que la morfología del agregado pétreo tiene alta influencia sobre las propiedades de los materiales compuestos con matriz cementicia (León, 2010), y al no existir especificaciones normadas al respecto, se decidió emplear la relativa a concreto hidráulico.

De la **Figura 4** se puede observar que la distribución granulométrica de la arena no está dentro de los límites

recomendados, y el módulo de finura que es de 3.5 no está entre 2.3 a 3.1 , que son los límites recomendados para la elaboración de concreto hidráulico (Toirac, 2012), lo que es un indicador de que la arena tiene una textura gruesa y que es coincidente con la primera observación de la morfología del insumo pétreo. Así pues, para esta investigación se decidió elaborar los tabicones con la arena de textura gruesa.

Insumos materiales. Cemento Portland

Las propiedades del cemento Portland (CPO 30R) empleado por la empresa Zoquite se muestran en la **Tabla 3**, se observa que cumple con las especificaciones de los límites inferior y superior del fraguado en concordancia con la NMX C-414-2017, así como una consistencia normal de 29.5% que esta entre 23 y 33% , considerado como el rango adecuado (RashedulKabir, 2017) y la gravedad específica del cemento que se encuentra entre los límites de 3.1 y 3.2 g/cm^3 reconocidos en la industria de la construcción (Obando-Angulo, 2023), por lo que al considerar que el cemento hidráulico tiene la calidad suficiente, se continuó con su uso en la producción de los tabicones estructurales.

Propiedades de los tabicones

La cantidad de tabicones pesados resultantes por la bachada fue de 50 piezas, pero para esta investigación se seleccionaron las 36 mejores piezas, descartando para fines de investigación las que presentaban daños severos de elaboración tales, como: disgregación, despostillamiento, segregación y deformación. Las 36 piezas se clasificaron para ser probadas en 12 piezas a 7 días de curado, 12 piezas a 14 días de curado y 12

Tabla 2. Granulometría de la arena

Malla	Abertura (mm)	Retenido (g)	% retenido	% acumulativo	% que pasa	Límite inferior	Límite superior
No. 4	4.76	0	0	0	100	95	100
No. 8	2.36	38.7	8.6	8.6	91.4	80	100
No. 16	1.18	43.5	9.7	18	81.7	50	85
No. 30	0.60	64.5	14.4	33	67.3	25	60
No. 50	0.255	255.1	56.9	90	10.3	5	30
No.100	0.150	29.2	6.5	96	3.8	0	10
No.200	0.075	15.9	3.5	100	0.2	0	3
Charola	0.000	1.1	0.2	100	0	0	0
	Suma	448					

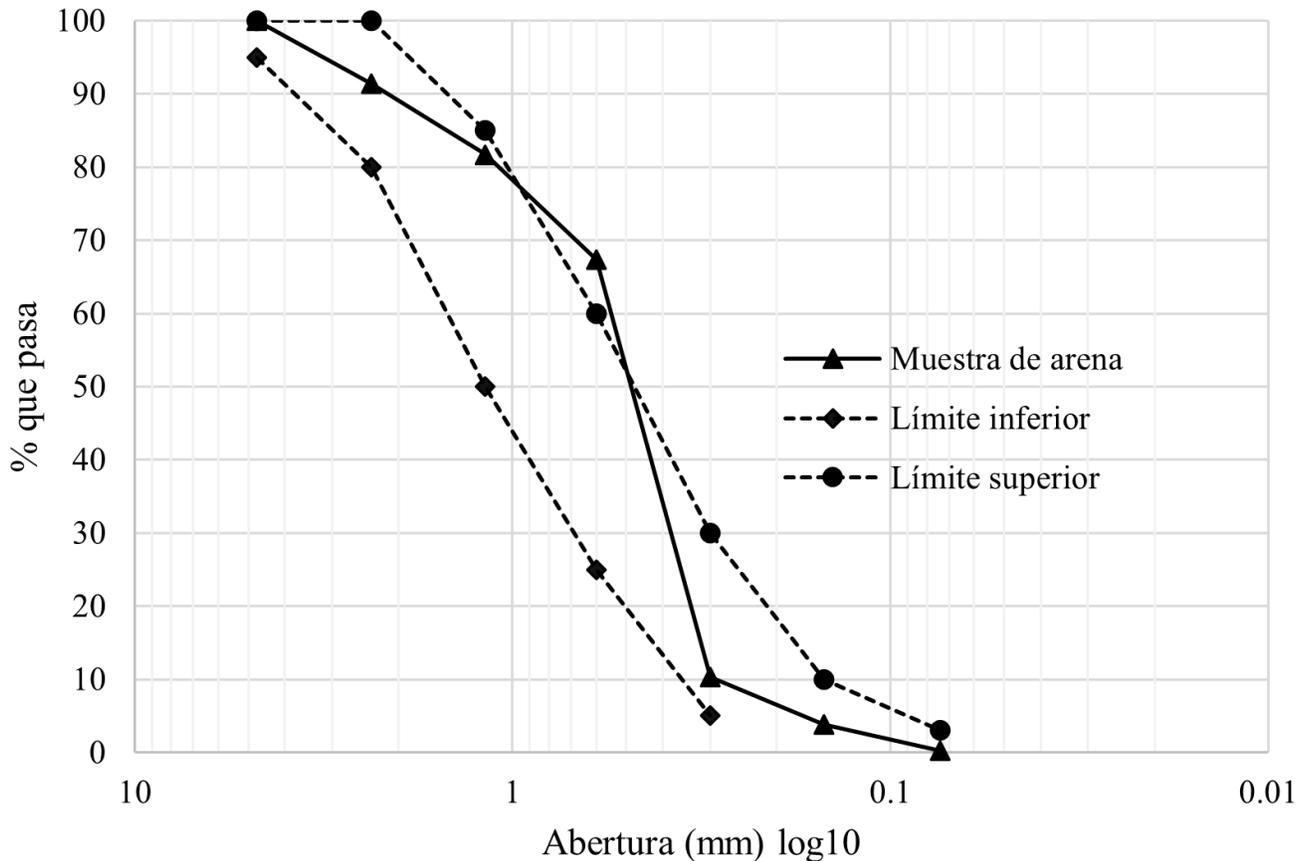


Figura 4. Distribución granulométrica de la arena y los límites de ASTM C-33/C33M-18

piezas a 28 días de curado, los resultados promedio de las propiedades de los tabicones se muestran de la **Tabla 3** a la **6** y están presentados en las **Figuras 2, 3 y 4**, respectivamente.

De acuerdo con las especificaciones de la norma NMX C-404-2012, las dimensiones no deben ser mayores a 24 cm de largo, 10 cm de ancho y 10 cm de alto, en la **Tabla 4** y en la **Figura 5** se observa que las dimensiones promedio de los tabicones cumplen; no obstante, aunque las dimensiones de las piezas están dentro de los límites, sus valores presentan una variación mayor a las

recomendadas por la norma citada y esto se debe al mal estado de los moldes. Así mismo, la contracción para (Ver **Figura 6**) todas las piezas en cualquier dosificación y edad no cumple con la contracción máxima de 0.065% de conformidad a la norma en comento, es decir, que los tabicones tienen una contracción plástica alta, que generalmente está asociada al proceso de curado (Maurello y otros, 2020); además, la contracción disminuye sensiblemente a 28 días de curado, y podría estar asociada a que el agua empleada está concebida para la vibrocompactación y no para el fraguado del cemento hidráulico. Los resultados de la apariencia de los tabicones estructurales para cualquier edad y sustitución de EPS, en concordancia con la norma NMX C-404-2012, no presentan irregularidades en apariencia, velos, defectos o piezas seccionadas, lo anterior gracias a la selección previa de los mismos.

La **Tabla 5** muestra el peso volumétrico, la humedad y las absorciones de los tabicones para 7, 14 y 28 días de curado. En dicha tabla y en la **Figura 7**, se puede observar que los pesos volumétricos para las diversas

Tabla 3. Propiedades del CPO 30R empleado por Zoquite.

Propiedad	Resultado	Límite inferior	Límite superior
Gravedad	3.15 g/cm ³	3.1 g/cm ³	3.2 g/cm ³
Consistencia normal	29.5%	23%	33%
Fraguado inicial	75 minutos	45 minutos	-----
Fraguado final	580 minutos	-----	600 minutos

Tabla 4. Dimensión y contracción de los tabicones para 7, 14, 28 días.

Denominación	Dimensión	Dimensión	Dimensión	Contracción	Contracción	Contracción
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (%)	Ancho (%)	Alto (%)
7 días						
P0	28.10	14.08	10.23	0.36	0.28	0.27
P10	28.23	14.05	10.53	0.39	0.32	0.29
P20	28.03	13.85	10.58	0.36	0.30	0.28
P30	28.03	13.97	9.98	0.29	0.28	0.26
P40	27.98	14.30	9.50	0.28	0.24	0.25
P50	28.10	14.09	9.57	0.29	0.22	0.21
P60	28.05	14.07	10.21	0.27	0.19	0.21
14 días						
P0	28.15	14.40	10.18	0.31	0.24	0.23
P10	28.15	14.50	10.30	0.29	0.30	0.29
P20	28.23	14.45	10.55	0.27	0.28	0.24
P30	28.30	15.08	10.30	0.21	0.24	0.22
P40	28.35	14.90	10.36	0.29	0.22	0.22
P50	28.10	14.90	10.10	0.21	0.20	0.19
P60	28.18	14.35	10.12	0.25	0.20	0.20
28 días						
P0	28.37	14.38	10.40	0.28	0.18	0.19
P10	28.14	14.12	10.12	0.23	0.29	0.29
P20	28.23	14.26	10.22	0.22	0.21	0.19
P30	28.37	14.78	10.23	0.18	0.19	0.18
P40	28.45	14.42	10.35	0.19	0.18	0.18
P50	28.45	14.10	10.42	0.19	0.17	0.17
P60	28.46	14.02	10.35	0.14	0.15	0.14

sustituciones de EPS tienen diferencias que no son significativas, y conforme transcurre el tiempo de curado dichos valores van disminuyendo debido a la pérdida del agua de mezclado inicial (Vargas y otros, 2006), ya sea por evaporación o por consumo para fraguado del CPO 30R. Los valores promedio del peso volumétrico son mayores a 1.5 g/cm^3 , excepto para P60, que se consideran adecuados de conformidad a las NTC-RCDF.

Así mismo, la humedad actual es menor a 5%, que es la humedad remanente en las piezas después de que son extraídas de la cámara de curado y secadas a la intemperie por al menos 24 horas (Ver **Figura 8 y 9**). A partir de esa condición se determinó la absorción y absorción inicial que de acuerdo con los resultados estos valores disminuyeron conforme al incremento del tiempo de curado, pero aún son menores a la especificación de

la norma NMX C-404-2012, por lo que la habilitación de las piezas en el mampuesto no demandará agua en demasía, lo que permitirá un mejor fraguado en el mortero de asentado.

En la **Tabla 6** se pueden observar las propiedades mecánicas del promedio de 12 piezas para 7, 14 y 28 días de curado y en la **Figura 10** se muestran estos resultados, y debido a que los tabicones son estructurales, la resistencia a compresión simple debe ser mayor a 10.8 MPa, de acuerdo con la norma NMX C-404-2012 o mayor a 9.8 MPa, de conformidad a las NTC-RCDF, lo cual es alcanzada a 28 días de edad de curado solo para P0, P10, P20 y P30. Así mismo, en dicha tabla se puede observar el incremento continuo de las propiedades mecánicas de los tabicones de acuerdo al transcurso del tiempo, lo que es un indicador de un buen

Tabla 5. Peso volumétrico y las humedades de los tabicones.

Denominación	Peso volumétrico (g/cm ³)	Humedad actual (%)	Absorción (%)	Absorción inicial (g/min)
Limite	1.5		<12%	<5 g/min
Norma	NTC-RCDF		NMX C404-2012	NMX C404-2012
7 días				
P0	1.95	3.78	10.96	4.21
P10	1.93	4.62	9.85	4.22
P20	1.76	4.67	10.24	4.05
P30	1.85	4.25	8.14	3.89
P40	1.80	3.59	11.51	3.75
P50	1.68	4.12	12.90	3.52
P60	1.47	3.98	12.84	3.50
14 días				
P0	1.90	4.78	7.29	4.11
P10	1.92	3.87	7.25	4.12
P20	1.73	4.12	6.58	3.95
P30	1.73	3.45	6.66	3.71
P40	1.77	4.25	7.63	3.57
P50	1.67	4.10	9.14	3.45
P60	1.43	4.32	8.81	3.45
28 días				
P0	1.87	4.91	4.60	4.06
P10	1.90	4.05	6.37	4.02
P20	1.80	2.58	4.25	3.85
P30	1.82	4.14	2.75	3.56
P40	1.70	4.06	4.14	3.42
P50	1.57	4.83	5.67	3.28
P60	1.44	3.56	4.85	3.28

proceso de fraguado del cemento. Además, el valor del módulo de ruptura determinado en todas las muestras a 28 días de curado es mayor a los valores reportados por investigadores, que es de 2.7 MPa (Marshalls, 2024), sólo para P0, P10, P20 y P30.

Cuando ya se ha dado el fraguado final del material compuesto se puede observar que la adición de EPS para P10, P20 y P30 incrementa las propiedades mecánicas por encima de P0 y por arriba de los límites establecidos en la normativa, pero la disminución de la masa volumétrica es marginal, de 1.87 g/cm³ en P0 a 1.82 g/cm³ en P30 (2.67% menos de masa), y muy lejano de los valores obtenido en los tabicones ligeros que es de 1.1 g/cm³, (41.15% menos de masa) por lo que el tabicón arena-EPS no es un candidato para sustituir al tabicón

de pomacita.

Conclusiones

Después de analizar la granulometría y comparar los resultados con la normativa, se puede concluir que la arena tiene una textura de granos gruesos que otorgan al tabicón mayor porosidad con consecuencias negativas durante la elaboración, ya que la vibración segrega a la mezcla con mayor facilidad, y el producto presenta mayor cantidad de huecos que inducen falla por aplastamiento, por lo que puede ser sustituida como insumo por una de mejor calidad, pero requiere un estudio alterno al presente. Así mismo, las propiedades del EPS se consideraron de calidad según la ficha técnica; el CPO 30R empleado cumple con los requisitos

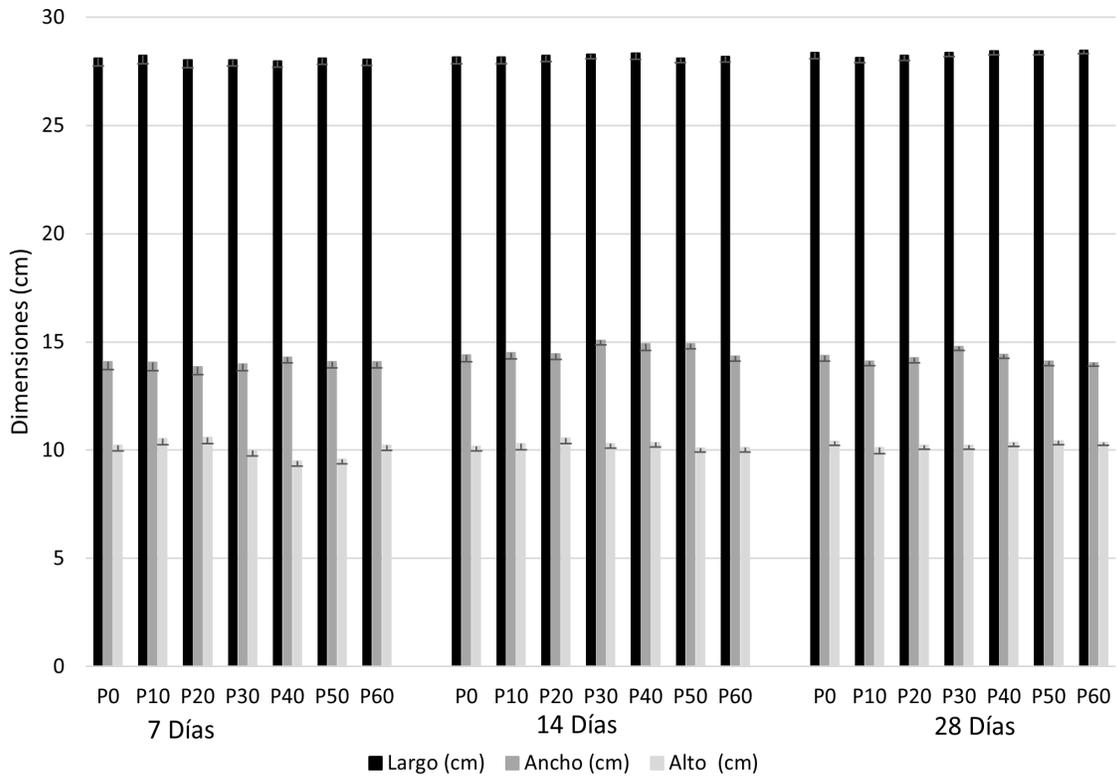


Figura 5. Dimensión de los tabicones para 7, 14, 28 días.

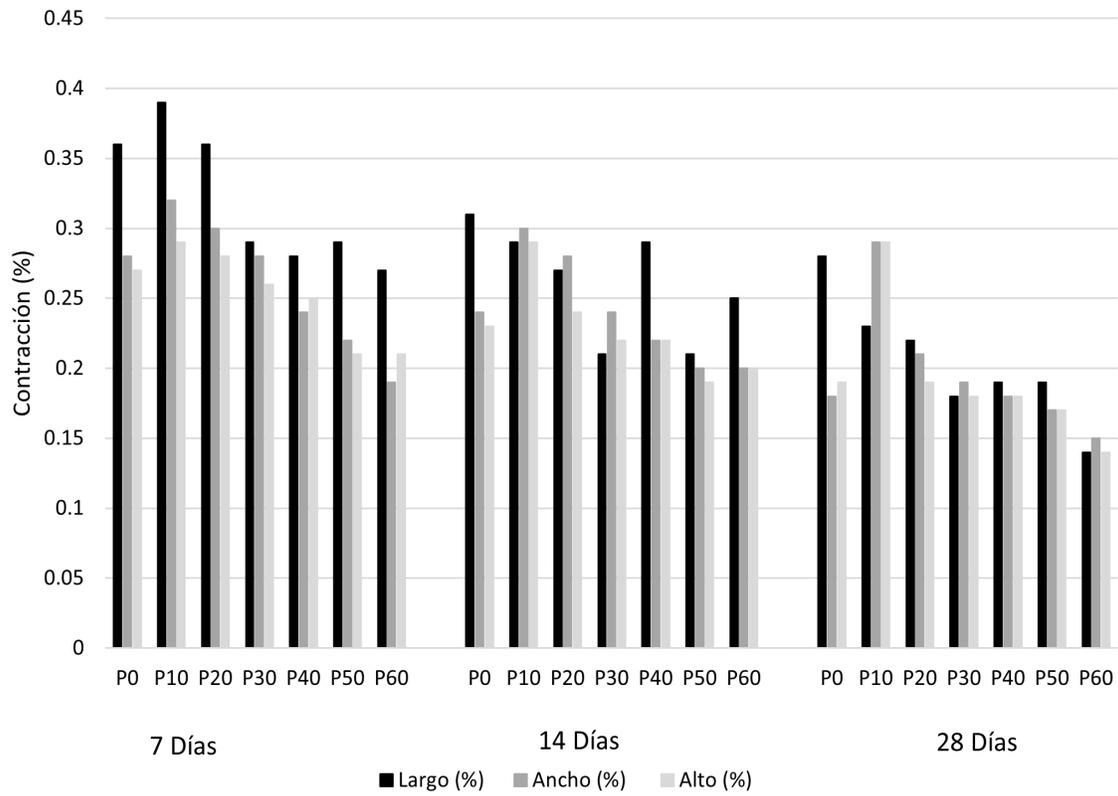


Figura 6. Contracción de los tabicones para 7, 14, 28 días.

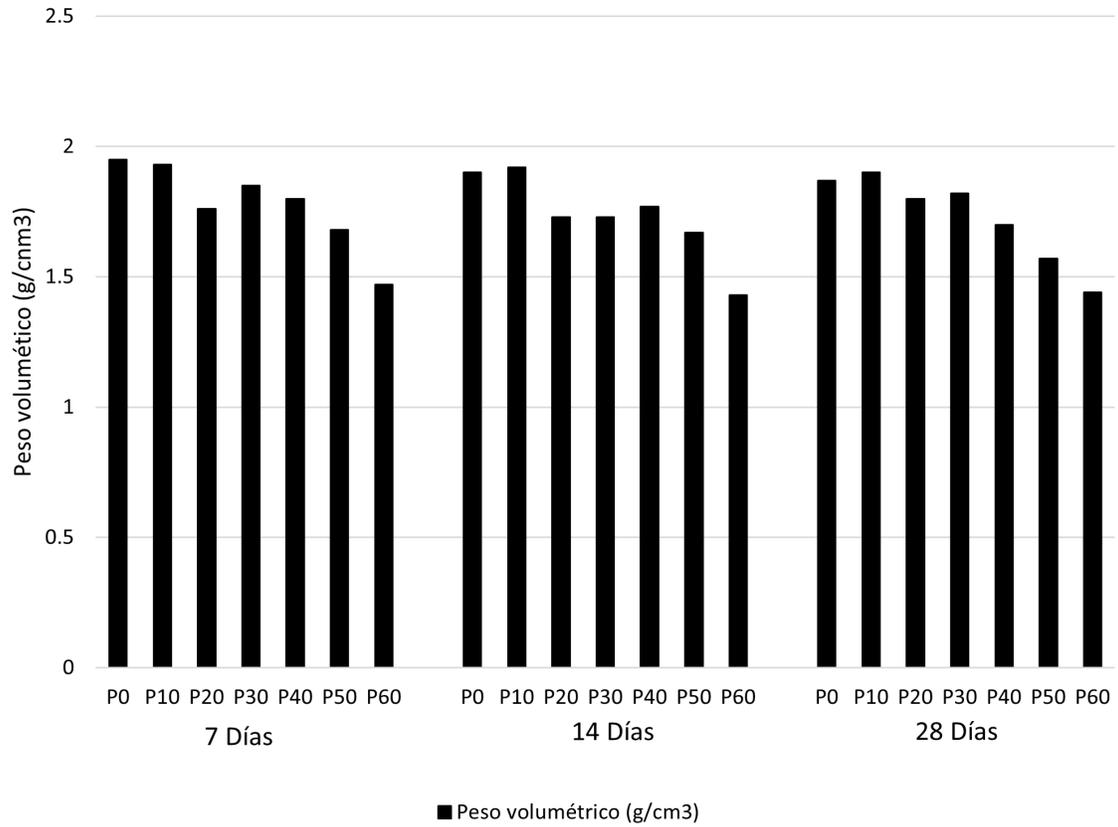


Figura 7. Peso volumétrico de los tabicones para 7, 14 y 28 días.

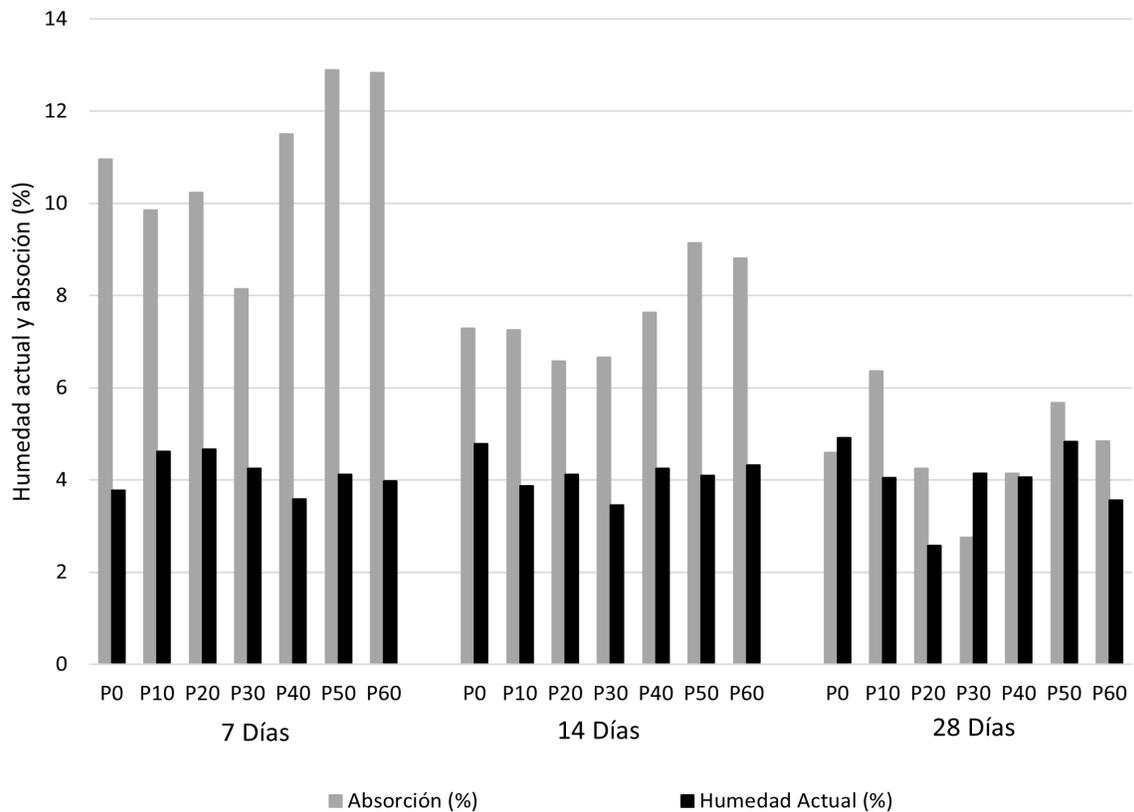


Figura 8. Absorción, absorción inicial y humedad actual de los tabicones para 7, 14 y 28 días.

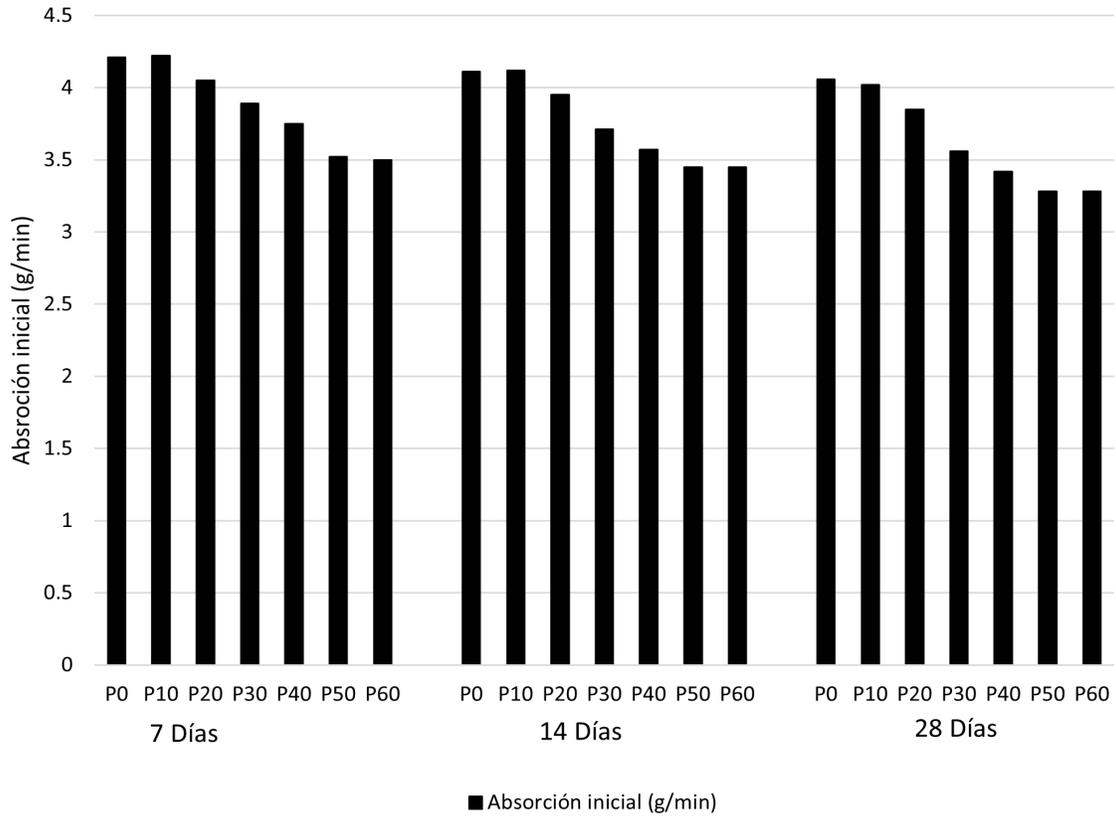


Figura 9. Absorción inicial de los tabicones para 7, 14 y 28 días.

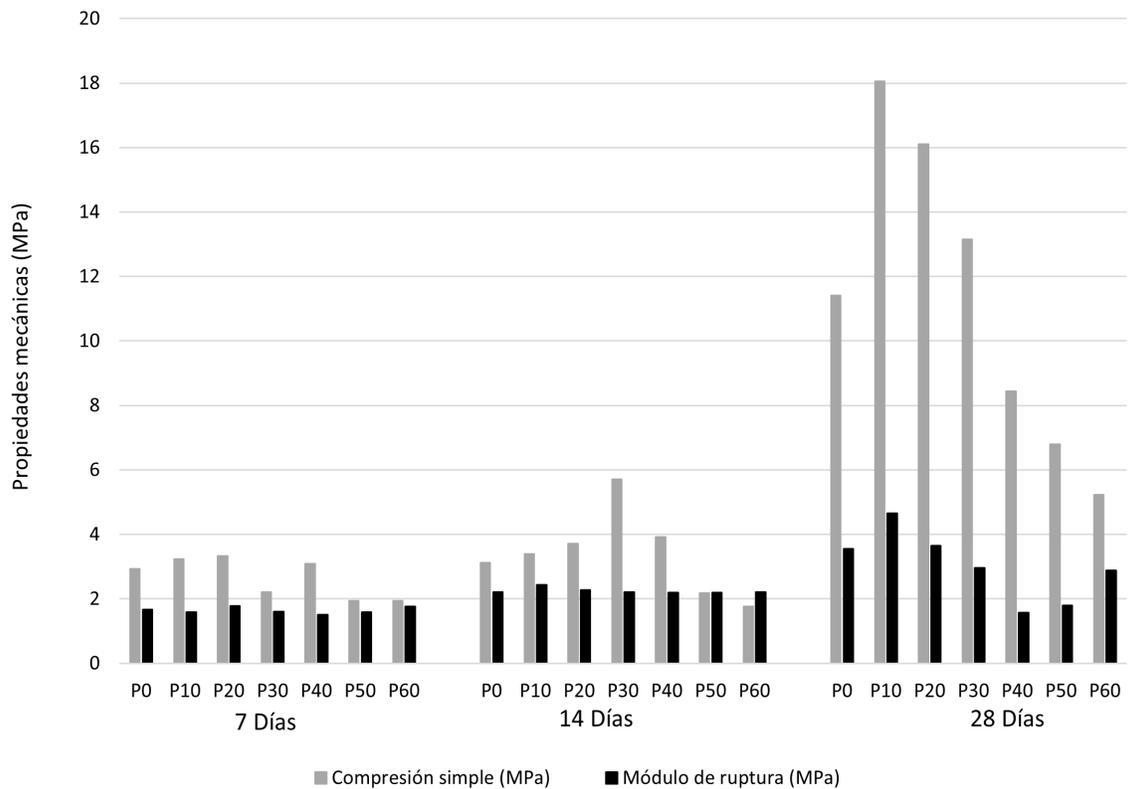


Figura 10. Propiedades mecánicas de los tabicones estructurales.

Tabla 6. Propiedades mecánicas de los tabicones estructurales.

Denominación	Compresión simple (MPa)	Módulo de ruptura (MPa)
7 días		
P0	2.93	1.67
P10	3.24	1.59
P20	3.33	1.79
P30	2.21	1.61
P40	3.09	1.51
P50	1.95	1.59
P60	1.94	1.77
14 días		
P0	3.13	2.21
P10	3.39	2.43
P20	3.71	2.28
P30	5.71	2.21
P40	3.92	2.19
P50	2.18	2.19
P60	1.77	2.21
28 días		
P0	11.42	3.55
P10	18.05	4.66
P20	16.11	3.65
P30	13.15	2.97
P40	8.44	1.57
P50	6.79	1.80
P60	5.24	2.89

de la normatividad relativa.

Las dimensiones de los tabicones pesados tienen variación debido a que los moldes son elaborados artesanalmente, carecen de mantenimiento y se encuentran maltratados por la vibrocompactadora, lo que conlleva que los prismas sean un tanto irregulares, y que induzcan falla por aplastamiento. Así mismo, la contracción, como indicador del proceso de fraguado es mayor a la permitida por la norma lo que implica que el tabicón se desecó, pero dicha pérdida de agua disminuye a los 28 días de curado, ya que también disminuyó el agua necesaria para la reacción química del cemento hidráulico; esta falta de agua identificada en la absorción y la absorción inicial, se debe a que durante el mezclado se adiciona sólo la requerida para homogenización y no para la hidratación del cemento hidráulico Portland,

además dicha desecación es acentuada debido a la absorción relativamente alta de la arena (Solís-Carcaño, 2019).

De las propiedades mecánicas se concluye que estas fueron incrementando conforme al tiempo de elaborado y curado, logrando sus mejores atributos a 28 días, donde la resistencia a compresión simple de las muestras de referencia o patrones (P0) obtuvieron un valor promedio de 11.42 MPa, que cumple con las especificaciones del reglamento de construcciones y de la normatividad relativa. Así mismo, se concluye que la adición de EPS resulta en un impacto positivo en las propiedades mecánicas, pues la adición de 10, 20 y 30 % en volumen en sustitución de la arena incrementaron en aproximadamente 20, 40 y 60 % a la resistencia a compresión simple, aunado a que el módulo de ruptura también es influenciado positivamente, aunque no en el mismo grado que la resistencia a compresión simple.

Referencias

Arnal L (2007). *Reglamento de construcciones para el distrito federal*. México: Trillas.

ASTM (2006). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates* (ASTM C136-06). Obtenido de <https://www.astm.org/c0136-06.html>.

ASTM (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate* (ASTM C127-15). Obtenido de <https://www.astm.org/c0127-15.html>.

ASTM (2016). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)* (ASTM C293/C293M-16). Obtenido de https://www.astm.org/c0293_c0293m-16.html.

ASTM (2018). *Standard Specification for Concrete Aggregates* (ASTM C33/C33M-18). Obtenido de https://www.astm.org/c0330_c0330m-14.html.

ASTM (2019). *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying* (ASTM C566-19). Obtenido de <https://www.astm.org/c0566-19.html>.

ASTM (2021). *Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle* (ASTM C191-21). Obtenido de <https://www.astm.org/c0191-21.html>.

ASTM (2022). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. (ASTM

- C128-22). Obtenido de <https://www.astm.org/c0128-22.html>.
- ASTM (2023). *Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste* (ASTM C187-23). Obtenido de <https://www.astm.org/c0187-23.html>.
- ASTM (2023). *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*. (ASTM C29/C29M-23). Obtenido de https://www.astm.org/c0029_c0029m-23.html.
- ASTM (2023). *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement* (ASTM C188-17(2023)). Obtenido de <https://www.astm.org/c0188-17r23.html>.
- Chavez Valencia LE (2023). Propuesta de gestión estratégica para la empresa Materiales de Construcción Zoquite. *Management Review* 8(1):33-52. doi:10.18583/umr.v8i1.218.
- Cook CR (1983). *FIP manual of lightweight aggregate concrete*. Scotland: Surrey University Press. doi:[https://doi.org/10.1016/0262-5075\(83\)90076-3](https://doi.org/10.1016/0262-5075(83)90076-3).
- Irfanullah, Gul A, Khan K, Khan IU, ElDin HMS, Azab M, Shahzada K (2024). Improving the lateral load resistance capacity of cellular lightweight concrete (CLC) block masonry walls through ferrocement overlay. *Applications in Engineering Science* 18:100180. doi:<https://doi.org/10.1016/j.applsc.2024.100180>.
- León MP (2010). Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. *Revista ingeniería de construcción* 25(2):215-240. doi:10.4067/S071850732010000200003.
- Luna-Altamirano KA, Zamora-Zamora EG, Calle-Masache OR, Lituma-Yascaribay MA (2021). Modelo de competitividad a través de la calidad e innovación como factores de rentabilidad empresarial. *Domino de las ciencias* 7(3):990-1005. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i3.2035>.
- Marshalls (17 de 07 de 2024). Brick Technical Bulletin: characteristics flexural strength (F_{lx}) flexural bond strength of concrete Masonry Bricks. *Marshalls Bricks and Masonry*. Obtenido de Brick Technical Bulletin: <https://media.marshalls.co.uk/image/upload/v1612168706/Characteristic-Flexural-Strength-BTB16.pdf>.
- Maurello J, Mondragón K, Romero C (2020). Principales tipos de contracción, efectos sobre el concreto y sus métodos de mitigación (Apuntes). *Escuela Colombiana de Ingeniería*. pp 50. Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1374/Maurello%20Porras%2C%20Juan%20Felipe-2020%20.pdf?sequence=6&isAllowed=y>.
- Muciño A, Santa Ana P (2017). *Dosificación de cementos con agregado finos*. CDMX: UNAM. Obtenido de https://leias.fa.unam.mx/wpcontent/uploads/2018/05/180515_Practica7_W_LMSE.pdf.
- Obando-Angulo VM (2023) Valor del peso específico del cemento para diseño de concretos. *Revista Tecnología en Marcha* 36(4):59-67. doi:10.18845/tm.v36i4.6311.
- ONNCCCE (24 de 06 de 2024). *Catálogo de Normas*. Obtenido de <https://onnccce.org.mx/servicios/normalizacion/nuevas-normas-mexicanas?view=category>.
- RashedulKabir M (2017). *Engineering Materials Lab*. Bangladesh: Ahsanullah University of Science and Technology. Obtenido de http://www1.aust.edu/civil/lab_manual/ce_202.pdf.
- Solís-Carcaño RG, Alcocer-Fraga MA (2019). Durabilidad del concreto con agregados de alta absorción. *Ingeniería Investigación y Tecnología* 20(04):1-13. <https://doi.org/10.22201/ifi.25940732e.2019.20n4.039>.
- Toirac J (2012). Caracterización granulométrica de las plantas productoras de arena en la República Dominicana, su impacto en la calidad y costo del hormigón. *Ciencia y Sociedad XXXVII(3):293-334*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/870/87024622003.pdf>.
- Vargas G, Urzúa D, Gutiérrez H (2006). Influencia de la mezcla y del curado en la calidad del tabicón elaborado en la zona metropolitana de Guadalajara. *Ingeniería* 10(1):25-38. Obtenido de <https://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen10/influencia.pdf>.
- Vijayalakshmi R (2021). Investigation on the Mechanical Property and Crack Arresting Mechanism of Natural Jute Fiber used as Reinforcement for Lightweight Concrete Masonry Prism. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1126(1):012064. doi:10.1088/1757-899X/1126/1/012064.