



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MAZATLÁN  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

TESIS DE INVESTIGACIÓN

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL TABICÓN  
LIGERO DE JAL UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES DE  
LA CIUDAD DE MAZATLÁN**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA  
CIVIL PRESENTA

OSUNA RENDÓN JORGE LUIS  
VILLANUEVA GARCÍA KEVIN ALEJANDRO

**DIRECTORES DE TESIS**

DRA. ROSA EDILMA GARZÓN GONZÁLEZ  
DRA. KARLA KARINA ROMERO VALDEZ

MAZATLÁN, SINALOA, ENERO DE 2023



## **AGRADECIMIENTO**

*Primeramente, agradezco a mis padres Alma Delia Rendon Valdez y Jorge Luis Osuna Lizárraga, porque desde muy pequeño me enseñaron el significado de perseverar y luchar por nuestros sueños, a mi hermano Omar Osuna, porque fue mi primer compañero de vida y quien me enseñó desde el momento que nació lo esencial que es un equipo.*

*A mi tía Rocío Lizárraga y abuela Enedina Lizárraga por ser mis segundas madres y apoyarme en todo momento, por impulsarme a ser una mejor persona, así como a mi pareja Amairany Herrera por acompañarme e impulsarme a seguir adelante juntos.*

*Le debo este logro a mi amada universidad, la casa que me ha formado a nivel intelectual y humanístico, quien me formó como un hombre responsable y honesto. Así mismo estoy en deuda con todos los docentes que desde su sentido humano me cultivaron el gusto por aprender.*

*Le agradezco especialmente a la Dra. Karla Karina Romero Valdez y a la Dra. Rosa Edilma Garzón González quienes más allá de ser mis asesoras en este proyecto, han sido mis asesoras desde que comencé a cursar en la institución. Sin ellas este sueño no habría sido posible. Este logro más que mío es de todos aquellos que lo hicieron posible y jamás me alcanzarán las palabras para agradecer, por tanto.*

**Jorge Luis Osuna Rendón**

*El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.*

*Así mismo, agradezco infinitamente a mi madre Lidia García y a mi padre José Villanueva que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.*

*Así mismo agradezco, infinitamente a mis hermanos, Nadia Villanueva y Joan Villanueva y mi cuñado Rafael Páez, que con sus palabras me hacían sentir orgullosos de los que soy y de lo que puedo enseñar y a mi pareja Fernanda Ibarra por el apoyo y motivación que medio cuando más lo necesitaba.*

*Le debo este logro a mi amada universidad, la casa que me ha formado a nivel intelectual y humanístico, quien me formó como un hombre responsable y honesto. Así mismo estoy en deuda con todos los docentes que desde su sentido humano me cultivaron el gusto por aprender.*

*De igual forma, agradezco a mis directoras de tesis Karla Karina Romero Valdez y Rosa Edilma Garzón González, gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo. A los profesores que me han visto crecer como persona, y gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme dichoso y contento.*

**Kevin Alejandro Villanueva García**

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I. CONSTRUCCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO .....	3
1.1 Planteamiento y descripción del problema.....	3
1.2 Justificación.....	7
1.3 Objetivos .....	8
1.3.1 Objetivo general.....	8
1.3.2. Objetivos específicos .....	8
1.4 Hipótesis .....	9
CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO Y NORMATIVO .....	10
2.1 Generalidades.....	10
2.2 Muros en edificaciones.....	10
2.3 Mampostería como proceso constructivo en muros.....	11
2.4 El concreto ligero en los elementos de mampostería.....	14
2.4.1 El Tabicón como elemento en la constitución de muros .....	17
2.4.1.1 Materiales de fabricación, forma y dimensiones del tabicón .....	18
2.4.1.2 Determinación de la absorción inicial y total de las piezas de tabicón ..	21
2.5 Mampostería estructural y no estructural .....	24

2.5.1 Ensayos para determinar la resistencia a la compresión .....	28
2.5.2 Cabeceo de los especímenes de ensayo. ....	29
2.5.3 Ensayes de pilas construidas con las piezas y morteros que se emplearán en la obra .....	32
2.5.4 A partir de la resistencia de diseño de las piezas y el mortero. ....	34
2.5.5 Resistencia de la mampostería para edificaciones Tipo I. ....	34
2.6 Morteros para la construcción de mampostería .....	35
2.6.1 Proporción en términos de volumen recomendado para mortero dosificado en obra.....	35
2.6.2 Resistencia a la compresión del mortero para fabricación de pilas.....	36
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	38
3.1 El enfoque cuantitativo de la investigación.....	38
3.2 Técnicas de investigación .....	38
3.2.1 Técnica de investigación documental .....	39
3.2.2 Observación .....	39
3.2.3 Selección y extracción de la muestra .....	40
3.2.4 Experimentación .....	40
3.2.5 Tratamiento y procesamiento de datos .....	41
3.2.6 Elaboración del informe final .....	42
CAPÍTULO IV. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	43

4.1	Generalidades.....	43
4.2	Observación.....	43
4.3	Técnica de investigación documental.....	47
4.4	Técnicas de muestreo.....	48
4.5	Propiedades físicas del tabicón ligero.....	48
4.5.1	Dimensionamiento.....	48
4.5.2	Peso volumétrico promedio del tabicón ligero.....	56
4.5.3	Propiedad de absorción.....	58
4.6	Resistencia a la compresión.....	68
4.6.1	Resistencia a la compresión en piezas individuales.....	71
4.6.2	Resistencia a la compresión en pilas.....	81
	CONCLUSIONES.....	89
	REFERENCIAS.....	99
	ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	103
	ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	105
	ÍNDICE DE TABLAS.....	107

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación denominado **Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del tabicón ligero de jal utilizado en la construcción de edificaciones de la ciudad de Mazatlán** es producto de la inquietud que nace debido a las primeras experiencias de vida en el ámbito laboral ingenieril y después de haber cursado diferentes asignaturas relacionadas con los procesos constructivos, hechos considerado como punto de partida para atender la temática relacionada con los tabiques de jalcreto para la construcción de viviendas en la ciudad de Mazatlán.

Este documento está compuesto de diversos apartados a través de los cuales se pretende adentrar al lector a la interpretación del trabajo investigativo.

El Capítulo I integra la construcción del objeto de estudio mediante el cual se presenta el planteamiento y descripción del problema, la justificación pertinente para esta labor de investigación, así como los objetivos a cumplirse a través del diseño de la misma.

La segunda parte de este documento corresponde al Capítulo II. Fundamento teórico y Normativo. En él, se acciona el encadenamiento de las diferentes teorías y doctrinas de diversos autores con relación a la mampostería.

El Capítulo III aborda la metodología de la investigación implementada bajo el enfoque cuantitativo, indicando las técnicas y procedimientos que se ejecutarán para llevar a cabo este proyecto.



El Capítulo IV. Presentación e interpretación de resultados, pone de manifiesto las evidencias de cada una de las fases del proceso metodológico, originando la obtención de información viable para la interpretación de la misma, tendiente a facilitar el conocimiento de las características físicas y mecánicas del tabicón ligero como elemento estructural.

Por último, este informe expone las conclusiones producto de las interrogantes implícitas que marcaron la pauta para el desarrollo de la investigación, así como una serie de recomendaciones que colaboran a la mejora del proceso de análisis de la información.

## CAPÍTULO I. CONSTRUCCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

### 1.1 Planteamiento y descripción del problema

Los muros de mampostería en el diseño de viviendas son un proceso culturalmente aceptable por el sector constructivo en la Ciudad de Mazatlán.

Actualmente, se aprovechan los ladrillos de arcilla y los bloques de concreto de gran resistencia, unidos mediante morteros de cemento. El muro así ensamblado se considera un elemento monolítico, siempre y cuando las uniones de las juntas puedan garantizar la transmisión de esfuerzos entre las piezas individuales, sin fallas o deformaciones considerables (Jaramillo Jiménez, 2004, pág. 68).

En la región de Mazatlán, la utilización del tabique artesanal de arcilla para la construcción de muros ha predominado durante años, sin embargo, factores como una oferta menor a la demanda del producto que se enfatiza en periodo de lluvia, la presencia de salitre que afecta las estructuras, la tendencia a la disminución de cargas en las estructuras, los requerimientos de minimización de tiempo del periodo de ejecución de obras, entre otros, han influido para que otros elementos de mampostería asociado a nuevas tecnologías se incorporen en el sector de la construcción.

Hoy en día, las piezas utilizadas para la fabricación muros de mampostería en las edificaciones en la ciudad de Mazatlán son diversas, desde el empleo del ladrillo de arcilla antes mencionado, el tabique de concreto sólido, los bloques huecos de

concreto, los bloques de concreto celular autoclaveados, así como los tabiques de jalcreto, este último el objeto de estudio para la investigación.

Paulatinamente, en la última década el tabique macizo de jal se ha incorporado en la construcción de viviendas unifamiliares y edificaciones verticales de poca altura.



Ilustración 1. Vivienda unifamiliar construida con tabiques de jalcreto.

La afinidad en términos de mano de obra por parte de los trabajadores de la construcción con productos de mampostería similares ha sido un aspecto favorable para su aceptación en la construcción.

Cabe destacar que los muros construidos por mampostería de jalcreto presentan ventajas con respecto al fenómeno de ensalitramiento que tiene efectos negativos en la mayoría de los materiales de construcción de una edificación. Asimismo, en términos de costo y ligereza, el tabique de jalcreto destaca en comparación de los tabiques sólidos de concreto.

Sí bien existen en el mercado productos de mampostería como los bloques de concreto celular autoclaveado como un elemento más ligero, con aislamiento térmico y propiedades favorables de climatización, estos requieren de especialización en la mano de obra y el uso de morteros adhesivos especiales, que resultan más costosos que el uso de tabiques de jalcreto en edificaciones de poca altura.



Ilustración 2. Construcción de viviendas multifamiliares de cinco niveles con muros de jalcreto.

Para la elaboración de los tabicones ligeros de jal se utilizan los siguientes materiales en diferentes proporciones que varían en función de la zona de producción: cemento Pórtland, arena, agua y la roca pumítica conocida como jal.

El jal es material de origen volcánico que se forma durante erupciones explosivas debido a la solidificación de lava, que durante el escape de los gases da lugar a la formación de las características de este mineral; baja densidad y alta porosidad.

La mezcla de estos materiales produce un concreto de bajo peso volumétrico, propiedad física favorable debido a que permite reducir las cargas sobre una estructura, lo que lo hace recomendable para la fabricación de viguetas, bovedillas y bloques o tabiques.



Ilustración 3. Tabique de jalcreto.

Es importante destacar, que el jal no es un material propio de la región de Mazatlán. Este producto es trasladado desde el estado de Nayarit y Jalisco, hecho que influye en el precio del material, sin embargo, el precio del tabique de jalcreto resulta competitivo con respecto a otros materiales de construcción de muros.

Los tabiques ligeros de jalcreto se diferencian con respecto a otros elementos debido a su peso, haciéndolo más eficiente en la colocación en muros, asimismo, el

empleo de estas piezas de mampostería coadyuva a mejorar las condiciones térmicas y acústicas en la edificación. Es importante destacar que existen elementos resistentes para uso estructural y elementos ligeros para uso no estructural, que tienen el propósito de dividir y cerrar espacios.

## **1.2 Justificación**

El incremento registrado en el sector inmobiliario en los últimos años en la ciudad de Mazatlán ha influido notablemente en la demanda de materiales aplicables a las edificaciones, favoreciendo a la incursión de los tabiques ligeros de jal en la conformación de muros, así como a la transición hacia procesos constructivos más eficientes.

Como se hace mención, para la fabricación de las piezas de estos elementos de mampostería, la proporción de ingredientes incorporados a la mezcla es variable entre lotes y entre fabricantes, es decir, la apreciación y experiencia de los operarios impacta el resultado, existiendo diferenciaciones entre las propiedades del producto final.

Debido a la notable aceptación del tabicón de jalcreto como elemento de mampostería en la edificación, resulta conveniente estudiar las propiedades que permitan garantizar su calidad y, consecuentemente, en su comportamiento como parte integral de los muros de mampostería influyendo significativamente en la resistencia del muro del que forman parte.

Este escenario fue considerado como el punto de partida del presente proyecto de investigación que permitió efectuar un análisis comparativo de las características físicas (masa, volumen, densidad absoluta y absorción de humedad) y mecánicas (resistencia a la compresión) de las unidades en relación a la normatividad vigente en términos de mampostería.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- Realizar un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los tabiques ligeros de jalcreto como elementos de mampostería aplicables en edificaciones de la ciudad de Mazatlán elaborados en la región circundante con respecto con la normatividad mexicana vigente.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Conocer el proceso de elaboración del tabique de jalcreto en la región.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los elementos de mampostería de jalcreto.
- Elaborar el análisis comparativo de las propiedades del elemento con base en la norma mexicana en términos de mampostería.

#### **1.4 Hipótesis**

Las propiedades físicas y mecánicas del tabicón de jal en estudio mantienen una estrecha relación con las características de componentes de la mezcla empleados en la fabricación de las piezas y el control de calidad del proceso de manufactura.

Las piezas de tabicones ligeros de jalcreto fabricadas para la constitución de muros de mampostería deben ser validadas por la normatividad mexicana vigente.



## **CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO Y NORMATIVO**

### **2.1 Generalidades**

La edificación es un espacio diseñado y construido para proporcionar resguardo y otorgar confort al ser humano en el desarrollo de las diversas actividades.

Para lograr este propósito es necesario el engranaje de diversos elementos que conforman y estabilicen tal es el caso de la cimentación, vigas, columnas, losas, muros, entre otros. Es precisamente este último elemento, el parteaguas para la presente investigación se enfatiza en la mampostería para la constitución de muros como un elemento estructural y no estructural.

### **2.2 Muros en edificaciones**

El muro (Márquez Villar, 2013) es un elemento constructivo que puede desempeñar diversas funciones dentro del conjunto arquitectónico. Se define como muro de carga aquel que forma parte de la estructura de un edificio, como muro de contención aquel realizado con el fin de soportar cargas horizontales del terreno, como muro de pantalla el que trabaja como muro de carga y contención, como muro de seguridad el que divide espacios con el fin de restringir los accesos a ellos, como muralla la que tiene un fin defensivo y como muro Trombe aquel cuya función es almacenar calor en edificaciones.

A su vez, los muros pueden tipificarse como muros estructurales y no estructurales (De Solminihac & Thenoux, 2018).

- Muros estructurales. Cuando se diseñan y construyen como elementos estructurales, capaces de transmitir los esfuerzos verticales y de resistir los esfuerzos horizontales de corte.
- Muros no estructurales. Son aquellos que dividen ambientes al interior o exterior de un edificio, deben tener propiedades de aislamiento tanto térmica como acústica fundamentalmente, pero no es necesario que cuenten con propiedades de resistencia estructural.

### **2.3 Mampostería como proceso constructivo en muros**

La mampostería corresponde a la elevación de los muros en la edificación. Es el proceso a través del cual se colocan los ladrillos en horizontal y se entrelazan en vertical hasta llevarlos a la altura deseada (Olmedo Montoya, 2016).

La mampostería es un antiguo sistema constructivo presente en las primeras obras construidas por la humanidad, constituidas principalmente por grandes bloques de piedra que se ordenaban en elementos de gran basamento que aseguraban la estabilidad y resistencia de la estructura.

Con respecto a los muros de mampostería, estos pueden ser clasificados de la siguiente manera (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014):

- Mampostería reforzada. Es la estructura conformada por piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero. El mortero de relleno puede

colocarse en todas las celdas verticales o solamente en aquellas donde está ubicado el refuerzo.

- Mampostería parcialmente reforzada. Es la estructura conformada por piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero.
- Mampostería simple (No reforzada). Es la estructura conformada por piezas de mampostería unidas por medio de mortero y que no cumplen las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para la mampostería parcialmente reforzada.

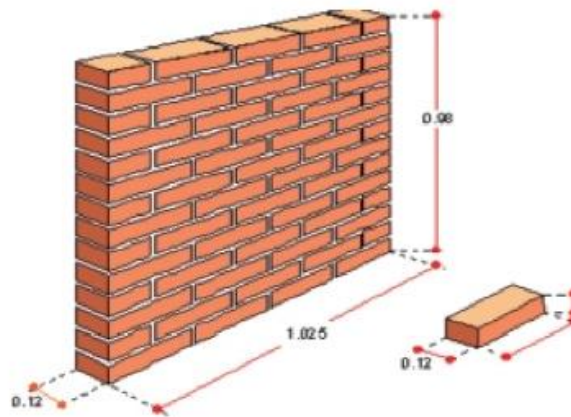


Ilustración 4. Mampostería no reforzada (Mena Serna, García Ubaque, & Valbuena Porras, 2019).

- Mampostería de Muros Confinados. Es la estructura conformada por piezas de mampostería unidas por medio de mortero, reforzada de manera principal con elementos de concreto reforzado construidos alrededor del muro o piezas de mampostería especiales donde se vacíe el hormigón de relleno logrando un confinamiento a la mampostería. Cuando se empleen estas

piezas especiales, éstas pueden ser consideradas como parte del recubrimiento de los elementos de concreto reforzado.

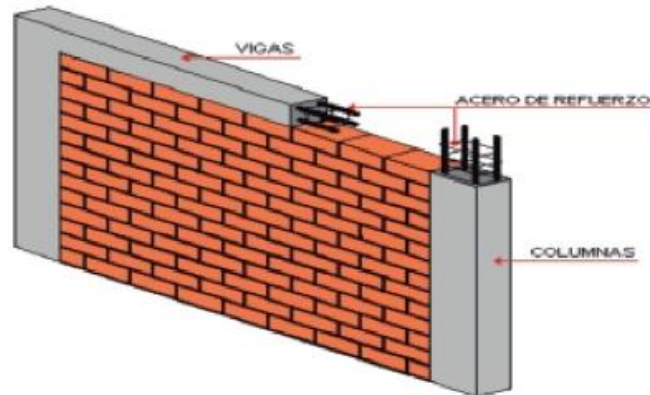


Ilustración 5. Mampostería de muros confinados (Mena Serna, García Ubaque, & Valbuena Porras, 2019).

En la actualidad, la mampostería es un sistema de construcción basado en la técnica de superposición de materiales como ladrillos, bloques de concreto, rocas, y otros elementos utilizados en la constitución de cimentaciones, muros de carga o divisorios, que se van adhiriendo unos con otros por lo general por medio de una mezcla cementante con el fin de tener una estructura sólida.

Acorde con la Norma Técnicas Complementarias de Mampostería, una estructura de mampostería se clasificará como estructura Tipo I si cumple simultáneamente con los requisitos siguientes:

- a) tiene una superficie construida no mayor que 250 m<sup>2</sup>;
- b) tiene hasta dos niveles, incluyendo niveles de estacionamiento;

- c) la estructura es de los siguientes géneros: habitación unifamiliar o plurifamiliar, servicios, industria, infraestructura o agrícola, pecuario y forestal;
- d) si es de género habitacional plurifamiliar, no deberá haber más de diez viviendas en el predio, incluyendo a las existentes; y
- e) las estructuras del grupo A, de acuerdo con la clasificación de las estructuras de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, no podrán ser del Tipo I.

Una estructura que no cumpla los requisitos para ser Tipo I se clasificará como estructura Tipo II.

#### **2.4 El concreto ligero en los elementos de mampostería**

En las últimas décadas, el concreto ligero se ha colocado nuevamente en el escenario tomado relevancia como material aplicable en la industria de la construcción. Sin embargo, su aplicación no es actual, se remonta a la antigüedad.

Los romanos utilizaron una especie de cemento, llamada puzolana (proveniente del nombre del pueblo Puzzuoli), antes del nacimiento de Cristo. Encontraron grandes depósitos de ceniza volcánica arenosa cerca del Monte Vesubio y en otros lugares en Italia. Cuando mezclaron este material con cal viva y agua, además de arena y grava, al dejar endurecer la mezcla, se produjo una sustancia rocosa que utilizaron como material de construcción. Un ejemplo es el Panteón (un edificio dedicado a

todos los dioses) que se encuentra en Roma y se terminó en el año 126 a.C (McCormac & Brown, 2017).



Ilustración 6. Panteón Romano, obra arquitectónica que utilizó en su estructura ceniza volcánica del Monte Vesubio. *Fuente: World History Enciclopedia.*

Este contexto destaca el empleo de la roca ígnea, producto del enfriamiento de lava sobre la superficie terrestre o magma, usada por su manejabilidad, resistencia al desgaste o ligereza, tal es el caso de la pumita.

La piedra pómez o pumita es una roca con alta porosidad, ligera (densidades entre 0.4 a 0.9 g/cm<sup>3</sup>), friable, eficaz aislante térmico y con propiedades puzolánicas. Por ser considerada una puzolana natural de bajo coste, la piedra pómez es un ingrediente importante en la elaboración del cemento Portland (Servicio Geológico Mexicano, 2015).

La pumita o piedra pómez tiene una composición casi idéntica a la de la Obsidiana, predominando la Sílice y Alumina. Esta con efecto, es una piedra generalmente de color blanco mate o de otros siempre claros; de textura porosa y celular, tal que le comunica ligereza tal, que sobrenada en el agua (Vilanova y Piera, 1860).

Entre las categorías de los usos finales de la pumita son la mezcla de concreto y agregados, así como la elaboración de bloques o tabiques para la construcción.

El tabicón es un componente de forma prismática fabricado por moldeo de concreto y de otros materiales siendo siempre macizo, puede ser para uso estructural y para uso no estructural. Es un producto compacto de forma rectangular, tridimensional de color natural grisáceo, de superficie rugosa, con diversos tipos de acabados. Comercialmente el tabicón sólido de concreto puede ser de tipo pesado o ligero cuya diferencia es el peso y los materiales utilizados para su fabricación, es decir, el peso de un tabicón ligero es aproximadamente del 30% menor que el del tabicón pesado.

Los tabiques jalcreto o tabicón ligero a los que alude esta tesis está constituido por concreto de bajo peso volumétrico compuesto de jal (roca pumítica conocida localmente), cemento, arena y agua.

El jal utilizado en la elaboración de las mezclas puede definirse como un producto piroclástico, de alta porosidad y bajo peso específico debido a que su estructura posee un gran número de cavidades de forma tubular y serpenteante (Oliver, 1998).

Este material ofrece beneficios al ser utilizado como agregado para la fabricación de tabiques o bloques proporcionando particularidades de aislamiento acústico y térmico además de ligereza, disminuyendo la carga normal que los cimientos soportan siendo idónea para grandes edificaciones. Por tanto, los tabiques de jalcreto o tabicón ligero, son una alternativa desarrollada para reducir cargas sobre una estructura, mediante un material más liviano en combinación con cemento.

#### **2.4.1 El Tabicón como elemento en la constitución de muros**

De acuerdo a NMX-C-037-ONNCCE-2013 se define como bloques, ladrillos o tabiques y tabicones a los materiales de construcción de forma prismática rectangular, sólidos o huecos, fabricados con cemento portland y agregados apropiados, tales como arena, grava, piedra triturada, piedra pómez, escoria volcánica o tezontle, arcillas, pizarras expandidas y otros que en algunas zonas del país se conoce al ladrillo como tabique o tabicón.

Por tanto, el tabique de jalcreto en estudio corresponde a una clasificación de tabicón con característica de ligereza producto de la mezcla de jal, cemento, arena y agua.

En correspondencia a lo anterior, la norma NMX-C-038-ONNCCE-2013 define tabicón como un componente macizo de uso estructural, de forma prismática fabricado de concreto u otros materiales.



### 2.4.1.1 Materiales de fabricación, forma y dimensiones del tabicón

El proceso de evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del tabicón de jal delimitadas en este proyecto de investigación, requiere que el elemento se sujete al cumplimiento de la vigente normatividad mexicana que rige a cada aspecto de análisis del objeto de estudio.

Las dimensiones o medidas del tabicón son sustentadas por los parámetros definidos en la Norma Mexicana NMX-C-038- ONNCCE – 2013. Sobre esta base normativa, los elementos de mampostería son clasificados como: bloques, tabique (ladrillo) y tabicón. Cabe destacar que el objeto de esta labor investigativa enfatiza en el análisis del tabicón cuyas características de forma y constitución son expresadas en la tabulación siguiente:

Tipo de pieza	Materiales	Forma
Tabicón	Grava - Cemento Arena - Cemento Tepojal – Cemento Otros	Rectangular

Tabla 1. Clasificación del tabicón con referencia a la forma y constitución. *Fuente: NMX-C-038-ONNCCE-2013.*

En lo referente a las dimensiones nominales para las piezas de tabicón, el fundamento normativo dictamina que las medidas mínimas: 6 cm de alto, 10 cm de ancho y 24 cm de largo con una tolerancia de  $\pm 3$  mm de altura y  $\pm 2$  mm en lo largo y ancho.

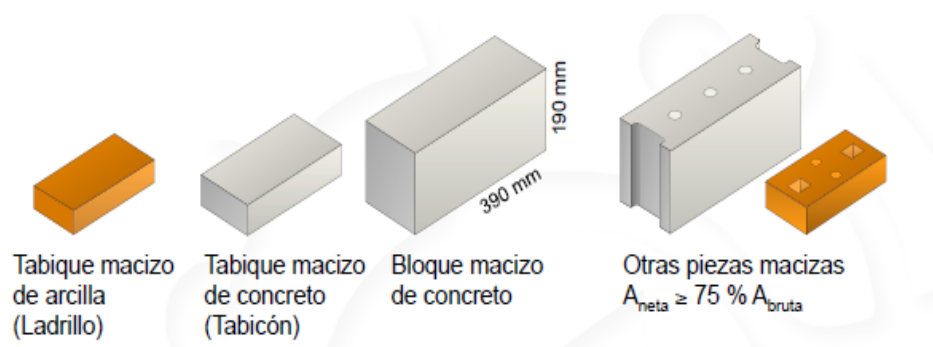


Ilustración 7. Ejemplo de piezas macizas. Fuente: NMX-C-038-ONNCCE-2013.

La evaluación de las dimensiones de los tabicones de jal se apega a la norma citada, especificando que será a través de una regla o vernier, los instrumentos válidos para la determinación de las medidas de las piezas de mampostería.

En este sentido, se establece que puede hacerse uso de cualquier regla graduada en mm o de preferencia vernier graduado en mm y debidamente calibrados, siempre y cuando se pueda leer con aproximación de 1 mm o menos, se debe utilizar los positivos que se deseen para garantizar que se abrace la pieza en dirección perpendicular a la de la regla como mínimo un 25% de la longitud de la pared a medir.

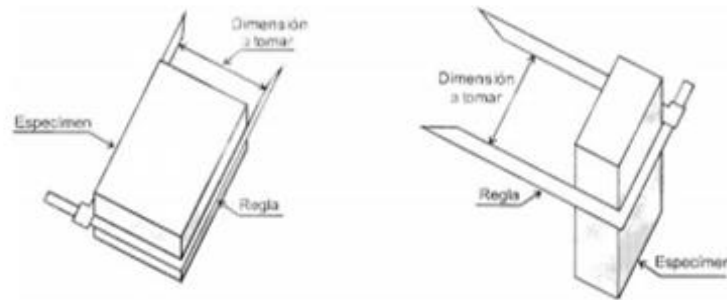


Ilustración 8. Evaluación de las dimensiones de los elementos de mampostería en muros. Fuente: NMX-C-038-ONNCCE-2013.

Asimismo, es necesario cuantificar la tolerancia de forma, la desviación máxima de la arista de las piezas respecto a una línea recta perpendicular al lado contiguo no debe ser mayor que 3%. Dicha desviación ( $d$ ) se calcula como el cociente de la distancia que se desvía la arista medida perpendicularmente a la línea de referencia ( $e$ ) entre la distancia hasta el punto medido.

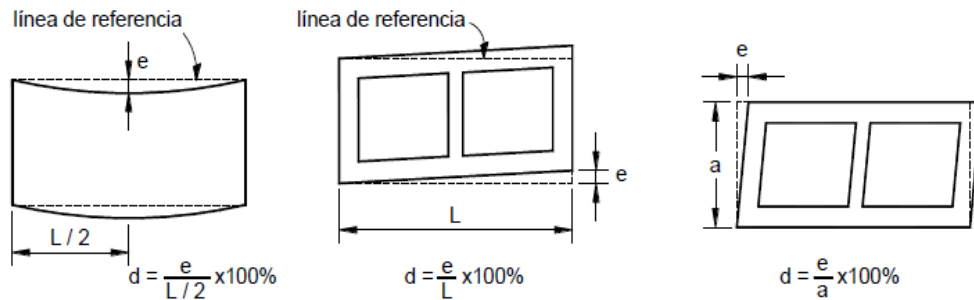


Ilustración 9. Desviación de las aristas de la pieza de la mampostería. Fuente: NMX-C-038-ONNCCE-2013.

#### 2.4.1.2 Determinación de la absorción inicial y total de las piezas de tabicón

La absorción de agua en los elementos de mampostería es un parámetro indicador de la influencia del fluido con respecto a la contracción del elemento. La importancia del porcentaje de absorción radica en la relación de la adherencia entre mortero y el elemento de mampostería.

La Norma Mexicana NMX-C-037-ONNCCE-2013 hace referencia a los métodos de ensayo en las pruebas de absorción en piezas de mampostería. Esta norma abarca el estudio a bloques, tabiques o ladrillos y tabicones de concreto, cerámicos o de cualquier otro material para la construcción, bajo las condiciones que se especifican.

Bajo este marco normativo se define como **absorción inicial** a la cantidad de agua que absorbe un espécimen por capilaridad en una de sus caras bajo determinadas condiciones durante 10 min de inmersión en agua donde ésta lo cubra 5 mm manteniendo en nivel del agua constante en el recipiente y se expresa por un coeficiente de absorción. Adicionalmente se conceptualiza como **absorción volumétrica**, la cantidad de agua que corresponde a la geometría de la pieza y que incluye sus poros interiores, pero excluye el de las celdas.

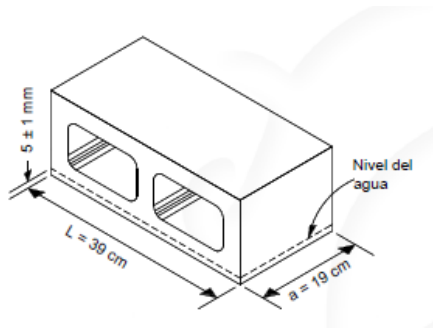


Ilustración 10. Ejemplificación de la prueba de absorción.

La capacidad de absorción de agua está especificada por el coeficiente de absorción de agua, entendida como la relación de cantidad de agua absorbida, y una propiedad decisiva en el campo de la construcción sobre todo incidente en el revestimiento.

Para determinar el coeficiente de absorción se emplea la siguiente ecuación:

$$Cb = \frac{100M}{S\sqrt{t}} = \frac{100(M_1 - M_s)}{S\sqrt{t}}$$

Ecuación 1. Coeficiente de absorción inicial. *Fuente: Norma Mexicana 037-ONNCCE – 2013.*

Donde:

Cb = Coeficiente de absorción inicial en g / (cm<sup>2</sup> x min<sup>0.5</sup>)

M = Masa del agua absorbida por el bloque durante el en g (M=M<sub>1</sub>-M<sub>s</sub>)

M<sub>1</sub> = Masa húmeda en g

M<sub>s</sub> = Masa seca en g

S = Superficie de la cara sumergida en cm<sup>2</sup>

t = Tiempo de inmersión en min (t=10 min)

Para determinar la absorción máxima de agua en términos porcentuales durante 24 horas, se requiere de manera inicial secar el espécimen de ensayo en el horno a temperatura constante durante 24 horas. Transcurrido el tiempo se determina el peso seco ( $M_s$ ) con apoyo de la báscula. Posteriormente, el elemento debe ser sumergido en agua a una temperatura de 17°C y 23°C por un periodo de 24 horas. Una vez cumplido con el plazo establecido, la muestra de ensayo es secada eliminando el exceso de agua con una franela, para dar paso a la medición de su masa saturada a través de una báscula. Finalmente, se realizan los cálculos correspondientes en atención a la siguiente ecuación y realizar la comparativa con la normatividad referente al tabicón como elemento estructural y no estructural.

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100$$

Ecuación 2. Porcentaje de absorción de agua en 24 horas.

Donde:

A= Absorción en porcentaje de 24 horas

$M_{sss}$  = Masa saturada y superficialmente seca en g

$M_s$  = Masa seca del espécimen g

En correspondencia a la propiedad de la absorción, la siguiente tabulación muestra los valores máximos de absorción inicial para muros expuestos al exterior y muros interiores en ( $\text{g cm}^2 / \text{min}^{1/2}$ ), así como el porcentaje de absorción total de agua en 24 horas.

Tipo de material	Absorción inicial para muros expuestos al exterior g / (cm <sup>2</sup> ×min <sup>½</sup> )	Absorción inicial para muros interiores o con recubrimiento g / (cm <sup>2</sup> ×min <sup>½</sup> )	Absorción total en 24 h en porcentaje
Concreto	5	7.5	12
Arcilla artesanal	-	-	23
Arcilla extruida o prensada	5	7.5	19

Tabla 2. Absorción inicial y total por elemento de mampostería. *Fuente: Norma NMX-C-404.*

## 2.5 Mampostería estructural y no estructural

Acorde con Cuellar, la mampostería estructural puede definirse como un sistema de funcionamiento estructural monolítico debido a que se presenta como la unión de dos o más elementos con características diferentes; de la misma manera las juntas de mortero están en condiciones de transmitir de elemento a elemento los esfuerzos generados bajo cualquier sollicitación de carga. Así cada elemento se encuentra en condiciones de resistir un suceso telúrico, sin fallar o deformarse considerablemente (Mena Serna, García Ubaque, & Valbuena Porras, 2019).

En atención a lo anterior, la Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE 2012 rige a las piezas de mampostería usadas para fines estructurales. Mientras que, para uso no estructural, el sustento lo establece la norma NMX-C-441-ONNCCE 2013 en referencia a bloques, ladrillos, tabiques y tabicones, así como piezas para celosías; hechos en máquina o a mano, los cuales se utilizan en la construcción de muros divisorios, muros de relleno, para revestimiento interior y exterior, o cualquier otro

uso no estructural de fabricación nacional y de importación que se comercialicen en territorio nacional.

La resistencia en compresión de las piezas es el parámetro más importante del que dependen las propiedades mecánicas de los muros de mampostería. Por ello se requiere su determinación para fines de control de calidad y para deducir las otras propiedades cuando no se cuenta con determinaciones directas de las mismas. El valor de diseño de la resistencia en compresión de las piezas se determina como un valor mínimo probable tomando en cuenta la variabilidad de la propiedad en cuestión.

La resistencia media y la resistencia de diseño a compresión del tabicón deben cumplir con los valores señalados en la normatividad vigente. Este referente, especifica que, para tabicónes de uso estructural, la norma NMX-C-404-ONNCCE 2012 exterioriza que la resistencia promedio y resistencia mínima individual de las piezas deben de estar en cumplimiento a lo establecido en la siguiente tabulación:



Tipo de pieza	Configuración	Resistencia media $\overline{f_p}$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia mínima individual $f_{pMn}$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
Bloque	Macizo	15 (150)	12 (120)
	Hueco	9 (90)	7 (70)
	Multiperforado	15 (150)	12 (120)
Tabique (largo >300 mm)	Hueco	9 (90)	7 (70)
	Multiperforado	9 (90)	7 (70)
Tabique (largo <300 mm)	Macizo	11 (110)	7 (70)
	Hueco	9 (90)	7 (70)
	Multiperforado	15 (150)	12 (120)

Tabla 3. Resistencia a la compresión por piezas individuales de tabique macizo de concreto.

*Fuente: NMX-C-404-ONNCCE 2012.*

Por otro lado, las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería de la Ciudad de México 2017, especifica:

Tipo de pieza y material	$f'_p$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	$\overline{f_p}$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
Tabique macizo de arcilla artesanal	6 (60)	9 (90)
Tabique macizo o multiperforado de arcilla o de concreto	10 (100)	15 (150)
Tabique hueco de arcilla o de concreto	6 (60)	9 (90)
Bloque macizo o multiperforado de arcilla o de concreto	10 (100)	15 (150)
Bloque hueco de arcilla o de concreto	6 (60)	9 (90)

Tabla 4. Resistencia promedio y de diseño de piezas de mampostería.

Con base en los parámetros, la norma NMX-C-404-ONNCCE 2012 para los tabiques macizos de uso estructural es señalado una resistencia media de 110 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la resistencia por pieza individual es de 70 kg/cm<sup>2</sup>.

En referencia al tabique de concreto para uso no estructural, la resistencia a la compresión de la pieza individual de tabique o ladrillo debe estar en cumplimiento con la norma NMX-C-441-ONNCCE 2013 tal como se visualiza en la tabla 5.

Tipo de pieza	Configuración	Resistencia media $\overline{f_p}$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia mínima individual $f_{pMin}$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
Bloque	Macizo o hueco	3,5 (35)	2,8 (28)
Tabique extruido	Macizo o hueco	4,0 (40)	3,2 (32)
Tabique artesanal	Macizo	3,0 (30)	2,4 (24)
Celosía	Cara rectangular	2,5 (25)	2,0 (20)
	Cara no rectangular	2,5 (25)	2,0 (20)

Tabla 5. Resistencia a la compresión por piezas individuales de tabique de uso no estructural.

*Fuente: NMX-C-441-ONNCCE 2013.*

Con base en los valores de la tabulación, los tabiques macizos para uso no estructural deben cumplir una resistencia promedio de 40 kg/cm<sup>2</sup>, a su vez una resistencia mínima individual de 32 kg/cm<sup>2</sup>.

El cálculo de la resistencia a la compresión está sujeto a los resultados emitidos a través la experimentación basada en los métodos de ensayo estipulados en la norma NMX-C-036-ONNCCE-2013. Este marco normativo manifiesta que, si se opta por el muestreo, este debe considerar al menos tres muestras, con un mínimo de diez piezas proveniente de diferentes lotes de producción. Para el cálculo de la resistencia a la compresión se hace alusión a la expresión:

$$f_p = \frac{P}{A}$$

Ecuación 3. Expresión para el cálculo de la resistencia a la compresión.

donde:

P= carga (kg)

A= Área de la sección transversal (cm<sup>2</sup>)

Para determinar la resistencia de diseño a la compresión de un conjunto de piezas se utiliza la ecuación siguiente:

$$f_p^* = \frac{f_p}{1 + 2.5c_p}$$

Ecuación 4. Resistencia de diseño de piezas de mampostería.

donde:

Cp= Coeficiente de variación, que es la relación de la desviación estándar y la media, y que debe cumplir que Cp ≥ 0.1

Si no se cuenta con 30 ensayos de 3 lotes, tomar:

- Cp ≥ 0.2 Piezas de plantas mecanizadas con control de calidad
- Cp ≥ 0.3 piezas de plantas mecanizadas sin control de calidad
- Cp ≥ 0.35 Piezas de fabricación artesanal.

### **2.5.1 Ensayos para determinar la resistencia a la compresión**

Como se ha mencionado con anterioridad, el cumplimiento de los parámetros establecidos en cada normatividad referente a la resistencia, toma como base los

métodos de ensayo indicados en la Norma Mexicana NMX-C-036-ONNCCE-2013, con el objetivo de determinar la resistencia a la compresión aplicable a bloques, tabiques o ladrillos, tabicones, celosías y adoquines de fabricación nacional y de importación, que se comercialicen en territorio nacional.

En esta norma se estipula que previamente para la ejecución de las pruebas de resistencia a la compresión se requiere preparar las probetas de ensayo.

El cabeceo de los especímenes es una etapa preliminar que consiste en asegurar la planicidad entre los elementos de mampostería y la placa de la prensa, con el objetivo de realizar una aplicación uniforme de la carga sobre el área del elemento.

#### **2.5.2 Cabeceo de los especímenes de ensayo.**

Como se ha hecho mención en párrafos anteriores, se requiere la preparación de las bases de los especímenes cilíndricos para lograr el paralelismo entre las caras del elemento para su prueba. Las superficies cabeceadas de los especímenes deben de ser plana, dentro de una tolerancia de  $\pm 0.05$  mm en una longitud de 150 mm tomada en dos direcciones ortogonales.

La norma NMX-C-036-ONNCCE-2013 indica que el cabeceo puede hacerse con la utilización de azufre o mortero de azufre o bien con pasta de yeso o una mezcla de yeso o cemento. Para el desarrollo de esta fase experimental se utiliza el proceso de cabeceo por medio del empleo de azufre.

El cabeceo con azufre o mortero de azufre parte de la colocación de la placa cabeceadora en una superficie horizontal, firme, plana que se nivela en ambos sentidos. Para el cabeceo con mortero de azufre es recomendable precalentar la placa. Colocar el material de cabeceo sobre la placa y sobre éste el espécimen de ensayo, cuidando que el material de cabeceo no se salga por las uniones del cabeceador para garantizar la perpendicularidad de la superficie cabeceada con respecto al eje vertical del espécimen.

Después del cabeceo de los elementos de mampostería, los especímenes se colocan en las máquinas de ensayos con la finalidad de ejecutar las pruebas de la resistencia a la compresión.

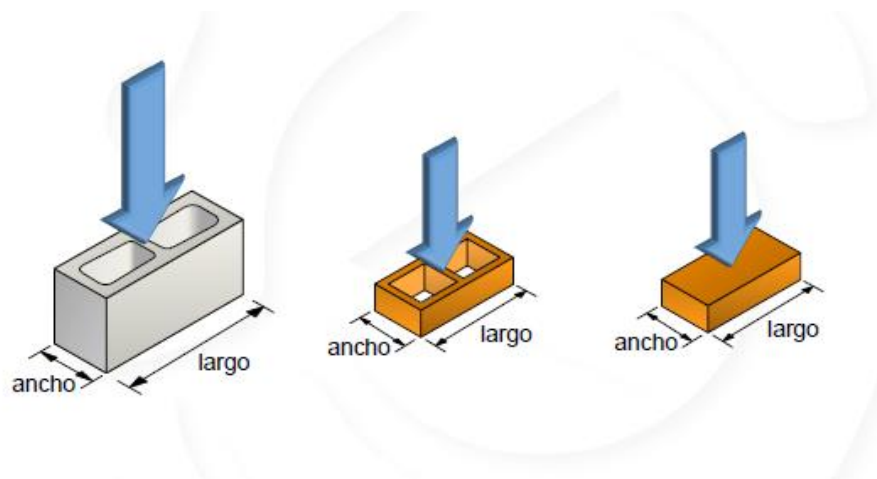


Ilustración 11. Ensayo a la compresión. NMX-C-036-ONNCCE-2013.

La máquina de ensayo puede ser de tipo a compresión o universal, con capacidad suficiente y que deba funcionar a la velocidad de aplicación de la carga especificada, sin producir impactos ni pérdida de carga. Si la máquina de ensayo tiene sólo una velocidad de carga que cumpla con lo indicado, debe estar provista de algún

dispositivo complementario que pueda ser operado mecánica o manualmente para ajustar la carga a una velocidad adecuada para su calibración (Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, 2015).

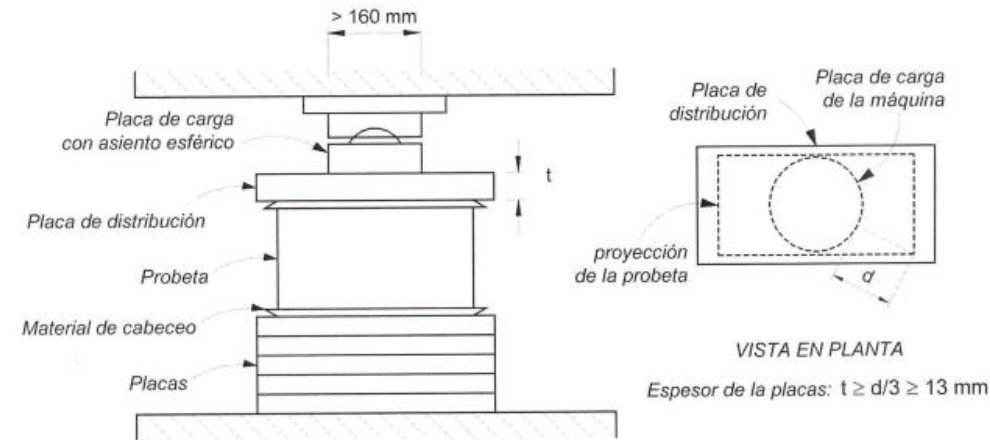


Ilustración 12. Placas de distribución de carga para ensayo a compresión. Fuente: NMX-C-036-ONNCCE-2013.

El análisis de los elementos de mampostería está regulado por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE), cuyo propósito es contribuir a la mejora de la calidad y de la competitividad de los productos, procesos, servicios y sistemas relacionados principalmente con la industria de la construcción, a través de la normalización y de la certificación. Dentro de sus atribuciones regula los tipos de ensayos para caracterizar los materiales que componen a la mampostería (pieza y mortero) y su conjunto (pilas y muretes).

La resistencia a compresión para diseño de la mampostería,  $f'm$ , sobre área bruta, se determinará con alguno de los tres procedimientos indicados en la Norma Mexicana NMX-C-464-ONNCCE-2010: ensayos de pilas construidas con las piezas y morteros que se emplearán en la obra, a partir de la resistencia de diseño de las piezas y el mortero y resistencia de la mampostería para edificaciones Tipo I. El valor de la resistencia en esta norma está referido a 28 días.

### 2.5.3 Ensayes de pilas construidas con las piezas y morteros que se emplearán en la obra

Las pilas son probetas que están formadas por lo menos con tres piezas sobrepuestas. La relación altura a espesor de la pila estará comprendida entre dos y cinco; las pilas se ensayarán a la edad de 28 días. En la elaboración, curado, transporte, almacenamiento, cabeceado y procedimiento de ensaye de los especímenes se seguirá la Norma Mexicana correspondiente.

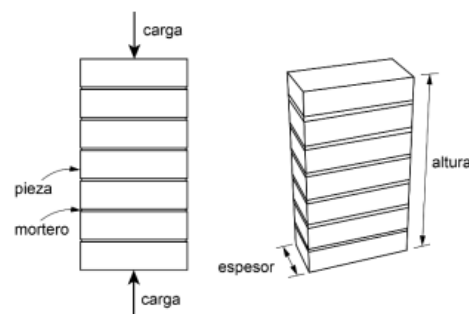


Ilustración 13. Pila para prueba en compresión. Fuente: NMX-C-464-ONNCCE 2010.

Asimismo, la normatividad señala que para la determinación de la resistencia a la compresión es necesario realizar la experimentación con un mínimo de nueve pilas

en total, construidas con piezas provenientes de por lo menos tres lotes diferentes del mismo producto. El esfuerzo medio obtenido, calculado sobre el área bruta, se corregirá multiplicándolo por los factores de la siguiente tabla:

Relación de la altura espesor de la pila	2	3	4	5
Factor correctivo	0.75	0.90	1.00	1.05

Tabla 6. Factores correctivos para las resistencias de pilas con diferentes relaciones altura a espesor. *Fuente: NMX-C-464-ONNCCE-2010.*

Por su parte, la resistencia a compresión para diseño se calculará con la siguiente expresión:

$$f'm = \frac{\overline{f_m}}{1 + 2.5c_m}$$

donde:

$f'm$  = Resistencia media a compresión de las pilas, corregida por su relación altura a espesor y referida al área bruta;

$C_m$  = Coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las pilas de mampostería, que en ningún caso se tomará inferior a 0.15.



### 2.5.4 A partir de la resistencia de diseño de las piezas y el mortero.

El segundo procedimiento establece una relación entre la resistencia de diseño de las piezas ( $f'_p$ ) y el mortero. Para bloques con  $f'_p \geq 6 \text{ MPa}$  ( $\approx 60 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ ) y para tabiques y tabicones con  $f'_p \geq 10 \text{ MPa}$  ( $\approx 100 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ ).

$f'_p$ $\text{MPa} \left( \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)^1$	$f'_m$ $\text{MPa} \left( \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)$	
	Mortero I	Mortero II
6 (60) <sup>2</sup>	2.5 (25)	2 (20)
7.5 (75) <sup>2</sup>	4 (40)	3.5 (35)
10 (100)	5 (50)	4.5 (45)
15 (150)	7.5 (75)	6 (60)
$\geq 20$ (200)	10 (100)	9 (90)

<sup>1</sup>Para valores intermedios de  $f'_p$  se interpolará linealmente, para un mismo tipo de mortero.

Tabla 7. Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de arcillas ( $f'_m$ ) sobre área bruta. Fuente: NMX-C-464-ONNCCE-2010.

Donde el mortero tipo I y tipo II al que hace referencia la tabla anterior es el mortero empleado en elementos estructurales y debe tener una resistencia mínima de  $7.5 \text{ MPa} \approx 75 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ .

### 2.5.5 Resistencia de la mampostería para edificaciones Tipo I.

El tercer procedimiento establece valores de ( $f'_m$ ) para edificaciones de mampostería tipo I, las cuales deben revisar su cumplimiento y que el mortero utilizado cumpla lo establecido en el reglamento.

## 2.6 Morteros para la construcción de mampostería

La función del mortero es permitir la sobreposición de las piezas formando un conjunto que tenga una liga fuerte y duradera. Las propiedades más importantes del mortero son la manejabilidad, resistencia a compresión y tensión y adherencia con las piezas. Estas propiedades varían según el tipo de cementante empleado, con la relación entre arena y cementante y según la cantidad de agua en la mezcla, aunque esto último no se suele controlar en obra.

### 2.6.1 Proporción en términos de volumen recomendado para mortero dosificado en obra.

La norma NMX-C-486-ONNCCE-2014, establece la proporción de los componentes de la mezcla del mortero en todos los casos. Asimismo, la normatividad obliga el uso de cemento hidráulico en combinación con cal o cemento de albañilería en la dosificación y en a relación a las partes de arena se mantiene fija. La tabla continua señala las partes de cada material de la mezcla de acuerdo al tipo de mortero.

Tipo de mortero	Partes de cemento hidráulico	Partes de cemento de albañilería	Partes de cal hidratada	Partes de arena <sup>2</sup>
I	1	—	0 a ¼	3
	1	½	—	4½
II	1	—	0 a ½	4½
	1	1	—	6

<sup>1</sup> Los proporcionamientos incluidos en esta tabla son sólo indicativos, por lo que el mortero deberá cumplir con la resistencia a compresión de diseño establecida en el inciso 2.5.2 independientemente de la dosificación que se utilice.

<sup>2</sup> El volumen de arena se medirá en estado suelto.

Tabla 8. Proporcionamiento, en volumen, recomendados para mortero dosificado en obra.

En relación al mortero empleado en el pegue de piezas en la construcción de muros estructurales debe estar en cumplimiento con los requisitos que establece la Norma Mexicana NMX-C-486-ONNCCE.

De acuerdo a la norma citada, los morteros que sean utilizados en elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con las especificaciones siguientes:

- a) Su resistencia a compresión será por lo menos de 7.5 MPa (75 kg/cm<sup>2</sup>). La resistencia media mínima  $f_j$  para un mortero de junteo debe ser de 110 kg/cm<sup>2</sup>.
- b) Siempre deberán contener cemento hidráulico Portland en la cantidad mínima indicada en la tabla mostrada.
- c) El volumen de arena no será mayor que tres veces la suma de los cementantes y se medirá en estado suelto.
- d) Se empleará la mínima cantidad de agua que dé como resultado un mortero fácilmente trabajable.
- e) Si el mortero incluye cemento de albañilería, la cantidad máxima de éste, a usar en combinación con cemento, será la indicada en la tabla citada.

#### **2.6.2 Resistencia a la compresión del mortero para fabricación de pilas.**

La resistencia a compresión del mortero, sea para pegar piezas o de relleno, se determinará de acuerdo con el ensaye especificado en la norma NMX-C-061-ONNCCE.

Para los ensayos del mortero se obtendrán un mínimo de tres muestras, cada una con un mínimo de tres probetas cúbicas. Las nueve probetas se ensayarán siguiendo la normatividad indicada.

Los morteros se clasificarán por su resistencia de diseño a compresión,  $f'_j$  en los siguientes tipos:

- Tipo I con resistencia a compresión mayor o igual que 12.5 MPa (125 kg/cm<sup>2</sup>)
- Tipo II con resistencia a compresión menor que la del Tipo I y mayor o igual que 7.5 MPa (75 kg/cm<sup>2</sup>)

Para la evaluación de la resistencia de diseño se emplea la siguiente expresión:

$$f'_j = \frac{\bar{f}_j}{1 + 2.5 c_j}$$

Ecuación 5. Resistencia a la compresión media de cubos de mortero.

donde:

$\bar{f}_j$  = Resistencia media a compresión de cubos de mortero o de cilindros de concreto de relleno.

$c_j$  = coeficiente de variación de la resistencia a compresión del mortero o del concreto de relleno, que se tomará igual a 0.10 cuando su producción sea industrializada de tipo seco o premezclado, o igual a 0.20 en el caso de ser dosificad

## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1 El enfoque cuantitativo de la investigación

La investigación es entendida por Arias Galicia, como una serie de métodos para resolver problemas cuyas soluciones necesitan ser obtenidas a través de una serie de operaciones lógicas, tomando como punto de partida datos objetivos (Arias Galicia, 1971).

El esquema metodológico que presenta este trabajo de investigación denominado **Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los tabiques de jalcreto utilizado en la construcción de edificaciones de la ciudad de Mazatlán**, está orientado bajo el enfoque de la investigación cuantitativa, por la forma sistemática y ordenada que se lleva a cabo durante la recopilación de datos, a través de las diferentes técnicas e instrumentos requeridos durante la medición de las variables, con la intención de obtener una mayor profundidad en las respuestas y conocimientos del fenómeno estudiado. Por tal motivo, su aplicación exige este procedimiento riguroso, por la exactitud de sus resultados.

Para el desarrollo de la investigación, fue pertinente utilizar un conjunto de técnicas que colaboraron a consolidar este proceso, las cuales se detallan a continuación.

### 3.2 Técnicas de investigación

Las técnicas de investigación (Ander-Egg, 1995), en el ámbito de la investigación científica, hace referencia a los procedimientos y medios que hacen operativos los

métodos, es decir, es el procedimiento de actuación que debe seguirse para recorrer las diferentes fases del método científico.

### **3.2.1 Técnica de investigación documental**

Para Hernández Sampieri y colaboradores, la investigación documental consiste en detectar, obtener y consultar la bibliografía y otros materiales que parten de otros conocimientos y/o informaciones recogidas moderadamente de cualquier realidad, de manera selectiva, de modo que puedan ser útiles para los propósitos del estudio. (Hernández Sampieri, 2014).

En ella se realizó un análisis profundo de la información seleccionada y recopilada de documentos bibliográficos, físicos y digitales (libros, revistas y otros recursos documentales afines a la investigación), con el propósito de extraer los datos más importantes de una serie de fuentes analizadas con la finalidad de construir el sustento teórico de este trabajo investigativo.

### **3.2.2 Observación**

La técnica de investigación que se aplica comúnmente es la observación, definida como “la inspección y estudio realizado por el investigador, mediante el empleo de sus propios sentidos, con o sin ayuda de aparatos técnicos, de las cosas o hechos de interés social, tal como son o tienen lugar espontáneamente” (Sierra Bravo, 1994).

Para el desarrollo de esta investigación, se aplicó la observación no participante, debido a que solo se extrajo la información requerida, permitiendo indagar sobre el proceso de manufactura del tabique de jalcreto en la zona, así como la utilización de este elemento prefabricado dentro del proceso constructivo de muros aplicados en viviendas en la ciudad.

### **3.2.3 Selección y extracción de la muestra**

Una muestra puede definirse como el conjunto de operaciones que se realizan para estudiar la distribución de determinados caracteres en totalidad de una población universo, o colectivo partiendo de la observación de una fracción de la población considerada. (Tamayo y Tamayo M., 2003)

Para fines de esta investigación se definieron dos áreas muestrales. La primera está relacionada con la selección de los elaboradores de tabique ligero en el municipio de Mazatlán y sus alrededores mediante un muestreo intencional.

Por otro parte, el segundo espacio muestral corresponde a elementos extraídos de la población a través del muestreo aleatorio simple el cual define los lotes y la cantidad de elementos de mampostería sujetos al proceso de experimentación.

### **3.2.4 Experimentación**

La investigación experimental (Silva M., 2014), es aquella técnica que se realiza mediante la manipulación de una o más variables experimentales no comprobadas,

en escenarios rigurosamente controlados, con el fin de describir de qué modo o porque causa se produce una situación particular.

En este proceso, se aplicaron un conjunto de ensayos de laboratorio a los tabiques de jalcreto que constituyen la muestra en estudio, los cuales fueron obtenidos de los diferentes fabricantes de la región, con la finalidad de determinar sus características físicas y mecánicas.

Estas pruebas permitieron evaluar la resistencia a la compresión y la absorción de agua en los elementos de la muestra en estudio, generando resultados que intervienen en el proceso de comparación y desarrollo del análisis pertinente, el cual considera como referencia la normatividad relativa a los requerimientos de diseño de este elemento de mampostería.

### **3.2.5 Tratamiento y procesamiento de datos**

Estas actividades mencionadas con anterioridad, representan cada una de las fases del proceso de investigación, cuyo objetivo es la comprobación de las hipótesis del estudio, una vez que se recaudó la información otorgada por la aplicación de las diferentes técnicas expresadas.

Después de estructurada la información, se procedió a la etapa de procesamiento de datos, la cual acelera el análisis e interpretación de los mismos y que dan origen a las conclusiones de la investigación.



### **3.2.6 Elaboración del informe final**

Es la etapa final de la investigación, mediante la cual se detallan los resultados obtenidos a través de las diversas técnicas y, que dan respuesta a los cuestionamientos que van encaminados a la investigación.

Por lo tanto, en esta parte se expresan las conclusiones obtenidas durante la aplicación y finalización del proyecto, mismas que se permiten al terminar las acciones establecidas en la metodología.

## **CAPÍTULO IV. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANALISIS DE RESULTADOS**

### **4.1 Generalidades**

Con base al objetivo general que actúa como eje rector en la presente tesis denominada **Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del tabicón ligero de jal utilizado en la construcción de edificaciones de la ciudad de Mazatlán**, que tiene como meta la realización de un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los tabiques ligeros de jalcreto como elementos de mampostería aplicables en edificaciones de la ciudad de Mazatlán elaborados en la región circundante con respecto con la normatividad mexicana vigente y apoyado en la estructura del marco metodológico establecido para la ejecución de la investigación, se presentan los resultados derivados de la aplicación de las técnicas de investigación, las cuales permiten emitir un comparativo del entorno que envuelve al proyecto con los enfoques teóricos y normativos que sustentan el tema de este trabajo.

### **4.2 Observación**

En primera instancia, este documento alude a la observación no participante, técnica de investigación que de manera inicial permite construir un panorama general de la utilización de tabiques ligeros de jalcreto como elemento de mampostería en el desarrollo de proyectos constructivos de distintas edificaciones.



Ilustración 14. Utilización de tabique de jalcreto en muros.

Este instrumento corrobora la aceptación de estos elementos de mampostería en el diseño y construcción de edificaciones de poca altura en el municipio de Mazatlán.



Ilustración 15. Empleo de tabique de jalcreto en edificación de 3 niveles.

Asimismo, la observación contribuyó a conocer el proceso de elaboración del tabique de jalcreto.

Un tabique de concreto ligero elaborado en la región es un mampuesto prefabricado, elaborado con cemento, jal (piedra pumítica triturada), arena y agua. La dosificación de los materiales de la mezcla son variables a decisión de cada área de producción.



Ilustración 16. Mezcla de material seco (cemento y jal).



Ilustración 17. Tolva dosificadora y premoldeado por vibro compresión.

Esta etapa de almacenaje es un proceso importante, debido a que se le otorga el tiempo que requiere la mezcla para comenzar a fraguar. El tabicón no se debe mover del área de reposo; tarimas o placas de metal ya que puede fracturarse, presentar grietas o deformarse, lo que trae como consecuencia una pérdida en la dureza y en casos la pérdida parcial o total del producto.



Ilustración 18. Proceso de almacenaje y fraguado de los tabiques de jalcreto.

### **4.3 Técnica de investigación documental**

Para sustentar el estudio realizado, la técnica de investigación documental actuó un papel fundamental, contribuyendo al análisis del acervo literario, que permitió interiorizar en las teorías base alusivas a la temática relativa a la mampostería, que conjuntamente con las conceptualizaciones, fortalecen el marco teórico y normativo referencial expuesto en el capítulo II y que marcaron la pauta para la aplicación de las técnicas metodológicas de campo orientadas hacia el logro de óptimos resultados.

#### **4.4 Técnicas de muestreo**

El proceso experimental de esta investigación requirió de definir dos espacios muestrales. El primero, correspondió en seleccionar los fabricantes de tabicón ligero a través de un proceso de muestreo no probabilístico intencional. Es importante mencionar que no existen muchas fábricas que elaboran este elemento de mampostería en la zona, por lo que se decidió trabajar con dos proveedores denominados para fines de identificación como A y B.

A partir de la delimitación de los fabricantes se procedió a definir el segundo espacio muestral referente al número de especímenes de ensayo, estableciendo 30 unidades de mampostería por fabricante a través del muestreo intencional para un total de 60 unidades, con el fin de realizar los ensayos de parámetros de evaluación de calidad descritos en el planteamiento y descripción de la investigación; determinación de las pruebas de resistencia a la compresión en piezas individuales y de conformación en pilas, así como la determinación de la densidad volumétrica y la prueba de absorción de agua.

#### **4.5 Propiedades físicas del tabicón ligero**

##### **4.5.1 Dimensionamiento**

La fase experimental relacionada a la determinación de las propiedades físicas del tabicón ligero de jal fue realizada tomando en consideración las normas mexicanas en términos de mampostería.

La verificación de las dimensiones de las piezas de ensayo estuvo sujeta a la Norma Mexicana NMX-C-038- ONNCCE – 2013.

La dimensión del tabicón es cada una de las tres direcciones en que se mide la extensión de este, denominándolas largo, ancho y alto o espesor. La normatividad a la que hace referencia este parámetro físico establece que las dimensiones nominales mínimas para tabicón macizo deben tener una longitud mínima de 6 cm de alto, 10 cm de ancho y 24 cm de largo con una tolerancia de  $\pm 3$  mm de altura y  $\pm 2$  mm en lo largo y ancho.

Bajo este marco de referencia, se procedió a determinar las dimensiones del tabicón ligero empleando para la evaluación una regla metálica graduada con aproximación de 1 mm.

Debido a que el tabicón de jalcreto es un prisma rectangular, se realizaron cuatro mediciones por arista, para calcular una longitud promedio en centímetros en función de la anchura, largo y altura de cada pieza.

Cabe mencionar que las características físicas del tabicón ligero son variables de acorde a la decisión del fabricante, por lo que las dimensiones consideradas como reales, están definidas por las medidas internas del molde de fabricación utilizado en su proceso de manufactura.





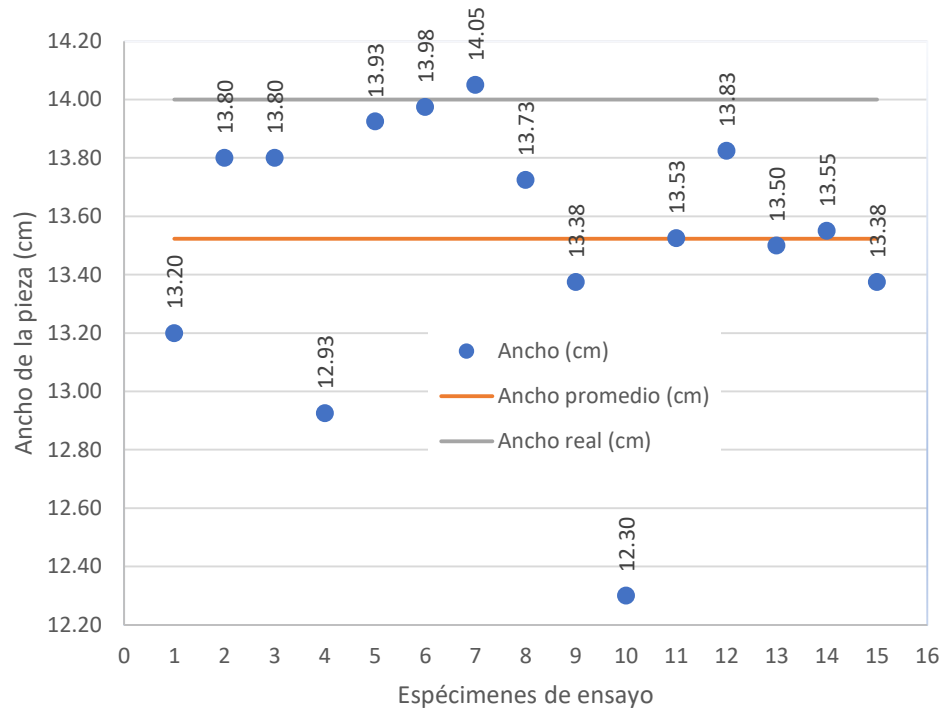
Ilustración 19. Espécimen de ensayo.

#### **4.5.1.1 Evaluación de las medidas del tabicón de jal proveniente del fabricante**

##### **A.**

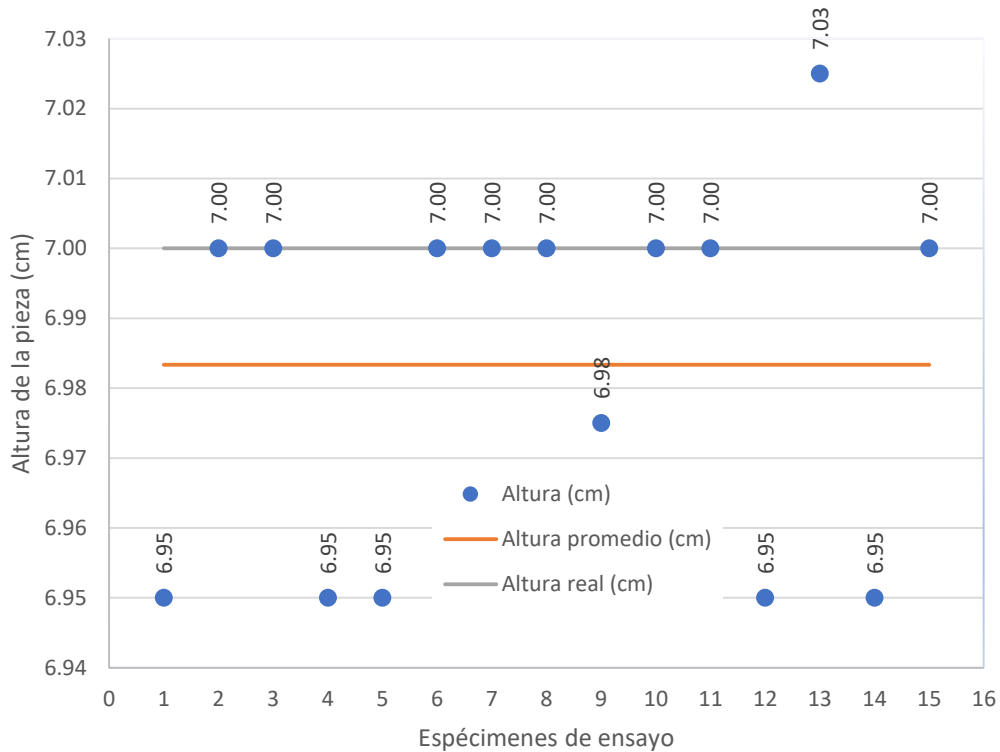
En correspondencia a las dimensiones de los elementos de mampostería, cabe hacer mención que el molde de manufactura de la pieza de tabicón ligero de jalcreto clasificada como del fabricante A, tiene las siguientes medidas consideradas como reales: 14 cm de ancho, 28 cm de largo y 6 cm de altura o espesor.

La longitud de la medición del ancho del tabicón de jal de las piezas de ensayo del fabricante A obtuvieron un promedio como medida de tendencia central de 13.52 cm con un alejamiento estándar de 0.46 cm, siendo este valor la dispersión más significativa en relación a las tres dimensiones evaluadas. Además, en relación a la medida del establecida en molde, el alejamiento promedio fue evaluado en 0.67 cm, tal como se representa en la gráfica continua.



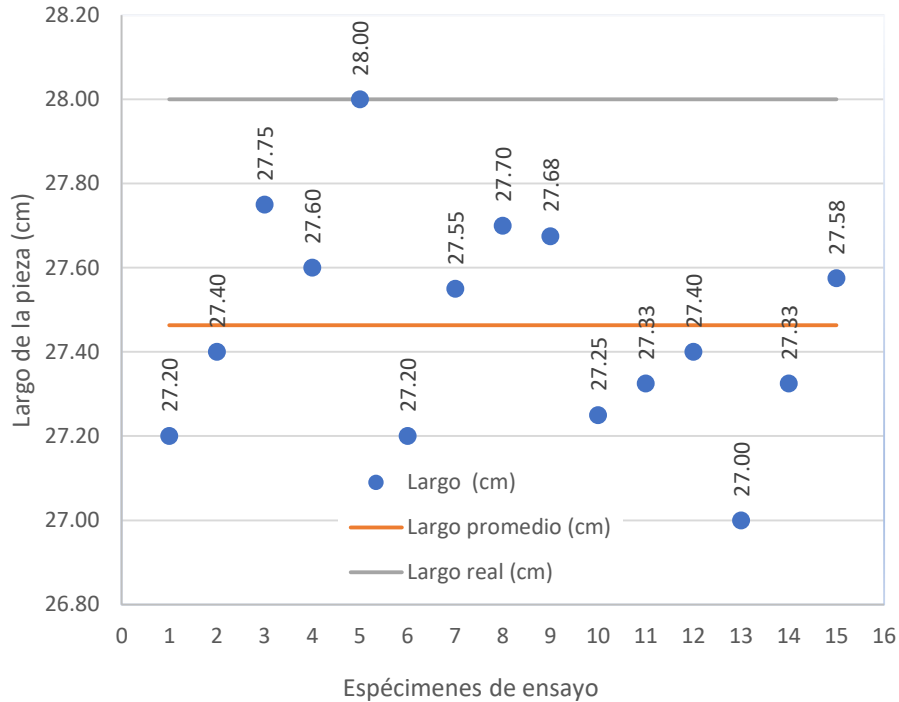
Gráfica 1. Longitud de ancho de tabicón de jal fábrica A.

Relativo a la medida de la altura del tabicón correspondiente de igual clasificación, la media resultante es de 6.98 cm con una desviación estándar de 0.03 cm, siendo este indicador estadístico, la mínima dispersión determinada para las tres dimensiones (gráfica 2). De igual manera, esta observación se mantiene con respecto a la medida del molde cuya dispersión es de 0.03 cm.



Gráfica 2. Longitud de altura de tabicón de jal fábrica A.

En correspondencia, las unidades de mampostería evaluadas del mismo fabricante arrojan un valor promedio del largo de 27.46 cm, presentando una desviación estándar de 0.26 m, mientras que la dispersión promedio en relación al molde de elaboración del tabicón del fabricante A es 0.614 cm tal como se aprecia en la gráfica siguiente.



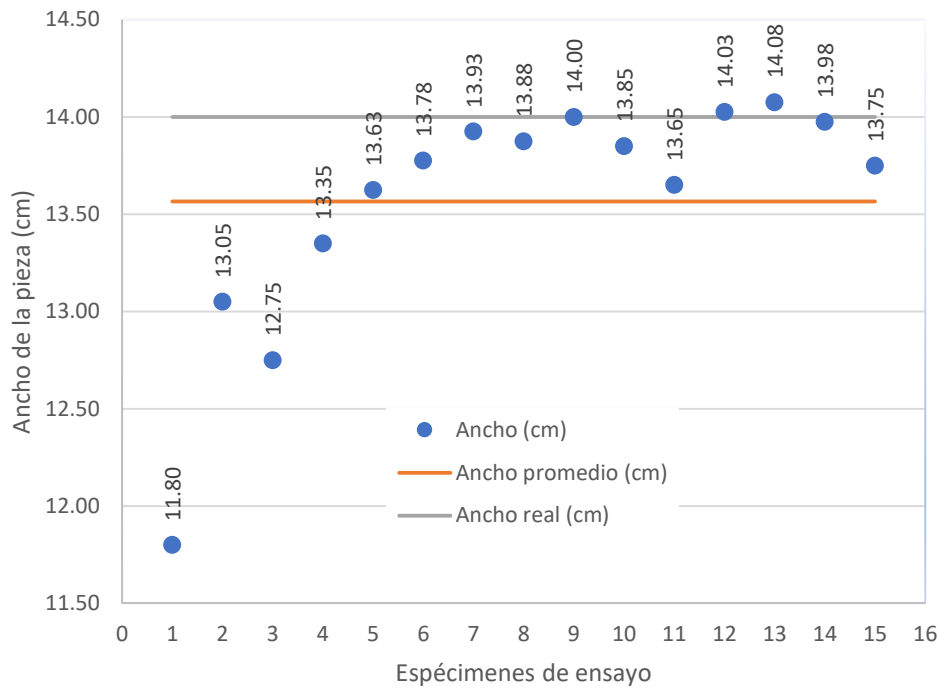
Gráfica 3. Longitud del largo de tabicón de jal fábrica A.

Acorde con las dimensiones evaluadas y en comparativa con la norma NMX-C-038-ONNCCE – 2013, cabe resaltar que las medidas del tabicón de la fábrica A son superiores a los parámetros mínimos establecidos en la Norma Mexicana.

#### 4.5.1.2 Evaluación de las medidas del tabicón de jal proveniente del fabricante B.

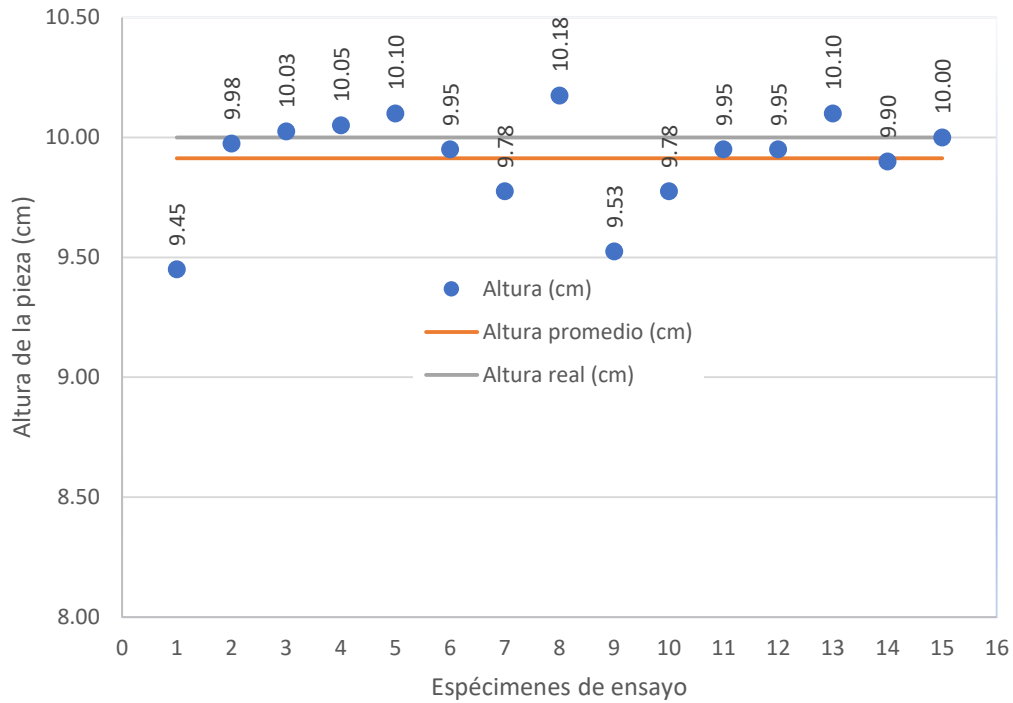
Se debe agregar que en relación a las dimensiones del tabicón ligero de jal manufacturado por el fabricante B, las medidas del molde de producción son: 14 cm de ancho, 28 cm de largo y 10 cm de altura.

La medida del ancho del tabicón ligero de jal de las probetas de experimentación del fabricante B, obtuvieron una media de 13.57 cm con una desviación típica de 0.62 cm. Con respecto al molde se obtuvo un indicador estadístico del alejamiento medio de 0.76 cm. Esta información es presentada en la siguiente gráfica.



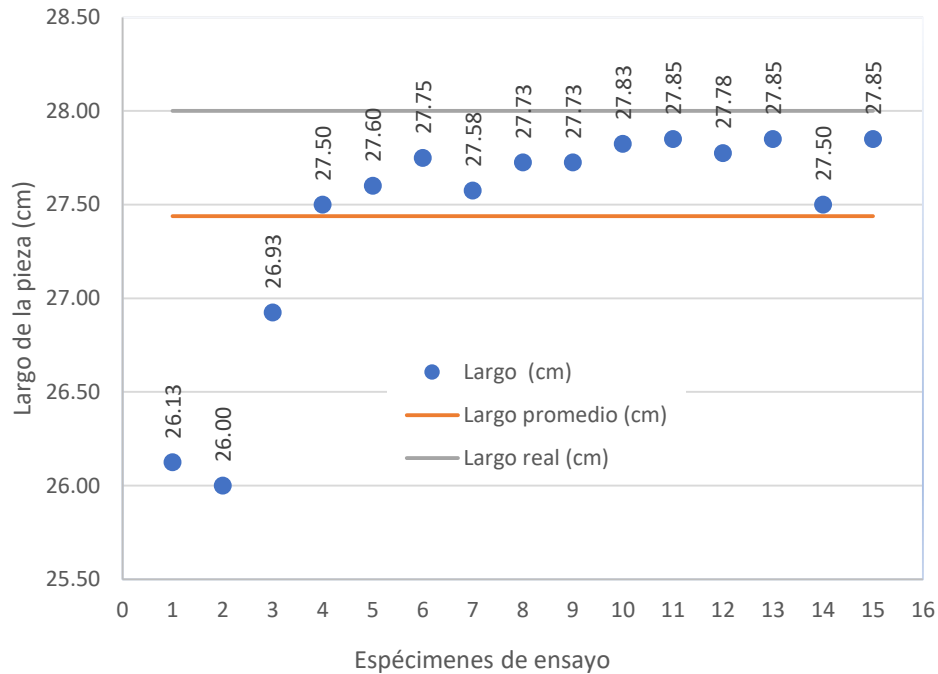
Gráfica 4. Longitud de ancho de tabicón de jal fábrica B.

En la gráfica 5 se puede observar que la mayoría de los tabicones sobrepasan la medida de la altura del molde, con tendencia central promedio de 9.91 cm. La desviación estándar originada por la medición a los 15 especímen ensayados provenientes de la fábrica B originan un valor de 0.21 cm y en lo que se refiere al alejamiento medio en función del molde es de 0.22 cm.



Gráfica 5. Longitud de la altura de tabicón de jal fábrica B.

Asimismo, los elementos del espacio muestral analizados perteneciente al fabricante B indicaron un promedio en relación al largo de la pieza de 27.44 cm con una medida de dispersión promedio de 0.61 m. Además, el alejamiento promedio en relación al molde de manufactura del tabicón de jalcreto del fabricante B es 0.84 cm, información mostrada en la gráfica 6.



Gráfica 6. Longitud de largo de tabicón de jal fábrica B.

Por consiguiente, se puede mencionar que en relación a las dimensiones de los elementos de mampostería del fabricante B, esta muestra tiene una dispersión significativa con respecto a la media y a la dimensión del molde.

#### 4.5.2 Peso volumétrico promedio del tabicón ligero

El tabicón ligero es producto de la mezcla cemento, jal, arena y agua que después del tiempo de fraguado mayor resistencia a la compresión. La densidad del elemento está determinada por la relación entre la masa y volumen.

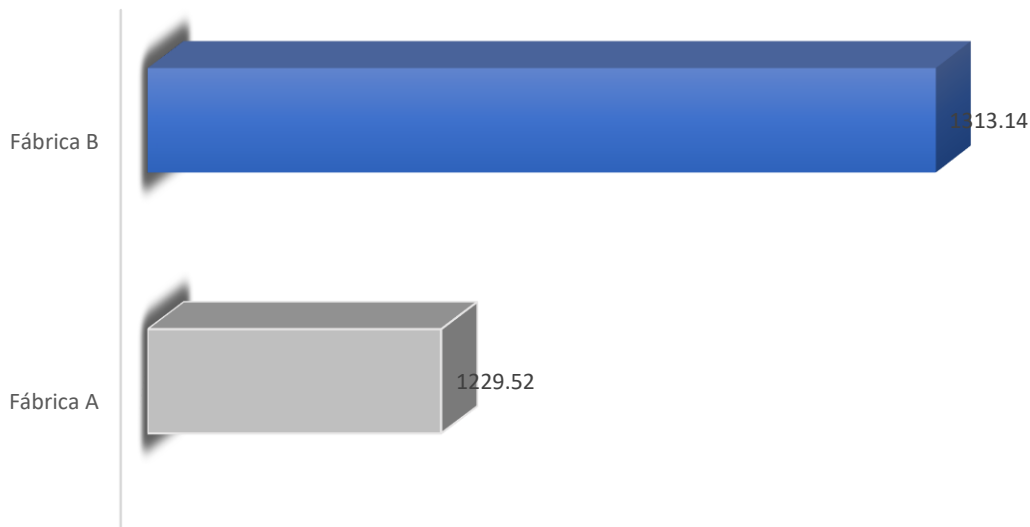
La masa indica la cantidad de materia contenida en un cuerpo. Para la evaluación inicialmente se llevó a cabo la lectura de la masa del elemento en seco a través de una balanza.



Ilustración 20. Medición de la masa del tabicón ligero.

Una vez llevado a cabo este proceso, se efectúa la equivalencia en peso el cual se relaciona con el volumen del espécimen para obtener así el peso volumétrico promedio en cada uno de los elementos representativos de cada una de las fábricas y cuyos resultados se muestran en la siguiente gráfica.





Gráfica 6. Peso volumétrico promedio ( $\text{kg/m}^3$ ) del tabicón ligero por fábrica.

Tal como se muestra en la gráfica anterior, los tabicones de jalcreto provenientes de la fábrica B superan el peso volumétrico promedio de las piezas pertenecientes a la fábrica A en aproximadamente  $84 \text{ kg/m}^3$ . Es importante destacar que, al igual que esta propiedad física, los elementos de la fabrica B son superiores en cuanto a dimensiones.

#### 4.5.3 Propiedad de absorción

La absorción del agua es otra propiedad física en la que se centre este trabajo de investigación, en el cual ha sido determinado la tasa inicial de absorción y la absorción total.

El proceso de experimentación ha permitido determinar la absorción de agua en cada una de las piezas de mampostería que conforman la muestra correspondiente

a las fábricas seleccionadas, con el fin de establecer el análisis comparativo con la absorción establecida en las normas correspondientes y tomado como referencia las pruebas de ensayo dictaminadas en la Norma Mexicana NMX-C-037-ONNCCE-2013.

La absorción es una propiedad que considera el incremento de la masa de la unidad de mampostería de arcilla debido al agua en función de la porosidad del material.

La prueba de absorción capilar realizada a los especímenes consistió en colocar las piezas que integran cada muestra en estudio, sobre una lámina saturada con agua de un espesor aproximado de 5mm que, por efectos de capilaridad, facilita el ascenso del fluido a través de los poros del material.

Para fines interpretativos, se determinó un coeficiente de absorción considerando un periodo de observación de 2 días, mismo que fue estimado por la relación de la masa del bloque húmedo y la masa del bloque seco.

La Norma Mexicana 037-ONNCCE – 2013, es un referente para efectuar las pruebas correspondientes a la absorción del agua para elementos de mampostería.

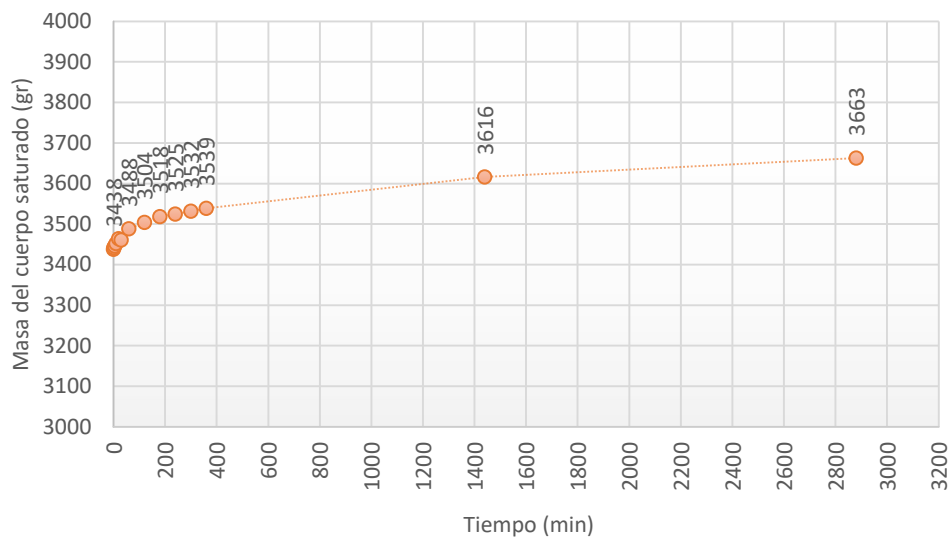


Ilustración 21. Prueba de absorción inicial.

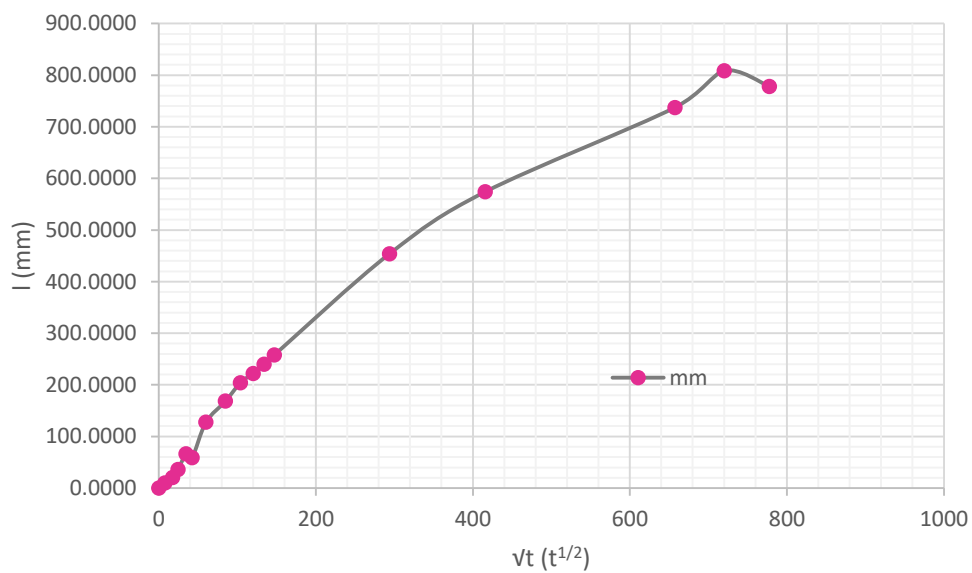
Basados en resultados emitidos en las fases de ensayo sobre las pruebas de absorción, las siguientes gráficas describen el comportamiento del tabique ligero en relación a esta propiedad física.

#### **4.5.3.1 Absorción inicial y absorción total especímenes fábrica A**

Como se observa en la gráfica 7 relativa al análisis del primer espécimen de la fábrica A, se presenta una curva ascendente que indica el incremento de la masa del cuerpo con respecto al tiempo. Asimismo, el gráfico 8 demuestra que el primer intervalo de tiempo donde se aumenta notablemente la masa del cuerpo por la absorción capilar estuvo comprendido en  $30 \leq t \leq 60$ .

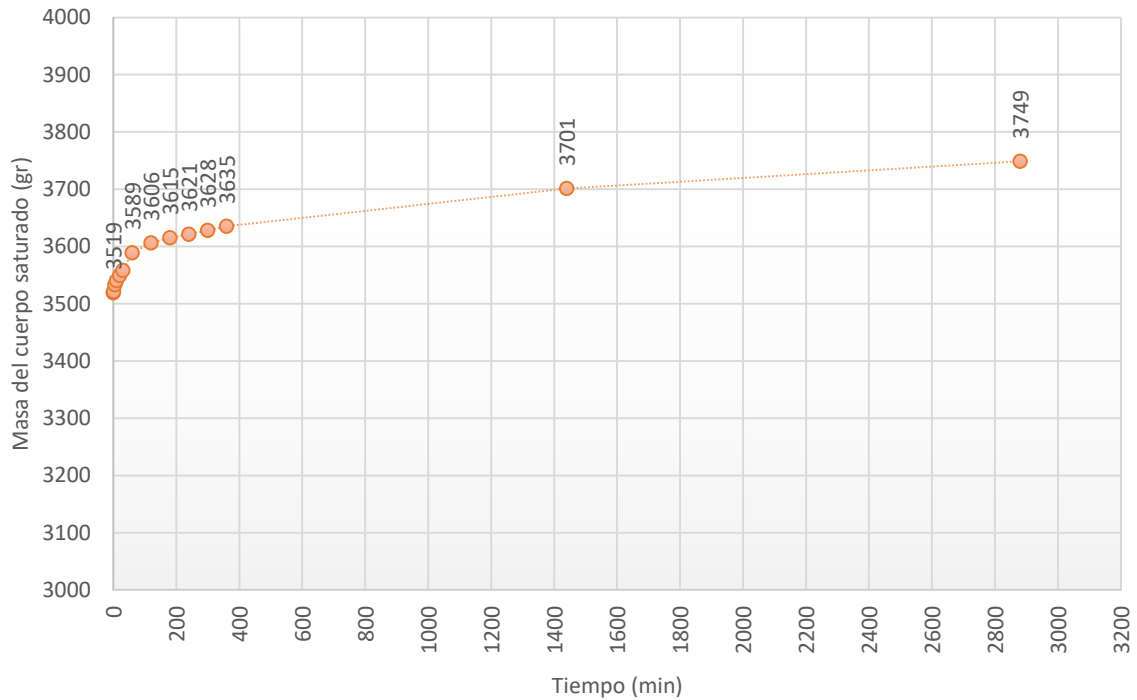


Gráfica 7. Variación de la masa del cuerpo con respecto al tiempo del primer espécimen de estudio del fabricante A.

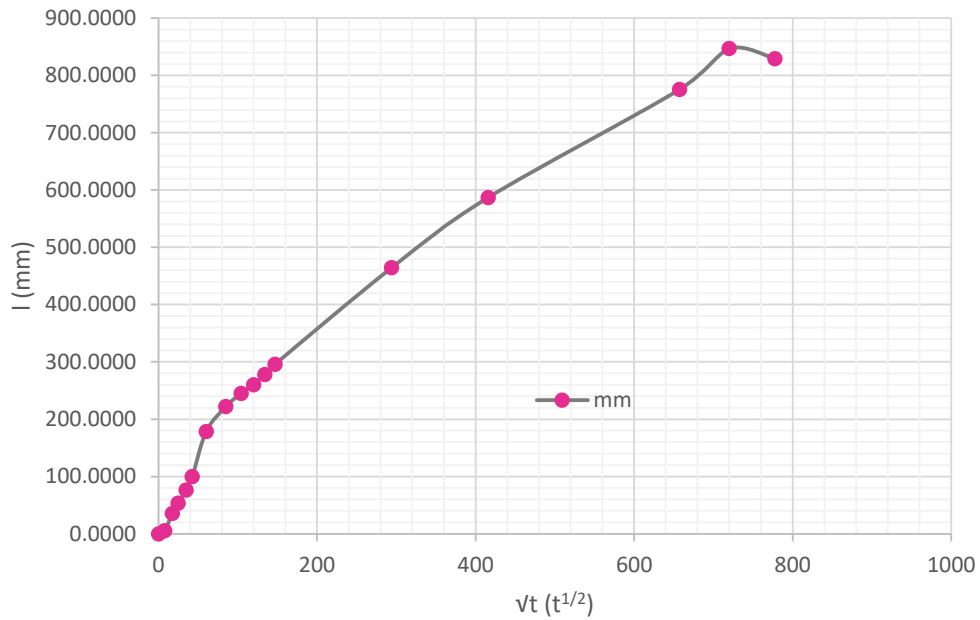


Gráfica 8. Variación de la masa del primer espécimen en relación a su superficie y tiempo, fabricante A.

En referencia al análisis del segundo espécimen de la fábrica A, la gráfica 9 muestra el aumento de masa del cuerpo por efecto de la absorción capilar durante el lapso de estudio. De igual manera, el gráfico 10 expone muestra que el primer intervalo de tiempo donde hubo un aumento significativo de la masa del cuerpo por la absorción capilar estuvo comprendido en  $1 \leq t \text{ (min)} \leq 5$  y el de mayor magnitud entre  $30 \leq t \text{ (min)} \leq 60$ .



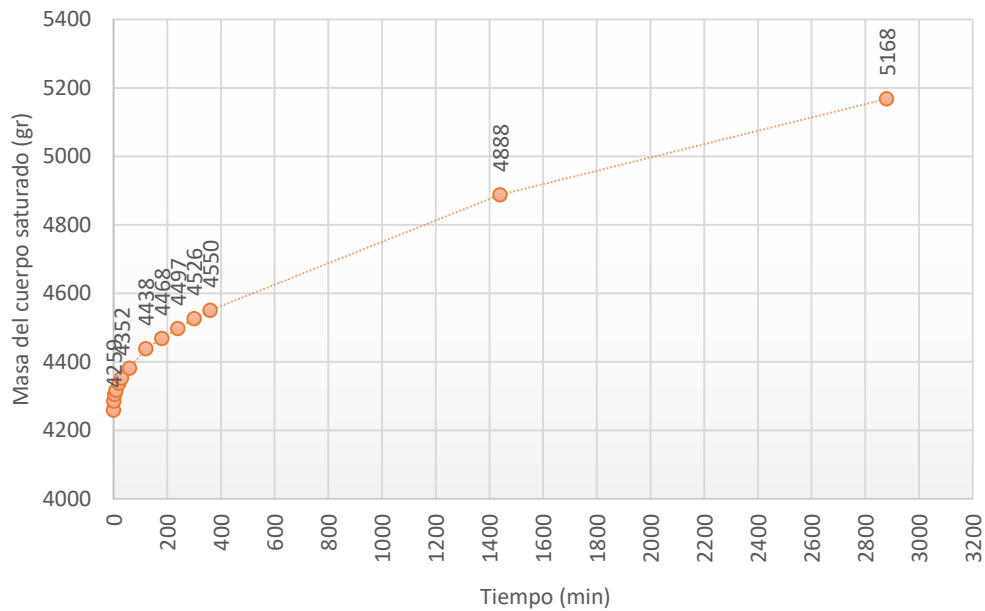
Gráfica 9. Variación de la masa del cuerpo con respecto al tiempo del segundo espécimen de estudio del fabricante A.



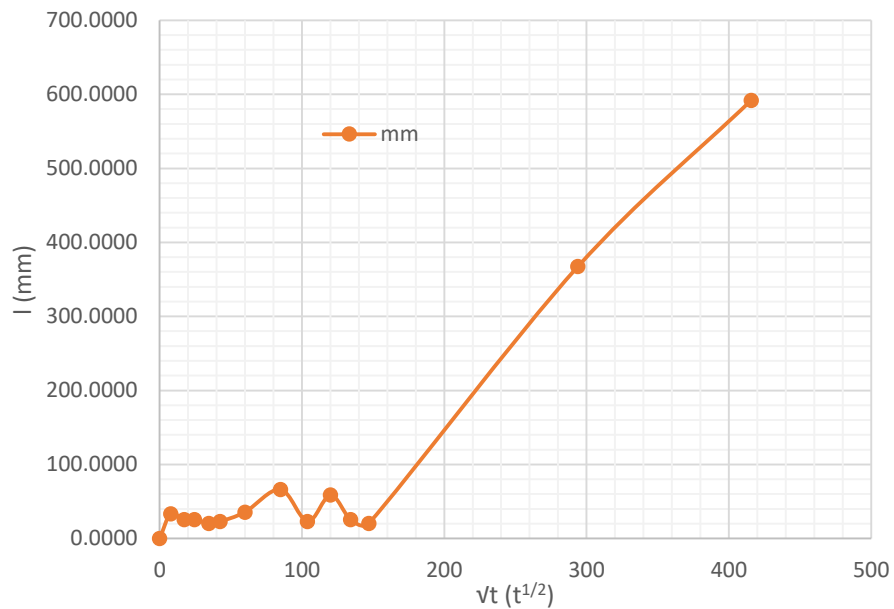
Gráfica 10. Variación de la masa del segundo espécimen en relación a su superficie y tiempo, fabricante A.

#### 4.5.3.2 Absorción inicial y absorción total especímenes fábrica B

Con respecto a la interpretación de la información vertida por los ensayos experimentales hechos al primer espécimen de la fábrica B, se obtuvo el gráfico 11, donde se percibe la variación temporal de la masa húmeda de la pieza. A su vez, De igual manera, el gráfico 12 muestra el ascenso y descenso de la masa del primer espécimen en relación a su superficie y tiempo por la acción capilar en las primeras seis horas de observación.

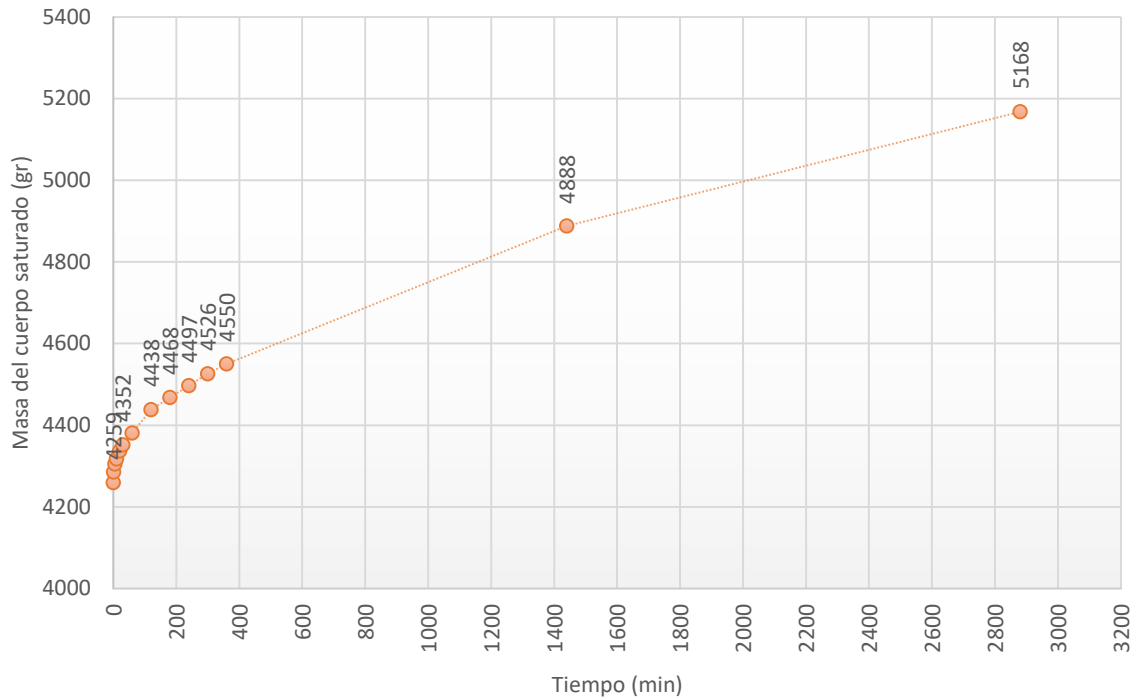


Gráfica 11. Variación de la masa del cuerpo con respecto al tiempo del primer espécimen de estudio del fabricante B.



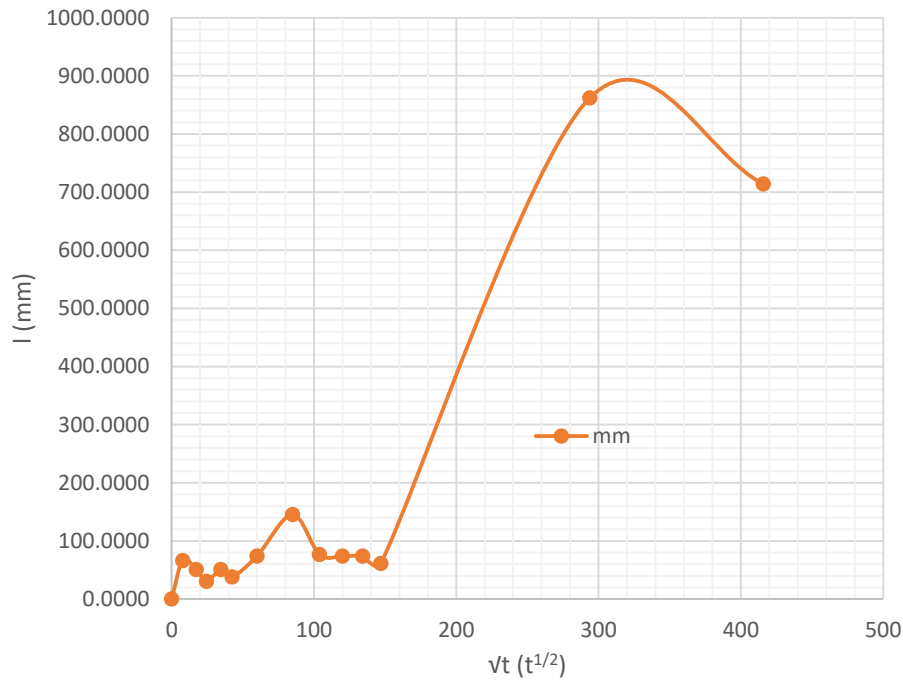
Gráfica 12. Variación de la masa del primer espécimen en relación a su superficie y tiempo, fabricante B.

Finalmente, en referencia a las pruebas de absorción hechas al segundo espécimen de ensayo de la fábrica B, el gráfico 13, donde se muestra el incremento en el tiempo de la masa de la pieza saturada. De igual manera este espécimen, presenta comportamiento similar al anterior ejemplar observado en cuanto al ascenso y descenso de la masa del espécimen en relación a su superficie y tiempo por la acción capilar (gráfica 14).



Gráfica 13. Variación de la masa del cuerpo con respecto al tiempo del segundo espécimen de estudio del fabricante B.





Gráfica 14. Variación de la masa del segundo espécimen en relación a su superficie y tiempo, fabricante B.

El proceso de observación del ensayo de absorción contribuyó a determinar el coeficiente de absorción inicial para los especímenes obtenidos de las fábricas de estudio basado en la expresión mostrada que incorpora las variables pertinentes para un análisis temporal de 10 minutos, cuyos resultados se muestran en la tabulación correspondiente:

$$Cb = \frac{100M}{S\sqrt{t}} = \frac{100(M_1 - M_s)}{S\sqrt{t}}$$

Donde:

$Cb$  = Coeficiente de absorción inicial en  $g / (cm^2 \times min^{0.5})$

$M$  = Masa del agua absorbida por el bloque durante el en  $g$  ( $M=M_1-M_s$ )

$M_1$  = Masa húmeda en g

$M_s$  = Masa seca en g

S = Superficie de la cara sumergida en  $\text{cm}^2$

T = Tiempo de inmersión en min (t=10 min)

<b>Coefficiente de absorción inicial g/ (<math>\text{cm}^2 \times \text{min}^{0.5}</math>)</b>	<b><math>C_b</math></b>
<b>Fábrica A</b>	
Espécimen 1	1.129
Espécimen 2	1.694
<b>Fábrica B</b>	
Espécimen 1	2.650
Espécimen 2	4.712

Tabla 9. Coeficiente de absorción inicial para cada uno de los especímenes seleccionados de las diferentes zonas de estudio.

Con base a estos indicadores obtenidos se ha realizado el análisis comparativo con base en la tabla 2 del marco teórico normativo que expresa que para elementos de mampostería de concreto, la absorción inicial máxima para muros expuestos al exterior no debe superara  $5 \text{ g/cm}^2 \text{ min}^{1/2}$  y para muros interiores o con recubrimiento  $7.5 \text{ g/cm}^2 \text{ min}^{1/2}$ , por lo tanto, los valores obtenidos y presentados en la tabla 9, no superan los parámetros que la normatividad estable en términos de absorción inicial.

Asimismo, se procedió a calcular el porcentaje de absorción total de cada elemento de ambas fábricas, encontrando la relación del espécimen en seco y espécimen saturado después de un lapso de 24 horas empleando la ecuación 2, citada con

anterioridad, mostrando que ningún elemento fue superior a 25% indicado en la norma.

#### **4.6 Resistencia a la compresión**

Con base en la normatividad propuesta por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (ONNCCE) se establece que los que los datos obtenidos en los diversos procedimientos a seguir para el muestreo y ensayo de especímenes del tabicón ligero deben expresarse en términos cuantitativos, por lo que, bajo este sustento, la presente investigación se rige por este enfoque.

En cumplimiento a lo establecido en la norma NMX-C-036-ONNCCE 2013, previo a la ejecución de las pruebas de resistencia a la compresión fue necesario la preparación de las probetas de ensayo a través del cabeceo de especímenes.

El objetivo de este proceso era definir la planicidad de las superficies antes de su ingreso a la máquina de ensayo, buscando garantizar lo mejor posible que, entre los elementos de estudio y la placa de la prensa pudiese aplicarse una carga uniforme sobre su área. Para ello se verificó que el cabeceo cumpliera con la tolerancia permitida de  $\pm 0.05$  m con respecto a la longitud de la pieza.

Es importante destacar que el cabeceo se realizó a través de la utilización de azufre, el cual fue calentado a altas temperaturas para su fundición y colocado sobre el molde o placa cabeceadora en una superficie horizontal nivelándose en ambos sentidos.



Ilustración 22. Fundición de azufre para cabeceo de espécimen.

Debido a que en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería de Mazatlán carece de un molde que se ajuste a las dimensiones de las piezas de estudio, se tomó la decisión de crear moldes de madera, los cuales fueron barnizados con aceite y cubiertos con papel encerado para facilitar el desmolde de los elementos.

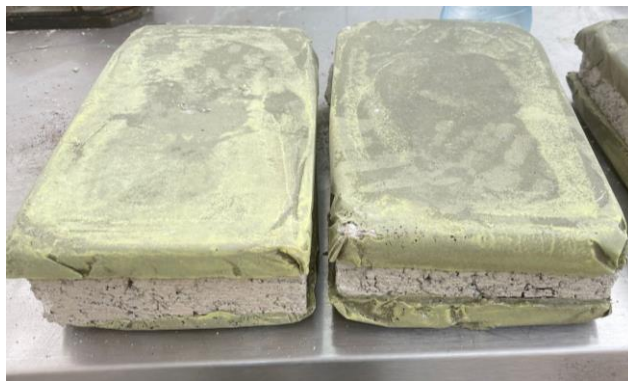


Ilustración 23. Proceso de cabeceo de especímenes de ensayo.

Posterior al cabeceo, las probetas fueron colocadas en la prensa para efecto de la ejecución de las pruebas de la resistencia a la compresión individual del elemento.

Para definir el esfuerzo máximo que soporta un material bajo una carga de aplastamiento se utilizó la máquina de ensayo compresión o universal TEST MARK Modelo CM-5000- A de operación eléctrica que dispone de un manómetro digital marca Noshok serie 11068VDU ubicada en el Laboratorio de Construcción de la Escuela de Ingeniería Mazatlán, operada bajo la supervisión del personal responsable del mismo, para verificar el correcto funcionamiento, ejercicio y seguimiento de las pruebas experimentales.



Ilustración 24. Máquina de ensayo para prueba de resistencia a la compresión.

La prensa utilizada cuenta con capacidad suficiente y con un dispositivo de seguimiento a la velocidad de aplicación de la carga especificada. Como se

mencionó en párrafos anteriores, para realizar esta prueba se cubrieron las dos caras horizontales de los tabicones con azufre con el objetivo de nivelar dichas caras.

Como se ha mencionado en el capítulo I, en la última década el empleo de tabicón ligero de jal ha tenido mayor aceptación en la construcción de edificaciones de pocos niveles en el municipio de Mazatlán, debido a la familiaridad que existe en el proceso constructivo de muros teniendo como referencia elementos de mampostería similares, además porque son piezas de menor peso con respecto a piezas macizas de concreto representando menor carga sobre las estructuras. Por lo descrito anteriormente, es pertinente evaluar la resistencia a la compresión de las piezas, debido a que esta propiedad mecánica incide notablemente en la estabilidad de los muros de mampostería.

#### **4.6.1 Resistencia a la compresión en piezas individuales**

En correspondencia con el marco teórico y normativo de esta investigación, las piezas de tabicones usadas en los elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con la Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE 2012, mientras que, para uso no estructural, se hace referencia a la Norma Mexicana NMX-C-441-ONNCCE 2013.

El cálculo de la resistencia a la compresión de las piezas individuales se evaluó a través del cociente de la carga total sobre el área bruta cuyo resultado es

comparado con la resistencia mínima individual estipulada en las tabulaciones correspondientes de acuerdo a la tipología del elemento.

$$f_p = \frac{P}{A}$$

donde:

P= carga (kg)

A= Área de la sección transversal (cm<sup>2</sup>)

En relación con la resistencia el tabicón de ligero a la compresión este corresponde a la categoría de tabique macizo con dimensión menor a 300 mm de largo para uso estructural, la norma NMX-C-404-ONNCCE 2013 manifiesta que la pieza debe tener una resistencia mínima individual a 7 MPa (70 kg/cm<sup>2</sup>) y en promedio las piezas deben de tener una resistencia de 11 MPa (110 kg/cm<sup>2</sup>).

Tipo de pieza	Configuración	Resistencia media $\overline{f_p}$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia mínima individual $f_{pMn}$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
Bloque	Macizo	15 (150)	12 (120)
	Hueco	9 (90)	7 (70)
	Multiperforado	15 (150)	12 (120)
Tabique (largo >300 mm)	Hueco	9 (90)	7 (70)
	Multiperforado	9 (90)	7(70)
Tabique (largo <300 mm)	Macizo	11 (110)	7 (70)
	Hueco	9 (90)	7 (70)
	Multiperforado	15 (150)	12 (120)

Tabla 10. Resistencia a la compresión por piezas individuales de tabique de uso estructural.

Fuente: NMX-C-404-ONNCCE 2012.

Mientras tanto, para uso no estructural, la norma NMX-C-441-ONNCCE 2013 indica que la resistencia mínima a la compresión de la pieza individual es de 3.2 MPa (32 kg/cm<sup>2</sup>) y 4 MPa (40 kg/cm<sup>2</sup>) en resistencia promedio.

Tipo de pieza	Configuración	Resistencia media $\overline{f_p}$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia mínima individual $f_{pMin}$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
Bloque	Macizo o hueco	3,5 (35)	2,8 (28)
Tabique extruido	Macizo o hueco	4,0 (40)	3,2 (32)
Tabique artesanal	Macizo	3,0 (30)	2,4 (24)
Celosía	Cara rectangular	2,5 (25)	2,0 (20)
	Cara no rectangular	2,5 (25)	2,0 (20)

Tabla 11. Resistencia a la compresión por piezas individuales de tabique de uso no estructural.

*Fuente: NMX-C-441-ONNCCE 2013.*

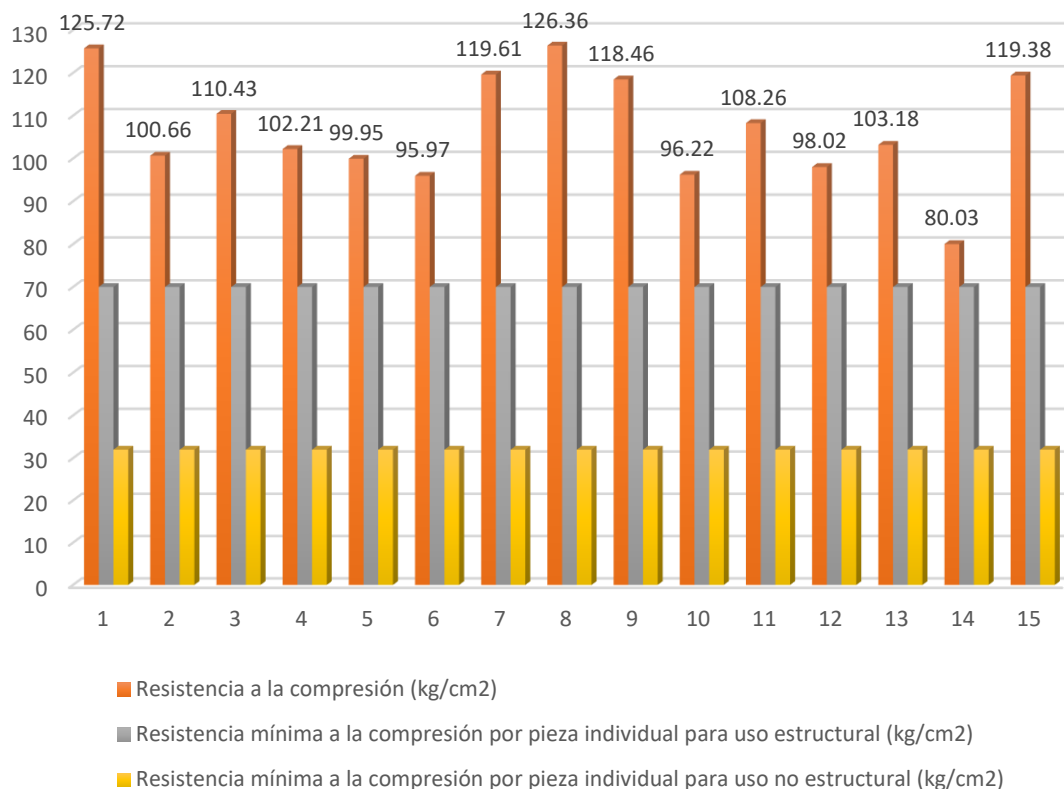
En la fase experimental se realizaron pruebas de resistencia a la compresión a 15 especímenes de ensayo extraídos por cada una de los sitios de fabricación de tabicones de jal seleccionados en el espacio muestral cuyas evaluaciones se contrastaron con la normatividad NMX-C-404-ONNCCE 2013 y NMX-C-441-ONNCCE 2013.

#### **4.6.1.1 Análisis de los resultados de la resistencia a la compresión de tabiques individuales de la fábrica A**

Tal como se muestra en la gráfica siguiente relativa al fabricante A, los valores de la resistencia a la compresión por pieza que oscilan entre 80.03 y 126.36 kg/cm<sup>2</sup>. El promedio de obtenido de la muestra obtenida de esta región se sitúa en 106.96

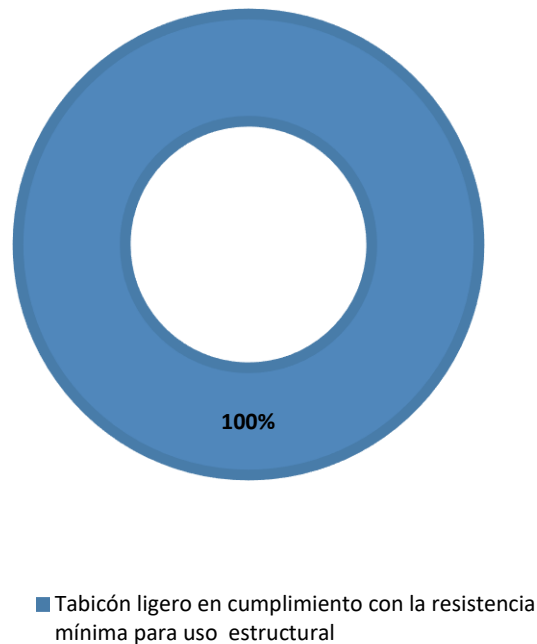


kg/cm<sup>2</sup> con una desviación con respecto a la media de 12.97 kg/cm<sup>2</sup>, determinándose un coeficiente de variabilidad de 0.12.



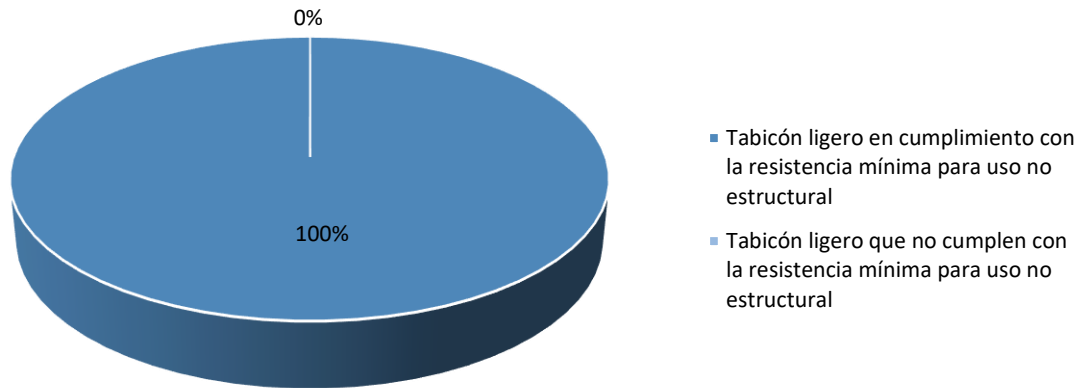
Gráfica 15. Datos obtenidos sobre resistencia a la compresión por piezas individuales, fábrica A.

El comparativo de los datos obtenidos con referente a la norma NMX-C-404-ONNCCE indica que la totalidad de los especímenes estuvieron en cumplimiento con la resistencia mínima de 7 MPa - 70 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo, de manera conjunta el promedio de la resistencia a la compresión se situó en 106.96 kg/cm<sup>2</sup>, valor ligeramente abajo de lo requerido en la norma como resistencia promedio de 11 MPa (110 kg/cm<sup>2</sup>).



Gráfica 16. Porcentaje de especímenes de ensayo en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-404-ONNCCE, fabricante A.

Por otro lado, realizando un comparativo de la información en relación a la norma NMX-C-441-ONNCCE, por ende, las pruebas en los tabicones ligeros del fabricante A, obtuvieron valores positivos, sobrepasando el indicador de resistencia a la compresión mínimo por pieza establecido de 3.2 MPa – 32 kg/cm<sup>2</sup> para su empleo como elemento no estructural (gráfica 17). Además, el valor promedio determinado es superior al promedio mínimo 4 MPa (40 kg/cm<sup>2</sup>) que establece la norma.



Gráfica 17. Porcentaje de especímenes de ensayo del fabricante A en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-441-ONNCCE.

Para determinar la resistencia de diseño a la compresión del conjunto de piezas ensayadas se ha empleado la ecuación 4 señalada en el fundamento teórico:

$$f_p^* = \frac{\bar{f}_p}{1 + 2.5c_p}$$

Es importante destacar que para el empleo de tal expresión se requiere un coeficiente de variación ( $C_p$ ), que para el caso de estudio tiene un valor de 0.12. Sin embargo, este indicador está regido por un límite permisible para piezas de plantas mecanizadas sin control de calidad y, que dada la situación de no contar con 30 ensayos de 3 lotes, se debe considerar  $C_p \geq 0.3$ .

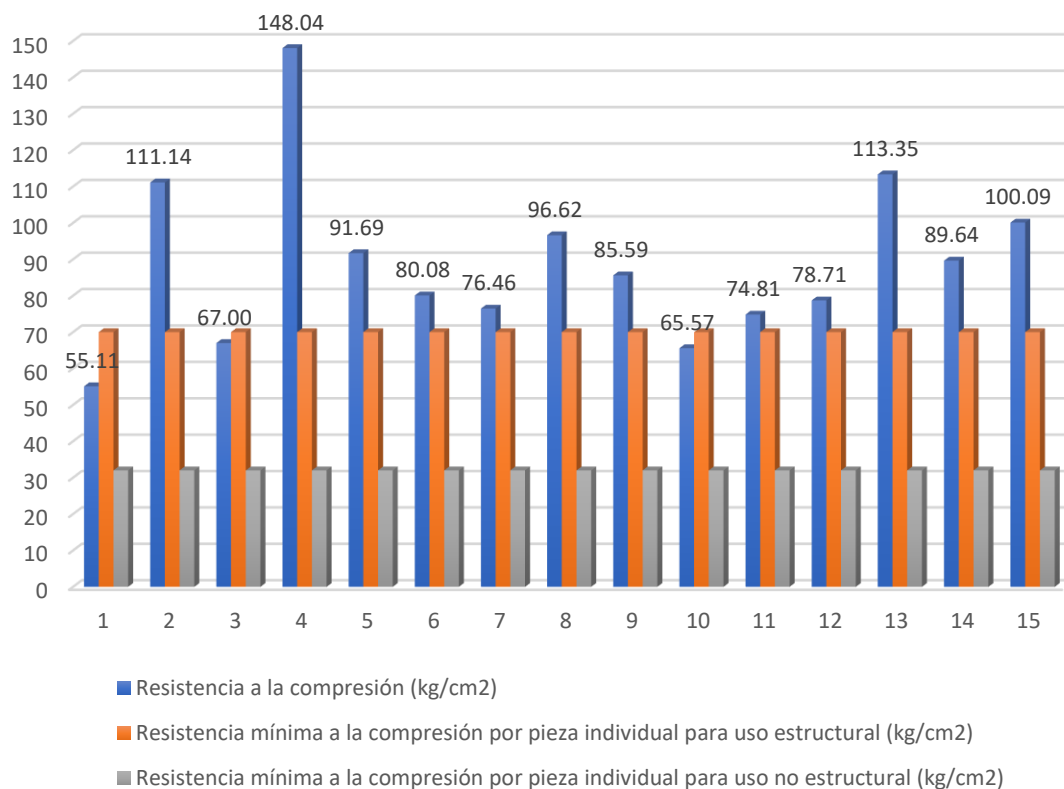
Así pues, a través de la resistencia a la compresión promedio de 106.96 kg/cm<sup>2</sup> y el coeficiente de variación de 0.3, fue calculada la resistencia de diseño ( $f_p^*$ ) de las piezas para la planta de fabricación A, obteniéndose 61.12 kg/cm<sup>2</sup> como resultado.

$$f_p^* = \frac{106.96 \frac{kg}{cm^2}}{1 + 2.5(0.3)}$$

$$f_p^* = 61.12 \frac{kg}{cm^2}$$

#### **4.6.1.2 Análisis de los resultados de la resistencia a la compresión de tabiques individuales de la fábrica B**

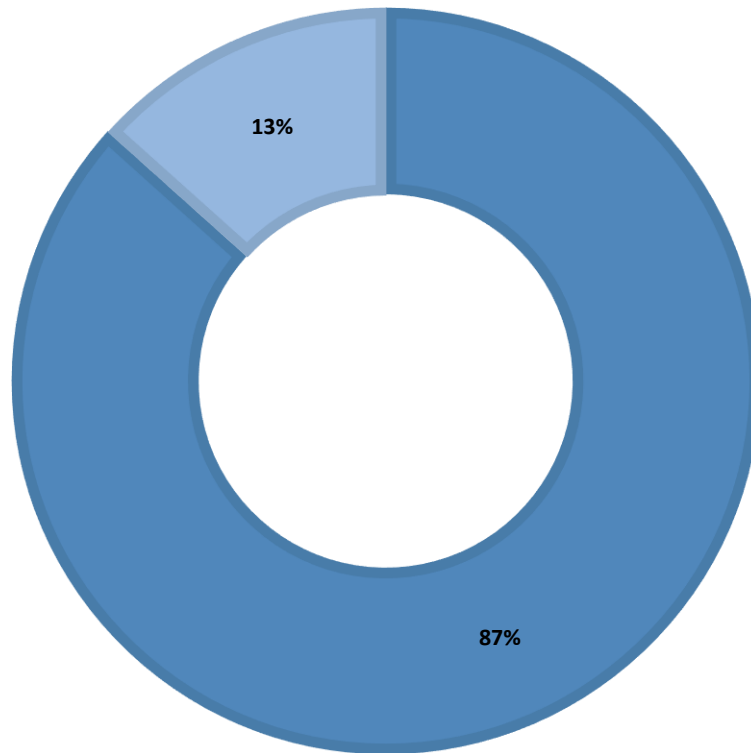
Dada la información recopilada de la fase experimental efectuada a la planta de fabricación B, se realiza la gráfica 18 que muestra los valores de la resistencia a la compresión por pieza que están en el rango de 55.11 a 148.04 kg/cm<sup>2</sup>. El promedio de obtenido de la muestra obtenida de esta región se sitúa en 88.93 kg/cm<sup>2</sup> con una desviación con respecto a la media de 23.14 kg/cm<sup>2</sup>, determinándose un coeficiente de variabilidad de 0.26.



Gráfica 18. Datos obtenidos sobre resistencia a la compresión por piezas individuales, fábrica B.

La comparación entre los datos obtenidos y la norma NMX-C-404-ONNCCE indica que el 87% de la muestra cumplieron con la resistencia mínima de 7 MPa - 70 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo, de manera conjunta el promedio de la resistencia a la compresión se situó en 88.93 kg/cm<sup>2</sup>, valor inferior a lo marcado por la norma en términos de resistencia promedio 11 MPa (110 kg/cm<sup>2</sup>).

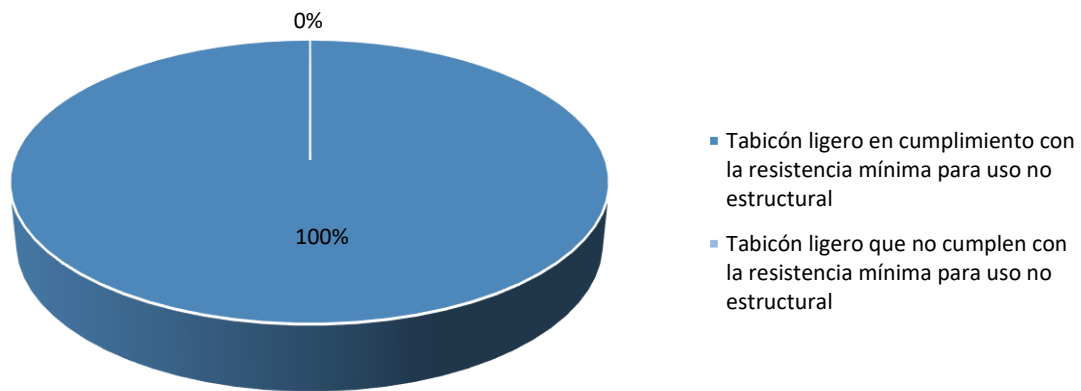
- Tabicón ligero en cumplimiento con la resistencia mínima para uso estructural
- Tabicón ligero que no cumplen con la resistencia mínima para uso estructural



Gráfica 19. Porcentaje de especímenes de ensayo en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-404-ONNCCE, fabricante A.

Realizando un comparativo de la información en relación a la norma NMX-C-441-ONNCCE, las pruebas en los tabicónes ligeros del fabricante B, obtuvieron valores positivos, superando el parámetro de resistencia a la compresión mínimo por pieza establecido de 3.2 MPa – 32 kg/cm<sup>2</sup> para su empleo como elemento no estructural

(gráfica 20). Además, el valor promedio determinado es superior al promedio mínimo 4 MPa (40 kg/cm<sup>2</sup>) que establece la norma.



Gráfica 20. Porcentaje de especímenes de ensayo del fabricante A en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-441-ONNCCE.

La resistencia de diseño a la compresión para el conjunto de piezas ensayadas requirió nuevamente la consideración de un coeficiente de variación  $C_p \geq 0.3$ . Así que dada la resistencia a la compresión promedio de 88.93 kg/cm<sup>2</sup>, se calculó la resistencia de diseño ( $f_p^*$ ) de las piezas para la planta de fabricación B, obteniéndose 50.82 kg/cm<sup>2</sup> como resultado.

$$f_p^* = \frac{88.93 \frac{kg}{cm^2}}{1 + 2.5(0.3)}$$

$$f_p^* = 50.82 \frac{kg}{cm^2}$$

#### 4.6.2 Resistencia a la compresión en pilas

La resistencia a la compresión de las piezas de estudio ligados está definida como el esfuerzo máximo que soporta una superficie bajo una carga de aplastamiento. Para efectos de las pruebas de ensayo, los tabicones de jalcreto fueron apilados y ligados a través de una mezcla de mortero tipo II.

Asimismo, las caras horizontales de la parte superior e inferior de las pilas fueron recubiertas con mortero para lograr la correcta uniformidad y nivelación de los especímenes. Es importante mencionar que en esta investigación se realizaron pruebas de laboratorio relativo a la resistencia a la compresión de mortero para ligue de pilas.

Las pilas construidas con tacón ligero y el mortero estuvieron formadas por tres piezas sobrepuestas, con una relación de la altura comprendida entre 2 y 2.5 en cumplimiento como lo indica la norma NMX-C-036-ONNCCE-2013, asimismo la resistencia a compresión promedio evaluada tuvo a bien considerar el factor correctivo de acuerdo a esta relación y que se indica en la tabla 6 del sustento teórico de la presente investigación.





Ilustración 25. Proceso de junteo de las pilas.



Ilustración 26. Elaboración de las pilas de ensayo.

#### 4.6.2.1 Fase experimental a mortero

La proporción en términos de volumen recomendado para la dosificación del mortero estuvo basada en la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014, haciendo énfasis en el mortero tipo II empleado en elementos estructurales y debe tener una resistencia mínima de  $7.5 \text{ MPa} \approx 75 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ .

El muestreo del mortero se realizó durante el proceso de elaboración de las pilas y para esta actividad fue necesario el uso de molde prismático con dimensión en su arista de 50 mm. Los procedimientos de evaluación de la resistencia a compresión del mortero tuvieron como base el ensaye especificado en la norma NMX-C-061-ONNCCE.

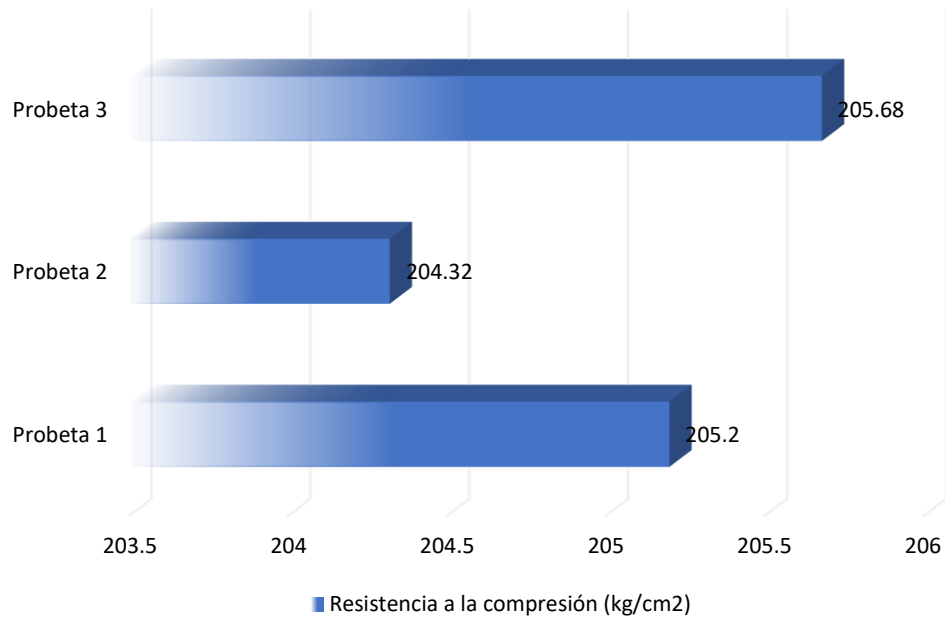


Ilustración 27. Probetas de ensayo de mortero.



Ilustración 28. Evaluación de la resistencia a la compresión del mortero.

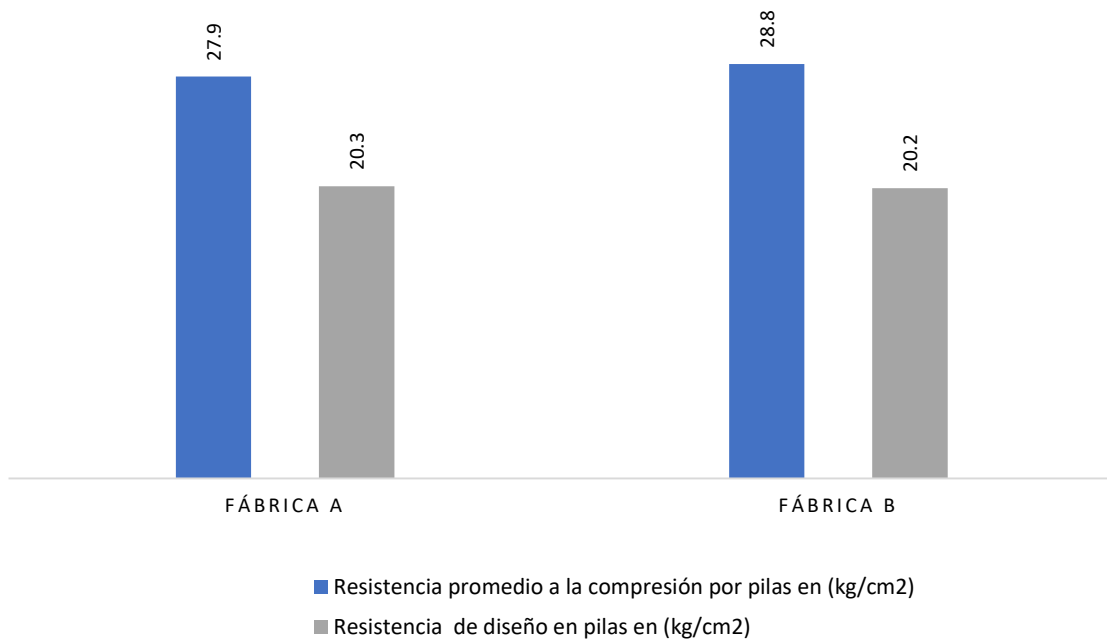
Para los ensayos del mortero se efectuaron tres muestras a través de tres probetas cúbicas cuyos resultados superaron el valor de  $7.5 \text{ MPa} \approx 75 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ , tal como se muestra en la siguiente gráfica:



Gráfica 21. Resistencia a la compresión de las probetas de mortero.

#### 4.6.2.2 Fase experimental en pilas

Esta fase experimental tuvo como base el primer procedimiento descrito en la norma denominado ensayos de pilas construidas con las piezas y morteros que se emplearán en la obra, los cuales son mostrados en la siguiente gráfica.



Gráfica 22. Resistencia a la compresión promedio y de diseño.

Estos resultados pueden compararse con la siguiente tabla, la cual toma como punto de partida un segundo procedimiento señalado en la norma que parte de la relación entre la resistencia de diseño de las piezas y el mortero, este requiere una resistencia de diseño de piezas mínima de 10 MPa, valor que no fue superado en por las piezas de ensayado analizado en las diferentes zonas.

Aunado al procedimiento anterior se determinó la resistencia a compresión para diseño de pilas calculado con la siguiente expresión:

$$f'm = \frac{\overline{f_m}}{1 + 2.5}$$

donde:

$f'm$  = Resistencia compresión para diseño de las pilas, corregida por su relación altura a espesor y referida al área bruta;

$C_m$  = Coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las pilas de mampostería, que en ningún caso se tomará inferior a 0.15.

Un segundo procedimiento para el caculo de la resistencia de diseño a la compresión para la mampostería, parte de la relación entre la resistencia de diseño de las piezas y el mortero.

Este método parte de que los tabiques de concreto deben de cumplir con una relación altura a espesor no menor que 0.5 y una resistencia de diseño mayor o igual a 10 MPa, para el ingreso a la tabla 7, indicada en el marco teórico y normativo.

$f'_p$ MPa $\left(\frac{kgf}{cm^2}\right)^1$	$f'_m$ MPa $\left(\frac{kgf}{cm^2}\right)$	
	Mortero I	Mortero II
6 (60) <sup>2</sup>	2.5 (25)	2 (20)
7.5 (75) <sup>2</sup>	4 (40)	3.5 (35)
10 (100)	5 (50)	4.5 (45)
15 (150)	7.5 (75)	6 (60)
≥ 20 (200)	10 (100)	9 (90)

<sup>1</sup>Para valores intermedios de  $f'_p$  se interpolará linealmente, para un mismo tipo de mortero.

La resistencia de diseño para las piezas de la fábrica A corresponde a  $61.12 \text{ kg/cm}^2$  mientras que para la fábrica B el valor obtenido es  $50.82 \text{ kg/cm}^2$ , estos valores no permiten el ingreso a la tabulación anterior para la evaluación de este parámetro a través del segundo procedimiento, puesto que mínimamente debe ser mayor de 10 MPa.

## CONCLUSIONES

El crecimiento exponencial de las edificaciones en el municipio de Mazatlán ha propiciado la utilización de diversos materiales en el proceso de diseño y construcción de muros, donde la mampostería de diversa índole se ha convertido en un procedimiento destacable.

Con el propósito de disminuir las cargas sobre las estructuras se han incorporado elementos innovadores, pero a su vez, también siguen perpetuando métodos tradicionales como la construcción a través de mampostería, la cual se ha adaptado realizando modificaciones frente a las necesidades constructivas a la par de los avances de la tecnología.

Es importante mencionar que, para edificaciones de baja altura en la región de Mazatlán existe una diversidad de opciones de piezas para mampostería que va desde lo convencional como el tabique de arcilla, bloque y tabique de concreto entre otros, hasta el uso de tecnologías modernas como los elementos de celulosa.

El tabique de concreto es un elemento que desempeña un papel importante en la constitución de muros que, mediante la incorporación de agregados de baja densidad como el jal, tienden a aminorar las fuerzas que inciden en una edificación.

Durante el proceso investigativo definido como **Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del tabicón ligero de jal utilizados en la construcción de edificaciones de la ciudad de Mazatlán** se establecieron una serie de objetivos particulares que de manera conjunta coadyuvaron para el alcance del objetivo



general; Realizar un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los tabiques ligeros de jalcreto como elementos de mampostería aplicables en edificaciones de la ciudad de Mazatlán elaborados en la región circundante con respecto con la normatividad mexicana vigente, mismo que se consigue a través de la aplicación de las técnicas de investigación establecidas en la metodología implementada para el desarrollo de este proyecto y la conjugación del marco teórico y normativo que sustenta esta tesis y que deriva siguientes las conclusiones.

El tabique de jal o también denominado tabicón ligero es una pieza de mampostería que en los últimos años ha tenido gran aceptación para la conformación de muros, pese a que el jal no es un material natural propio de la localidad, sin embargo, su costo de fabricación regional y precio en el mercado lo hace una opción competitiva en el ámbito constructivo, además de su características de ligereza en comparación de otros elementos, resistencia a la influencia de salitre, así como cualidades termoacústicas. Frente a este escenario, resulta importante analizar las propiedades de este material de la construcción.

Las características físicas y mecánicas relativas a los tabiques de concreto o tabicones ligeros están en función de la composición interna de la estructura ligada a la constitución de la mezcla utilizada, así como al control de calidad implementado durante el proceso de fabricación y al rigor tecnológico con el que cuente la empresa encargada de su producción.

Los resultados obtenidos a través de las pruebas experimentales dirigidas a los elementos provenientes de distintos fabricantes regionales, mismas que se basaron

en los protocolos de organismos mexicanos, así como en la normatividad en la materia, se registraron los datos relativos a la caracterización geométrica y mecánica.

Teniendo en cuenta los valores establecidos por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (ONNCCE) para cada uno de los parámetros evaluados y, con base en los resultados obtenidos se tiene que en el análisis dimensional de los tabiques de jalcreto se obtuvieron resultados diversos, sin embargo, las muestras analizadas de las diversas plantas de fabricación cumplieron con las dimensiones mínimas establecidas para tabiques de concreto.

Las dimensiones de las distintas piezas individuales procedentes de la fábrica A presentaron mayor uniformidad en relación a sus medidas, registrando una desviación estándar y un alejamiento con respecto al molde mínima. Mientras tanto, la muestra analizada del fabricante B presenta mayores irregularidades en sus dimensiones, el caso más crítico lo presenta la propiedad física de desfase en bordes, situación de influencia al momento de realizar el aplanado sobre muros.

En igual forma, el análisis de la absorción de agua muestra que en la mayoría de los especímenes en estudio, los valores iniciales más significativos se presentaron en las primeras horas de experimentación.

Como se ha descrito en el apartado de interpretación de resultados, los indicadores obtenidos en términos de absorción y el análisis comparativo con base en la Norma

NMX-C-404 2012, para elementos de mampostería de concreto la absorción inicial máxima para muros expuestos al exterior no debe superara  $5 \text{ g/cm}^2 \text{ min}^{-\frac{1}{2}}$  y para muros interiores o con recubrimiento  $7.5 \text{ g/cm}^2 \text{ min}^{-\frac{1}{2}}$ , por lo tanto, los valores no superan los parámetros que la normatividad estable en términos de absorción inicial habiendo obtenido coeficientes de absorción promedio de  $1.41 \text{ g/cm}^2 \text{ min}^{-\frac{1}{2}}$ , para la planta de fabricación A y  $3.68 \text{ g/cm}^2 \text{ min}^{-\frac{1}{2}}$ , para la fábrica B. Con respecto a la prueba de absorción total a 24 horas, la experimentación muestra que todas las probetas de ensayo no supera el parámetro de 25% establecido en la norma.

En este orden de ideas, relativo a la resistencia a la compresión como propiedad mecánica se logró establecer que sustentado en el estudio en piezas individuales el 100% de los especímenes evaluados de la fábrica A en estudio cumple con este parámetro de resistencia mínima individual a la compresión para piezas de uso estructural de  $70 \text{ kg/cm}^2$  que establece la norma NMX-C-404-ONNCCE, mientras que el 87% de la muestra correspondiente al otro fabricante se encuentra en correspondencia con la norma. Asimismo, se enfatiza que en su mayoría las probetas ensayadas proveniente de las plantas fabricantes cumplen en relación a la resistencia mínima a la compresión por piezas individuales. En referencia a la resistencia promedio que deben cumplir las piezas de tabicón ligero, ambas plantas fabricantes registraron valores inferiores a los establecidos en sus productos.

En comparativo con la norma NMX-C-441-ONNCCE que rige la resistencia mínima individual y resistencia promedio para uso no estructural, encontramos que la totalidad de las piezas de ensayo cumplen con los valores mínimos establecidos.

En la misma línea, en cuanto a los resultados obtenidos en los ensayos a pilas, atendiendo el primer procedimiento que contempla la norma de NMX-C-464-ONNCCE, la resistencia promedio para el fabricante A corresponde 27.9 kg/cm<sup>2</sup> y e 28.827.9 kg/cm<sup>2</sup> para el fabricante B. Sin embargo, no pudo realizarse el comparativo con respecto al segundo procedimiento en esta norma, debido a que requiere dos variables para el cumplimiento; la resistencia de diseño superior a 10MPa en piezas individuales de tabiques de concreto y la tipología del mortero utilizado para la fabricación de pilas. Si bien, la segunda acata este parámetro, la primera variable no está situada en el valor mínimo de 10 MPa que marca la tabulación correspondiente para ingreso en la misma.


De manera adicional se menciona que la incertidumbre sobre dosificación de los materiales utilizados en la mezcla para la elaboración de tabicones de jal imposibilitó, por un lado, la realización de ensayos de mayor inmersión, con el objetivo de identificar la causalidad de la resistencia a la compresión de las piezas; y por otro lado, la realización de diversos ensayos para determinar la óptima proporción de la mezcla, de acuerdo con los materiales empleados y con ello, obtener la resistencia a la compresión adecuada y hacer recomendación que garanticen el cumplimiento de las normas técnicas para la construcción de estructuras de mampostería en viviendas u otro tipo de edificación.

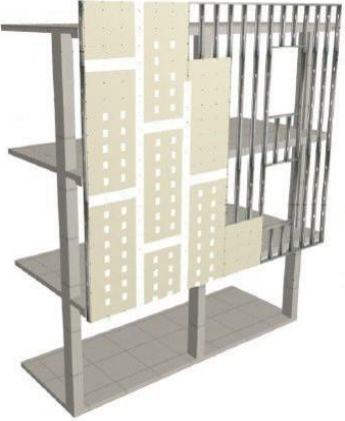
En este sentido cabe destacar, que ambos fabricantes de tabicón elaboran las mezclas sin llevar algún registro de las cantidades en las que los ingredientes se incorporan, con excepción del cemento, que por ser el ingrediente de mayor costo

se somete a un control más estricto. Asimismo, es importante comentar que los productores no tienen la disposición para proporcionar la información y al carecer de ésta, no es posible emitir recomendaciones sobre las cantidades mínimas y máximas en las que cada componente interviene en la elaboración de sus mezclas para el cumplimiento de las piezas de tipo estructural.

Una de las observaciones realizadas durante la fase experimental corresponde a las características de las piezas y la manera en cómo el jal era utilizado en la elaboración de las mezclas. En lo referente al fabricante A, el jal es utilizado como agregado fino al pasar la malla número 4, mientras que, el fabricante B emplea el jal menos triturado, considerado como un agregado grueso que pasa la malla de 13 mm (1/2") y que es retenido en la malla número. Esta característica física relativa a la composición de la mezcla, se considera un factor que tiene influencia en la evaluación de la propiedad de absorción y resistencia a la compresión, tal como lo muestra los datos cuantitativos.

Como se ha mencionado durante el desarrollo del documento, el tabicón ligero presenta características de ligereza y termoacústicas, para fines informativos se ha generado el siguiente cuadro explicativo con referencia a material actualmente utilizados en edificaciones en el municipio de Mazatlán.

Material	Descripción	Peso (kg/pieza)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Rendimiento	Dimensiones
<b>Hebel</b>  	<p>El sistema constructivo Hebel es un conjunto de elementos y procesos que tienen como base el Concreto Celular Autoclaveado (CCA). El Concreto Celular autoclaveado es un tipo de concreto ultra-ligero compuesto por arena sílica, cal, agua y polvo de aluminio que funciona como expansor. Estos elementos hacen que el CCA pueda ser procesado en forma de blocks o paneles para construcciones sometidas a estrictos controles de calidad. Entre sus principales usos están la construcción de losas, muros estructurales y divisorios en viviendas, colegios, industrias y esos grandes edificios de los que hablábamos.</p>	7.32	40.8	8 pzas /m <sup>2</sup>	61 x 20 x 15 cm  <b>Precio</b>  \$ 89.39 pieza  <b>Enero 2023</b>

<p><b>Panel de Concreto</b></p> 	<p>Es el sistema de paneles de concreto a base de polímeros, silicato, arcillas, cemento y una serie de componentes.</p>	15.14	1.46	0.34	<p>1.22 m x 2.44 m x espesor</p> <p><b>Precio</b></p> <p>\$ 753.20 pieza (1.2 cm de espesor)</p> <p><b>Enero 2023</b></p>
<p>Tabicón ligero fabricante A</p>	<p>Tabique elaborado a base de arena, cemento, jal y agua.</p>	3.4	106	37	<p>14 x 28 x 7 cm</p> <p><b>Precio</b></p> <p>\$10.5 pieza</p> <p><b>Enero 2023</b></p>

Tabicón ligero fabricante B	Tabique elaborado a base de arena, cemento, jal y agua.	4.52	89	28	14 x 28 x 10 cm  <b>Precio</b>  \$9 pieza  <b>Enero 2023</b>
-----------------------------	---	------	----	----	--



Para dar por finalizado esta investigación se realizan las siguientes recomendaciones a fin de generar propuestas de mejora en relación a la temática en estudio.

Para efectos de transporte de las unidades de mampostería, se recomienda proteger los lotes de las muestras, con el fin de reducir el contacto con superficies externas, y a su vez los impactos sobre estas.

Bajo esta perspectiva, es necesario establecer estrategias que permitan llevar a cabo los controles de calidad que brinden certeza y garantía de seguridad al usuario sobre el producto final, vigilando el cumplimiento conforme a las especificaciones establecidas en la normatividad vigente.

Finalmente, es importante hacer mención que existen otras propiedades física y mecánicas del tabicón ligero de jal por ser evaluadas, por lo que se pone a consideración el presente trabajo para ser considerado como un referente en futuras investigaciones.

## REFERENCIAS

Avgustinik, A. (1983). *Cerámica*. Barcelona, España: Reverté.

Barros, J. (2005). *Muros de contención*. España: Ceac,SA.

De Solminihac, H., & Thenoux, G. (2018). *Procesos y técnicas de construcción*. Colombia: Alpha Editorial.

Harmsen, T. E. (2005). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima, Perú.: Fondo editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Instituto Mexicano del Cemento y Concreto. (2015). Resistencia a la compresión de bloques y tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines. *CONCRETÓN*. Obtenido de <http://imcyc.com/revistacyt/pdf/abril2015/problemas.pdf>

Jaramillo Jiménez, J. O. (2004). *Análisis clásico de estructuras*. Bogotá, Colombia: Universidad Autónoma de Colombia . Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Mark, R. (2002). *Tecnología arquitectónica hasta la revolución científica*. Madrid, España: Ediciones AKAL.

Márquez Villar, F. J. (2013). *Preparación de los trabajos y replanteo de obras de mampostería, sillería y perpiño*. Antrequera, Málaga, España: IC Editorial.

McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2017). *Diseño de Concreto Reforzado*. Colombia: Editorial Alfaomega.

- Mena Serna, M., García Ubaque, C. A., & Valbuena Porras, S. G. (2019). *Diseño, construcción y criterios de supervisión de edificaciones en mampostería estructural según la NSR-10*. Colombia: Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). *Mampostería Estructural*. Ecuador: Cámara de la Ingeniería de la Construcción.
- Nieto, N. M. (2009). *Construcción de edificios: Diseñar para construir*. Buenos Aires: Nobuko.
- Oliver, R. (1998). Evaluación del colapso de los suelos pumíticos en algunos sitios de la zona metropolitana de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, Mexico: Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Universidad de Guadalajara.
- Olmedo Montoya, J. (2016). *Planeación, programación y control de obras de construcción: Con MS Project 2016*. Colombia: Alpha Editorial.
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. (2010). *NMX-464-ONNCCE-2012 Industria de la Construcción - Mampostería - Determinación de la Resistencia a Compresión Diagonal y Módulo de cortante de Muretes, así como Determinación de la Resistencia a Compresión y Módulo de Elasticidad de Pilas de Mampostería*.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. (2012). *NMX-C- 404 - ONNCCE-2012 Industria de la Construcción. Mampostería . Bloques, Tabiques o Ladrillos y Tabicones para Uso Estructural- Especificaciones y Método de Ensayo.*

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. (2013). *NMX-C- 036-ONNCCE -2013 Industria de la construcción- Mampostería- Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines. Método de Ensayo.*

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. (2013). *NMX-C-037-ONNCCE-2013 Industria de la construcción - Mampostería- Determinación de la Absorción Total y la Absorción Inicial de Agua en Bloques, Tabiques o ladrillos y Tabicones - Método de Ensayo.*

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. (2013). *NMX-C-038- Industria de la Construcción - Mampostería - Determinación de las Dimensiones de Bloques, Tabiques o Ladrillos y Tabicones - Método de Ensayo.*

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. (2013). *NMX-C-441-ONNCCE-2013. Industria de la Construcción -Mampostería - Bloques, tabiques o Ladrillos y Tabicones de Uso no estructural - Especificaciones y Métodos de Ensayo.*

Reynolds, M. (2012). *LA NAVETIERRA COMO CONSTRUIR LA SUYA*. edicion electronica por eBookIt.com.

Segura, V. G. (2018). *Ejecución de Fábricas para revestir*. Antequera, Málaga: IC Editorial.

Servicio Geológico Mexicano. (2015). Monografía de la Piedra Pómez. México. Obtenido de [www.sgm.gob.mx](http://www.sgm.gob.mx)

Vilanova y Piera, J. (1860). *Manual de geología aplicada a la agricultura y a las artes industriales* (Vol. I). Madrid, España: Imprenta Nacional.

Winter, G., & Nilson, A. (2002). *Proyectos de estructuras de hormigón*. Barcelona: Editorial Reverté.

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Vivienda unifamiliar construida con tabiques de jalcreto.....	4
Ilustración 2. Construcción de viviendas multifamiliares de cinco niveles con muros de jalcreto.....	5
Ilustración 3. Tabique de jalcreto.....	6
Ilustración 4. Mampostería no reforzada (Mena Serna, García Ubaque, & Valbuena Porras, 2019).....	12
Ilustración 5. Mampostería de muros confinados (Mena Serna, García Ubaque, & Valbuena Porras, 2019). ....	13
Ilustración 6. Panteón Romano, obra arquitectónica que utilizó en su estructura ceniza volcánica del Monte Vesubio. <i>Fuente World History Enciclopedia</i> .....	15
Ilustración 7. Ejemplo de piezas macizas. <i>Fuente: NMX-C-038-ONNCCE-2013</i> ..	19
Ilustración 8. Evaluación de las dimensiones de los elementos de mampostería en muros. <i>Fuente: NMX-C-038-ONNCCE-2013</i> .....	20
Ilustración 9. Desviación de las aristas de la pieza de la mampostería. <i>Fuente: NMX-C-038-ONNCCE-2013</i> .....	20
Ilustración 10. Ejemplificación de la prueba de absorción.....	22
Ilustración 11. Ensayo a la compresión. <i>NMX-C-036-ONNCCE-2013</i> . ....	30
Ilustración 12. Placas de distribución de carga para ensayo a compresión. <i>Fuente: NMX-C-036-ONNCCE-2013</i> .....	31
Ilustración 13. Pila para prueba en compresión. <i>Fuente: NMX-C-464-ONNCCE 2010</i> . ....	32

Ilustración 14. Utilización de tabique de jalcreto en muros.....	44
Ilustración 15. Empleo de tabique de jalcreto en edificación de 3 niveles.....	44
Ilustración 16. Mezcla de material seco (cemento y jal). .....	45
Ilustración 17. Tolva dosificadora y premoldeado por vibro compresión. ....	46
Ilustración 18. Proceso de almacenaje y fraguado de los tabiques de jalcreto. ....	47
Ilustración 19. Espécimen de ensayo.....	50
Ilustración 20. Medición de la masa del tabicón ligero. ....	57
Ilustración 21. Prueba de absorción inicial. ....	60
Ilustración 22. Fundición de azufre para cabeceo de espécimen.....	69
Ilustración 23. Proceso de cabeceo de especímenes de ensayo.....	69
Ilustración 24. Máquina de ensayo para prueba de resistencia a la compresión. .	70
Ilustración 25. Proceso de junteo de las pilas. ....	82
Ilustración 26. Elaboración de las pilas de ensayo.....	82
Ilustración 27. Probetas de ensayo de mortero.....	83
Ilustración 28. Evaluación de la resistencia a la compresión del mortero. ....	84
Ilustración 29. Determinación de la masa de pieza de fabricante B. ....	114
Ilustración 30. Mortero para elaboración de pilas.....	115
Ilustración 31. Elaboración de pilas para ensayo. ....	115
Ilustración 32. Prueba de resistencia a la compresión en pilas. ....	116

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1. Longitud de ancho de tabicón de jal fábrica A. ....	51
Gráfica 2. Longitud de altura de tabicón de jal fábrica A. ....	52
Gráfica 3. Longitud del largo de tabicón de jal fábrica A. ....	53
Gráfica 4. Longitud de ancho de tabicón de jal fábrica B. ....	54
Gráfica 5. Longitud de la altura de tabicón de jal fábrica B. ....	55
Gráfica 6. Peso volumétrico promedio (kg/m <sup>3</sup> ) del tabicón ligero por fábrica. ....	58
Gráfica 7. Variación de la masa del cuerpo con respecto al tiempo del primer espécimen de estudio del fabricante A.....	61
Gráfica 8. Variación de la masa del primer espécimen en relación a su superficie y tiempo, fabricante A. ....	61
Gráfica 9. Variación de la masa del cuerpo con respecto al tiempo del segundo espécimen de estudio del fabricante A.....	62
Gráfica 10. Variación de la masa del segundo espécimen en relación a su superficie y tiempo, fabricante A.....	63
Gráfica 11. Variación de la masa del cuerpo con respecto al tiempo del primer espécimen de estudio del fabricante B.....	64
Gráfica 12. Variación de la masa del primer espécimen en relación a su superficie y tiempo, fabricante B. ....	64
Gráfica 13. Variación de la masa del cuerpo con respecto al tiempo del segundo espécimen de estudio del fabricante B.....	65



Gráfica 14. Variación de la masa del segundo espécimen en relación a su superficie y tiempo, fabricante B.....	66
Gráfica 15. Datos obtenidos sobre resistencia a la compresión por piezas individuales, fábrica A. ....	74
Gráfica 16. Porcentaje de especímenes de ensayo en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-404-ONNCCE, fabricante A.....	75
Gráfica 17. Porcentaje de especímenes de ensayo del fabricante A en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-441-ONNCCE.....	76
Gráfica 18. Datos obtenidos sobre resistencia a la compresión por piezas individuales, fábrica B. ....	78
Gráfica 19. Porcentaje de especímenes de ensayo en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-404-ONNCCE, fabricante A.....	79
Gráfica 20. Porcentaje de especímenes de ensayo del fabricante A en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-441-ONNCCE.....	80
Gráfica 21. Resistencia a la compresión de las probetas de mortero. ....	85
Gráfica 22. Resistencia a la compresión promedio y de diseño. ....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del tabicón con referencia a la forma y constitución. <i>Fuente: NMX-C-038-ONNCCE-2013</i> .....	18
Tabla 2. Absorción inicial y total por elemento de mampostería. <i>Fuente: Norma NMX-C-404</i> . ....	24
Tabla 3. Resistencia a la compresión por piezas individuales de tabique macizo de concreto. <i>Fuente: NMX-C-404-ONNCCE 2012</i> .....	26
Tabla 4. Resistencia promedio y de diseño de piezas de mampostería.....	26
Tabla 5. Resistencia a la compresión por piezas individuales de tabique de uso no estructural. <i>Fuente: NMX-C-441-ONNCCE 2013</i> .....	27
Tabla 6. Factores correctivos para las resistencias de pilas con diferentes relaciones altura a espesor. <i>Fuente: NMX-C-464-ONNCCE-2010</i> .....	33
Tabla 7. Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de arcillas ( <i>f'm</i> ) sobre área bruta. <i>Fuente: NMX-C-464-ONNCCE-2010</i> .....	34
Tabla 8. Proporcionamiento, en volumen, recomendados para mortero dosificado en obra. ....	35
Tabla 9. Coeficiente de absorción inicial para cada uno de los especímenes seleccionados de las diferentes zonas de estudio. ....	67

Tabla 10. Resistencia a la compresión por piezas individuales de tabique de uso estructural. <i>Fuente: NMX-C-404-ONNCCE 2013.</i> .....	72
Tabla 11. Resistencia a la compresión por piezas individuales de tabique de uso no estructural. <i>Fuente: NMX-C-441-ONNCCE 2013.</i> .....	73
Tabla 12. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no. 1 fabricante A.....	109
Tabla 13. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no. 2 fabricante A.....	110
Tabla 14. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no. 1 fabricante B.....	110
Tabla 15. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no. 1 fabricante B.....	111
Tabla 16. Resistencia a la compresión por piezas individuales relacionados al fabricante A.....	112
Tabla 17. Resistencia a la compresión por piezas individuales relacionados al fabricante A.....	113

## ANEXOS

## Resultados de la prueba de absorción en especímenes por fabricante

Tiempo (t)		$\sqrt{t}$	Masa (m)	$\Delta m$	$\Delta m / \text{Área} / \text{densidad}$ agua = 1 mm
min	s	$s^{1/2}$	gr	G	mm
0	0	0	3438	0.00	0.0000
1	60	7.75	3442	4.00	10.2041
5	300	17.32	3446	8.00	20.4082
10	600	24.49	3452.0	14.00	35.7143
20	1200	34.64	3464.0	26.00	66.3265
30	1800	42.43	3461	23.00	58.6735
60	3600	60.00	3488	50.00	127.5510
120	7200	84.85	3504	66.00	168.3673
180	10800	103.92	3518	80.00	204.0816
240	14400	120.00	3525	87.00	221.9388
300	18000	134.16	3532	94.00	239.7959
360	21600	146.97	3539	101.00	257.6531
1440	86400	293.94	3616	178.00	454.0816
2880	172800	415.69	3663	225.00	573.9796
7200	432000	657.27	3727	289.00	737.2449
8640	518400	720.00	3755	317.00	808.6735
10080	604800	777.69	3743	305.00	778.0612

Tabla 12. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no. 1 fabricante A

Tiempo (t)		$\sqrt{t}$	Masa (m)	$\Delta m$	$\Delta m/\text{Área}/\text{densidad}$ agua = 1 mm
min	s	$s^{1/2}$	gr	G	mm
0	0	0	3519	0.00	0.0000
1	60	7.75	3521	2.00	5.1020
5	300	17.32	3533	14.00	35.7143
10	600	24.49	3540.0	21.00	53.5714
20	1200	34.64	3549.0	30.00	76.5306
30	1800	42.43	3558	39.00	99.4898
60	3600	60.00	3589	70.00	178.5714
120	7200	84.85	3606	87.00	221.9388
180	10800	103.92	3615	96.00	244.8980
240	14400	120.00	3621	102.00	260.2041
300	18000	134.16	3628	109.00	278.0612
360	21600	146.97	3635	116.00	295.9184
1440	86400	293.94	3701	182.00	464.2857
2880	172800	415.69	3749	230.00	586.7347
7200	432000	657.27	3823	304.00	775.5102
8640	518400	720.00	3851	332.00	846.9388
10080	604800	777.69	3844	325.00	829.0816

Tabla 13. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no. 2 fabricante A

Tiempo (t)		$\sqrt{t}$	Masa (m)	$\Delta m$	$\Delta m/\text{Área}/\text{densidad}$ agua = 1 mm
min	s	$s^{1/2}$	gr	G	mm
0	0	0	4507	0.00	0.0000
1	60	7.75	4520	13.00	33.1633
5	300	17.32	4530	10.00	25.5102
10	600	24.49	4540.0	10.00	25.5102
20	1200	34.64	4548.0	8.00	20.4082
30	1800	42.43	4557	9.00	22.9592
60	3600	60.00	4571	14.00	35.7143
120	7200	84.85	4597	26.00	66.3265
180	10800	103.92	4606	9.00	22.9592
240	14400	120.00	4629	23.00	58.6735
300	18000	134.16	4639	10.00	25.5102
360	21600	146.97	4647	8.00	20.4082
1440	86400	293.94	4791	144.00	367.3469
2880	172800	415.69	5023	232.00	591.8367

Tabla 14. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no. 1 fabricante B

Tiempo (t)		$\sqrt{t}$	Masa (m)	$\Delta m$	$\Delta m/\text{Área}/\text{densidad agua}$ = l mm
min	s	s <sup>1/2</sup>	gr	G	mm
0	0	0	4259	0.00	0.0000
1	60	7.75	4285	26.00	66.3265
5	300	17.32	4305	20.00	51.0204
10	600	24.49	4317.0	12.00	30.6122
20	1200	34.64	4337.0	20.00	51.0204
30	1800	42.43	4352	15.00	38.2653
60	3600	60.00	4381	29.00	73.9796
120	7200	84.85	4438	57.00	145.4082
180	10800	103.92	4468	30.00	76.5306
240	14400	120.00	4497	29.00	73.9796
300	18000	134.16	4526	29.00	73.9796
360	21600	146.97	4550	24.00	61.2245
1440	86400	293.94	4888	338.00	862.2449
2880	172800	415.69	5168	280.00	714.2857

Tabla 15. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no. 1 fabricante B

**Resultados de la prueba de resistencia a la compresión en por piezas individuales por zona de estudio**

<b>No. de Ensayo</b>	<b>Área Promedio (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen promedio (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>masa (kg)</b>	<b>Densidad del tabique de jalcreto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	359.04	2495.33	3.493	1399.82	45140	125.72
<b>2</b>	378.12	2646.84	3.457	1306.09	38060	100.66
<b>3</b>	382.95	2680.65	3.367	1256.04	42290	110.43
<b>4</b>	356.73	2479.27	3.266	1317.32	36460	102.21
<b>5</b>	389.90	2709.81	3.254	1200.82	38970	99.95
<b>6</b>	380.12	2660.84	3.197	1201.50	36480	95.97
<b>7</b>	387.08	2709.54	3.508	1294.68	46300	119.61
<b>8</b>	380.18	2661.28	3.612	1357.24	48040	126.36
<b>9</b>	370.15	2581.82	3.568	1381.97	43850	118.46
<b>10</b>	335.18	2346.23	3.404	1450.84	32250	96.22
<b>11</b>	369.57	2586.99	3.319	1282.96	40010	108.26
<b>12</b>	378.81	2632.69	3.438	1305.89	37130	98.02
<b>13</b>	364.50	2560.61	3.323	1297.74	37610	103.18
<b>14</b>	370.25	2573.26	3.25	1262.99	29630	80.03
<b>15</b>	368.82	2581.71	3.566	1381.26	44030	119.38

Tabla 16. Resistencia a la compresión por piezas individuales relacionados al fabricante A.

No. de Ensayo	Área Promedio (cm <sup>2</sup> )	Volumen promedio (cm <sup>3</sup> )	masa (kg)	Densidad del tabique (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	308.28	2913.20	4.137	1420.09	16990	55.11
2	339.30	3384.52	5.477	1618.25	37710	111.14
3	343.29	3441.52	4.271	1241.02	23000	67.00
4	367.13	3689.61	5.096	1381.18	54350	148.04
5	376.05	3798.11	4.279	1126.61	34480	91.69
6	382.26	3803.45	3.91	1028.01	30610	80.08
7	383.98	3753.42	3.991	1063.30	29360	76.46
8	384.68	3914.16	4.447	1136.13	37170	96.62
9	388.15	3697.13	4.511	1220.14	33220	85.59
10	385.38	3767.05	5.145	1365.79	25270	65.57
11	380.15	3782.52	4.086	1080.23	28440	74.81
12	389.54	3875.97	4.36	1124.88	30660	78.71
13	391.99	3959.09	5.394	1362.44	44430	113.35
14	384.31	3804.69	4.282	1125.45	34450	89.64
15	382.94	3829.38	4.401	1149.27	38330	100.09

Tabla 17. Resistencia a la compresión por piezas individuales relacionados al fabricante A.



## Resultados de la prueba de resistencia a la compresión en pilas planta de fabricación

Área de estudio	Resistencia promedio a la compresión por pilas en (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño en pilas en (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variabilidad
Fábrica A	27.9	20.3	0.01	0.01
Fábrica B	28.8	20.2	4.92	0.17

## Evidencias fotográficas de la fase experimental



Ilustración 29. Determinación de la masa de pieza de fabricante B.



Ilustración 30. Mortero para elaboración de pilas.



Ilustración 31. Elaboración de pilas para ensayo.



Ilustración 32. Prueba de resistencia a la compresión en pilas.