



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

TESIS DE INVESTIGACIÓN

**ESTUDIO DE LOS TABIQUES ARTESANALES DE ARCILLA COMO  
ELEMENTO DE MAMPOSTERÍA UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE  
VIVIENDAS EN EL MUNICIPIO DE MAZATLÁN**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA  
CIVIL PRESENTA

BASTIDAS MEDINA ANA CRISTINA  
ZATARAIN OSUNA IVANNA SUSETH

**DIRECTORES DE TESIS**

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

MAZATLÁN, SINALOA A DICIEMBRE DE 2022



## **AGRADECIMIENTOS**

*La realización de esta tesis no hubiese sido posible sin el apoyo de varias personas y de la institución académica, a las cuales les brindo mi agradecimiento.*

*Agradezco principalmente a mis padres y a mi hermano por su cariño, comprensión y su apoyo incondicional, que me han brindado desde siempre. Quienes con su amor y sacrificio me han formado y educado a lo largo de la vida, dejando en mí la mejor herencia que podría tener.*

*Asimismo, agradezco profundamente a la Dra. Karla Karina Romero Valdez y Dra. Rosa Edilma Garzón González quienes desde el inicio de mi universidad y a pesar de las dificultades que se nos presentaron, me brindaron su dedicación, paciencia, consejos y apoyo para sobresalir como estudiante. Sin olvidar al Ing. Cesar Domínguez y a la Ing. Gabriela Cárdenas Nuño quienes me brindaron las facilidades en el departamento de laboratorio en la realización de las prácticas requeridas.*

*A la Universidad Autónoma de Sinaloa, Escuela de Ingeniería Mazatlán, por los casi 5 años de estudio en los cuales aprendí tantas cosas que me hicieron crecer como persona y convertirme en una Ingeniera.*

*A mis compañeros y amigos por estar en todo momento conmigo, haciendo las horas de clase más amenas y por brindarme buenos momentos que quedarán en mi memoria por siempre. A Dios y a todos los que son parte de mi vida y corazón, gracias.*

**Ana Cristina Bastidas Medina**

*La presente tesis no hubiera sido posible sin el apoyo de las personas que me rodearon durante todo el periodo de mi vida universitaria y fuera de ella, a quienes estaré eternamente agradecida.*

*A Dios y a la Virgen, por iluminar mi camino durante este trayecto, por darme la fortaleza necesaria para seguir en momentos difíciles, por guiar mi camino y hacerme seguir con la confianza necesaria de que todo saldría tal como lo había soñado.*

*A mi madre, Silvia, por esperarme cada día con brazos abiertos al llegar a casa, por darme la libertad de elegir mi camino, pero siempre ir sosteniendo mi mano, por tener la mesa puesta antes y después de un día difícil, por darme su amor y apoyo incondicional, por preguntar sobre mi día a día, escucharme cada vez y por brindarme sus sabios consejos. Por estar en cada momento, por tantas noches en vela y madrugadas a mi lado. Por enseñarme el verdadero significado de estar, amor y añoranza.*

*A mi padre, Damaso, por ser mi mayor ejemplo a seguir y el mejor mentor, por darme sus consejos día con día, por alentarme a seguir mis sueños y su disposición a tomarme de la mano por el camino. Por enseñarme las más grandes lecciones de vida, por su amor incondicional y estar en cada momento, para dar respuesta a mis preguntas y darme inspiración para siempre querer conocer más.*

*A mis hermanas, Arianna y Silvita, por ser mis mejores amigas, ser el hombro sobre el cual apoyarme y estar siempre para escuchar desde mis mayores alegrías hasta mis preocupaciones, por ofrecerme su ayuda y ser una de mis motivaciones para*

*hacerlas sentir orgullosas tanto como yo lo estoy de ellas. Por provocar miles de sonrisas y extenderme su mano para ser mis fieles compañeras en el camino de la vida.*

*A mi familia en general, por educarme con tantos valores, por ser mi roca, enseñarme el verdadero significado del amor incondicional y apoyo sin medir.*

*A los mejores amigos que dejó en mi vida mi paso por la universidad, Ana Cristina, Luis Mario y Kevin Eduardo; no pude haber coincidido con mejores personas en este camino y no cambiaría ese hecho. Gracias por ser mi motivación y mis alegrías día con día al llegar al salón de clases, por sacarme una sonrisa y estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida, por ser la calma y el respiro de aire fresco que se necesitaba en tiempos de preocupaciones y estrés; por creer en mí y en mis sueños tanto como yo creo en ellos, en su potencial y en que lograrán cada meta que se propongan; por enseñarme grandes lecciones de vida y el verdadero significado de amistad. Espero en Dios su presencia en mi vida venidera y poder seguir compartiendo sueños.*

*A mis maestros que apoyaron mi formación y me brindaron los conocimientos necesarios para poder culminar esta etapa, por su incansable tarea y esfuerzo de preparar alumnos y alentarnos a cumplir nuestros sueños. Por contar con la paciencia necesaria para compartir una parte de su vida y sembrar en nuestra mente el saber. Este trabajo es tanto mío como lo es suyo, a ustedes les dedico mis logros y mi eterno agradecimiento.*

***Ivanna Suseth Zatarain Osuna.***

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I. CONSTRUCCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO .....	3
1.1 Planteamiento y descripción del problema.....	3
1.2 Justificación.....	5
1.3 Objetivos .....	7
1.3.1 Objetivo general.....	7
1.3.2. Objetivos específicos .....	7
1.4 Hipótesis .....	8
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO.....	9
2.1 Generalidades.....	9
2.2 Muros como elemento en las edificaciones.....	9
2.2.1 Muros de cargas .....	10
2.2.2 Muros divisorios .....	10
2.3 Mampostería como proceso constructivo en muros.....	11
2.4 El tabique de arcilla artesanal como elemento de mampostería .....	12
2.4.1 Materiales de fabricación, forma y dimensiones de los tabiques o ladrillos. .....	13
2.4.2 Absorción de agua de los tabiques artesanales.....	16

2.5 El tabique de arcilla como elemento estructural y no estructural. ....	19
2.6 Ensayos para determinar la resistencia a la compresión .....	21
2.6.1 Cabeceo de los especímenes de ensayo. ....	22
2.6.2 Máquina de ensayo.....	23
2.7 Cálculo de la resistencia a la compresión .....	24
2.8 Resistencia a compresión para diseño de la mampostería .....	26
2.8.1 Ensayes de pilas construidas con las piezas y morteros que se emplearán en la obra .....	26
2.8.2 A partir de la resistencia de diseño de las piezas y el mortero. ....	28
2.8.3 Resistencia de la mampostería para edificaciones Tipo I. ....	29
2.9 Morteros para la construcción de mampostería .....	29
2.9.1 Proporción en términos de volumen recomendado para mortero dosificado en obra.....	29
2.9.2 Resistencia a la compresión del mortero para fabricación de pilas.....	31
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	33
3.1 El enfoque cuantitativo de la investigación.....	33
3.2 Técnicas de investigación .....	34
3.2.1 Técnica de investigación documental .....	34
3.2.2 Determinación del espacio muestral y extracción de la muestra .....	34

3.2.3 Observación .....	35
3.2.4 Experimentación .....	36
3.2.5 Tratamiento y procesamiento de datos .....	36
3.2.6 Elaboración del informe final .....	37
CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	38
4.1 Generalidades .....	38
4.2 Proceso de elaboración de los tabiques artesanales en la región. ....	38
4.2.1 Delimitación de las zonas de estudio. ....	41
4.3 Fase experimental. Determinación de dimensiones de los tabiques o ladrillos de arcilla.....	44
4.3.1 Análisis comparativo de las dimensiones del tabique de arcilla procedente de la Zona 1. ....	46
4.3.2 Análisis comparativo de las dimensiones del tabique de arcilla procedente de la Zona 2. ....	49
4.3.3 Análisis comparativo de las dimensiones del tabique de arcilla procedente de la Zona 3. ....	53
4.4 Determinación del peso volumétrico promedio de los ladrillos de arcilla. ...	55
4.5 Absorción de agua de los tabiques artesanales.....	56
4.6 Evaluación de la resistencia a la compresión en los tabiques de arcilla .....	64



4.6.1 Cálculo de la resistencia a la compresión en piezas individuales .....	67
4.6.2 Resistencia a la compresión en pilas .....	78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	86
REFERENCIAS .....	91
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	94
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	96
ÍNDICE DE TABLAS .....	99
ANEXOS .....	101

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación denominada **Estudio de los tabiques artesanales de arcilla como elemento de mampostería utilizados en la construcción de viviendas en el municipio de Mazatlán** está regida bajo el enfoque cuantitativo, y consistió en identificar las características físicas y mecánicas del tabique (ladrillo) de arcilla como elemento de mampostería, específicamente en tres zonas fabricantes del elemento: Concordia, San Ignacio y Villa Unión, asimismo, se realizó un análisis comparativo zonal con respecto a la normatividad relacionada a esta temática.

El documento está estructurado en cuatro capítulos que a continuación describo.

El Capítulo I. Construcción del objeto de estudio, plantea el propósito de la investigación que es realizar un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los tabiques de arcilla como elementos de mampostería procedentes de diversas zonas de producción utilizadas en la construcción de viviendas del municipio de Mazatlán, Sinaloa con respecto a lo que establece la normatividad mexicana vigente, dando seguimiento a los objetivos específicos que guiaron el proceso investigativo.

Posteriormente en el Capítulo II, se sitúa el marco teórico que respalda mediante teorías, conceptualizaciones y normatividad, la temática que engloba esta tesis de investigación.

En el Capítulo III se describe la sinopsis metodológica con el fin de resaltar las técnicas de investigación adecuadas para cumplir cada uno de los objetivos establecidos.

El Capítulo IV denominado Presentación y análisis de resultados, posibilita la interpretación y el análisis comparativo que alude a la fabricación de tabiques artesanales con la normatividad correspondiente, para tal objetivo se efectuaron ensayos de laboratorio relativos a la resistencia a la compresión y la absorción del agua; estadísticas que se registraron e interpretaron conjuntamente con los resultados emitidos por las técnicas de investigación seleccionadas.

Para culminar este informe, se externan las conclusiones provenientes de las distintas fases del diseño de la investigación que a grandes rasgos manifiestan que el control de calidad en el proceso de manufactura influye en las propiedades de los tabiques hecho que posibilita la presentación de las recomendaciones expuestas en el último apartado de este documento y que contribuyen a fortalecer la temática en la que se basa este trabajo.

## CAPÍTULO I. CONSTRUCCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

### 1.1 Planteamiento y descripción del problema

Con la finalidad de generar soluciones innovadoras que respondan a las necesidades del entorno, la ingeniería civil como disciplina tecnológica se orienta a la planificación, diseño, organización y ejecución de edificaciones y obras de infraestructura de la mano con la utilización eficiente de recursos presentes en los diversos procesos constructivos.

Las estructuras que erigen un proyecto se crean para otorgar seguridad y estabilidad siendo capaces de soportar las distintas cargas a las cuales están expuestas, asimismo en cumplimiento con la funcionalidad que dicta el diseño.

Uno de los principales materiales que se usó para construir fue el barro, debido a que el suelo era arcilloso y no empleaban cimentación en sus obras. El barro lo emplearon sólo o mezclando paja formando bloques o para adobe. Más tarde, inventaron los ladrillos de arcilla secados al sol y, posteriormente los ladrillos cocidos al horno. Como el ladrillo es material poroso, para preservarlos de que absorbieran humedad y se transmitiera al interior de la edificación, los sometieron al proceso de vidriado y esmaltado. Las construcciones se hacían con ladrillo. Los muros formados con ladrillos se unían con cal o asfalto, o incluso sin ningún tipo de mortero. Conformaban muros macizos y ciegos, sin aberturas a los que se les colocaba revestimiento de cerámica cocida o cerámica vidriada coloreada (como La Puerta de Ishtar) (García Vintimilla, 2016).



Ilustración 1. Réplica de La Puerta de Ishtar de Babilonia (Kokita, 2018), una muestra de la perfección que llegó a alcanzar esta cultura respecto a la fabricación de ladrillos.

En este mismo contexto, entre los sistemas de construcción regionales destaca la mampostería, una técnica tradicional esencialmente útil en algunas edificaciones empleada con fines estructurales que permite garantizar resistencia y durabilidad, especialmente en la elaboración de muros que deben resistir cargas verticales y horizontales. Esta técnica consiste en la superposición de materiales como ladrillos, bloques de concreto, rocas, entre otros que se entrelazan con una mezcla cementante para obtener solidez en la estructura.

En el municipio de Mazatlán, Sinaloa, la construcción de edificaciones a través de mampostería de tabique artesanal es una técnica sumamente valorada, la composición de arcilla que define a estos elementos es un atributo aceptable debido a las condiciones climatológicas de la región, que se caracterizan por las altas temperaturas durante gran parte del año, que, comparable con otros elementos de mampostería como los bloques de concreto sólido, otorgan mayor confort en

términos de temperatura, aunado a la disponibilidad del elemento y la familiaridad o conocimiento de la mano de obra con este proceso constructivo.



Ilustración 2. Vivienda unifamiliar construida con tabique artesanal.

La elaboración de los tabiques de arcilla es realizada a través una técnica artesanal que consiste en el manejo de suelo arcilloso, agua y sustancias orgánicas como heces de ganado o aves, aserrín (residuo de madera), semillas de café, estopa de coco, etc. Es importante destacar que existen variaciones en relación a las dimensiones y a la composición de los ladrillos en cada sitio de fabricación, hecho que influye en las propiedades del elemento de mampostería debido a su composición y proceso de manufactura.

## 1.2 Justificación

Actualmente en el municipio de Mazatlán, la fabricación de unidades de mampostería de arcilla es llevado a cabo en su mayoría por productores a pequeña

escala. El proceso constructivo para los tabiques de tipo macizo está basado generalmente en la aplicación de técnicas artesanales propias de cada región y fabricante.

Las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos de arcilla están directamente ligadas al proceso de fabricación y a su vez a las características de los materiales constitutivos, en especial de la arcilla como materia prima principal y demás componentes de la pasta, por ende, el tipo de suelo y la ubicación de los bancos de extracción de este material es de suma importancia, puesto que de ahí se deriva la composición interna de la unidad de mampostería.

A nivel nacional, las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería rigen los parámetros de calidad propios de los tabiques, por tanto, es importante que los ladrillos artesanales cumplan con la normatividad vigente estableciendo criterios de control de calidad que brinden certeza y garantía de seguridad al usuario sobre el producto final.

En función de la gran demanda y los usos y costumbres en la utilización de ladrillos de arcilla como componente importante en los procesos constructivos de viviendas en la región (sur de Sinaloa o municipio de Mazatlán), es indispensable el estudio de las características físicas y mecánicas de estos elementos de mampostería, por lo que es pertinente la realización de un análisis comparativo entre los diversos fabricantes con el propósito de generar una base de datos con información confiable y de fácil acceso para el ingeniero civil, arquitectos, y profesionistas relacionados con el gremio.

Por lo anterior expuesto, la finalidad del presente proyecto de investigación es efectuar un diagnóstico comparativo de las características físicas del tabique de arcilla con muestras de obtenidas de la zonas de elaboración de tabique particularmente: dimensiones, peso volumétrico y absorción de humedad; así como las características mecánicas relativas a la resistencia a la compresión.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- Realizar un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los tabiques de arcilla como elementos de mampostería procedentes de diversas zonas de producción utilizadas en la construcción de viviendas del municipio de Mazatlán, Sinaloa con respecto a lo que establece la normatividad mexicana vigente.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Conocer el proceso de elaboración del tabique artesanal en las diferentes zonas de elaboración definidas.
- Determinar las propiedades físicas de los elementos de mampostería de arcilla.
- Evaluar las propiedades mecánicas de los tabiques macizos de arcilla, particularmente la resistencia a la compresión del espacio muestral.
- Elaborar el análisis comparativo con base en los estudios efectuados entre las diferentes regiones.



- Analizar comparativamente el comportamiento de los ladrillos de arcilla con base en los estudios realizados descritos en la Norma Mexicana.
- Verificar el cumplimiento los ladrillos de arcilla con respecto a de la normatividad vigente.

#### **1.4 Hipótesis**

Las propiedades físicas y mecánicas de los tabiques de arcilla están definidas principalmente por las dimensiones de los elementos y los componentes de la mezcla utilizados para su elaboración.

Los tabiques macizos de arcilla de tipo artesanal deben estar en cumplimiento con los parámetros de calidad establecidos por la norma mexicana vigente para utilizarse como elemento de mampostería estructural y no estructural.

## **CAPITULO II. MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO**

### **2.1 Generalidades**

La edificación es un espacio planeado y ejecutado para proporcionar resguardo al ser humano. En su diseño constructivo se constituye de diversos elementos que tienen la capacidad de soportar la estructura del edificio. Estos elementos se encuentran sometidos a esfuerzos de compresión, tracción, torsión, flexión y esfuerzo cortante, pero además consideran la rigidez y estabilidad del edificio.

Entre los elementos estructurales que conforman la edificación se sitúan la cimentación, vigas, columnas, losas, muros, entre otros. Para fines de esta investigación se enfatiza en los muros como un elemento estructural y no estructural.

### **2.2 Muros como elemento en las edificaciones**

Los muros (Harmsen, 2005) son elementos verticales que se usan para separar y cerrar espacios. Es uno de los elementos constructivos que más ha evolucionado dentro de los sistemas estructurales (Barros, 2005).

Los muros desempeñan dos roles funcionales: formar una envoltura que proporcione seguridad y abrigo frente a la visión exterior, el viento y la lluvia y soportan el peso de la superestructura del edificio (Mark, 2002).

### **2.2.1 Muros de cargas**

Se puede definir como muro de carga aquel que soporte unas cargas verticales además de su propio peso. Los muros de este tipo se pueden construir de piedra, ladrillo, bloques huecos o de hormigón armado. Si se disponen en los muros algunos machones o pilastras, contribuirán estos elementos a mejorar el aspecto y la resistencia de aquellos. En los edificios comerciales pequeños, el empleo de muros de carga será económico y ventajosa. En los edificios comerciales y fabriles de grandes dimensiones, en los que el factor plazo es de gran importancia, el tiempo requerido para los muros de carga y el mayor coste previsible de ejecución exigen a menudo el empleo de otros sistemas constructivos (Winter & Nilson, 2002).

### **2.2.2 Muros divisorios**

Los muros divisorios no son muros estructurales. Se utilizan para llenar el espacio entre la fachada del invernadero y el muro de masa, así como para cerrar baños, etc. Ya que no necesitan recibir cargas adicionales a su propio peso ligero, solo descansan sobre cimientos que tienen aproximadamente el mismo ancho de los muros (Reynolds, 2012).

Aparte de la función divisoria, también tienen que cumplir la importante función de aislar tanto acústica como térmicamente, y convertirse en un elemento impermeable a la humedad (Segura, 2018).

### 2.3 Mampostería como proceso constructivo en muros

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.



Ilustración 3. Arco de Labná en Yucatán, un yacimiento que data entre los años 600-900 d.c., elemento fundamental de la arquitectura maya del sureste mesoamericano. Consta de colocar bloques escalonados en ambos lados de un vano hasta que éstos se encuentran en un punto medio. *Fuente: Secretaría de Cultura.*

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.

Para efectos de las Normas 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 tabique de arcilla artesanal como elemento de mampostería**

El tabique o ladrillo de arcilla artesanal es la piedra artificial de mayor uso en la construcción desde la civilización babilónica. Desde esa época se han agregado diversos tipos con incorporaciones de materiales a la arcilla primitiva y procesos de fabricación que brinda la tecnología (Nieto, 2009).

El término arcilla se emplea para designar la roca sedimentaria dispersa y compuesta por partículas de minerales hojosos compuestos esencialmente de silicatos de aluminio hidratados y que, en mayor parte, se hallan como fracción pelítica (de 1 a 0.1 micras) e impurezas de otros minerales. Los minerales arcillosos de dispersión fina mezclados con el agua comunican a la arcilla plasticidad, aptitud para el moldeado y capacidad de conservar la forma obtenida después del secado (Avgustinik, 1983).

La norma NMX-C-037-ONNCCE-2013 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.

En este mismo sentido la norma NMX-C-038-ONNCCE-2013 define al tabique o ladrillo como un componente para uso estructural, de forma prismática fabricado con arcillas comprimidas o extruidas, mediante un proceso de cocción o de otros materiales con procesos diferentes.

#### **2.4.1 Materiales de fabricación, forma y dimensiones de los tabiques o ladrillos.**

La fase experimental relacionada a la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los tabiques artesanales de arcilla está sujeta al cumplimiento de las

normas mexicanas vigentes sobre bloques en función de cada uno de los campos de estudio.

En lo relativo a la verificación de las dimensiones de los especímenes de prueba se hace referencia a la Norma Mexicana NMX-C-038- ONNCCE – 2013.

Los productos objetos a los que hace referencia esta norma son clasificados en tres tipos: bloques, tabique (ladrillo) y tabicón. Para fines de esta investigación se precisa en lo relativo al tabique o ladrillo haciendo énfasis en los materiales utilizados para la fabricación, así como en su forma (Tabla 1).

Tipo de pieza	Materiales	Forma
<b>Tabique (ladrillo)</b>  <b>Macizo</b>  <b>Hueco</b>  <b>Multi perforado</b>	Barro cocido  Barro Extruido  Otros (concreto)	Rectangular

Tabla 1. Clasificación del tabique o ladrillo de acuerdo a su material de fabricación y forma. *Fuente:* NMX-C-038-ONNCCE-2013.

Asimismo, en lo que respecta a las dimensiones nominales mínimas para tabiques de barro (ladrillos) de piezas macizas, la norma expresa que se debe cumplir con las siguientes medidas: 5 cm de alto, 10 cm de ancho y 19 cm de largo con una tolerancia de  $\pm 3$  mm en cualquier dimensión, sin incluir la junta de albañilería.

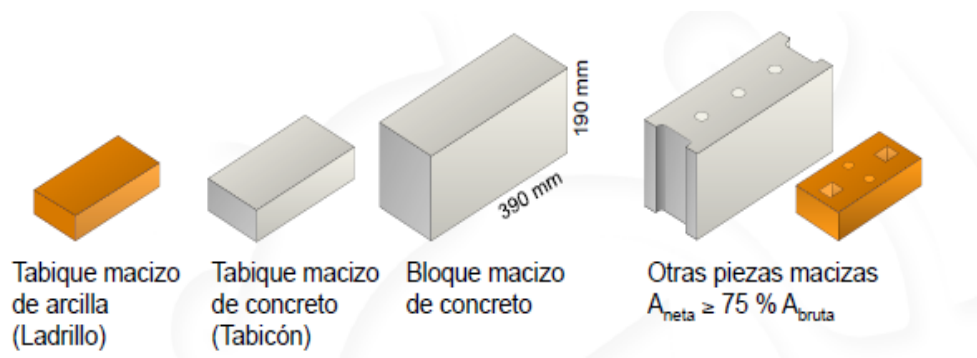


Ilustración 4. Ejemplo de piezas macizas. Fuente: *NMX-C-038-ONNCCE-2013*.

Adicionalmente esta normatividad establece que para la realización del método de prueba que evalúe la determinación de las dimensiones de los tabiques, ladrillos, bloques y tabicones para la construcción, es necesario usar los siguientes instrumentos:

- Regla o vernier. Se puede usar 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.



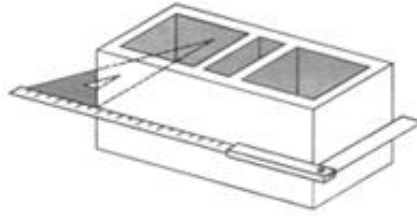


Ilustración 5. Proceso de determinación de dimensiones de espécimen. *Fuente: NMX-C-038-ONNCCE-2013.*

Con relación a 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.

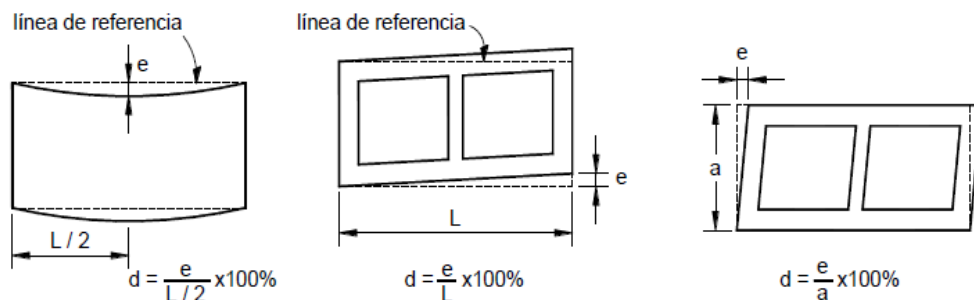


Ilustración 6. Desviación de las aristas de las piezas de mampostería.

#### 2.4.2 Absorción de agua de los tabiques artesanales.

El fenómeno de absorción de agua en los elementos de mampostería es una propiedad significativa en el material, debido a la relación que mantiene en menor o

mayor medida con la contracción del elemento. De igual manera, el porcentaje de absorción es un indicador cuya importancia radica en la influencia directa en la adherencia entre el elemento de mampostería y el mortero.

En relación con las pruebas de absorción, ésta hace referencia a la Norma Mexicana NMX-C-037-ONNCCE-2013, que establece el método de ensayo para la determinación de la cantidad de agua que absorben las piezas de mampostería, así como la absorción inicial por capilaridad. Esta norma es aplicable a los bloques, tabiques o ladrillos y tabicones de concreto, cerámicos o de cualquier otro material para la construcción, en las condiciones que se especifican.

Esta normatividad define la **absorción inicial** como 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. En adición, precisa 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.

La Norma Mexicana 037-ONNCCE – 2012, es un referente para efectuar las pruebas correspondientes a la absorción del agua para elementos de mampostería. En atención a ésta, la ecuación que permite determinar el coeficiente de absorción es:

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

Ecuación 1. Coeficiente de absorción inicial.

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)

La norma NMX-C- ONNCCE 404 2012 muestra los valores máximos de absorción inicial para muros expuestos al exterior y muros interiores en (g/min), así como el porcentaje de absorción total de agua en 24 horas.

Tipo de material	Absorción inicial para muros expuestos al exterior (g/min)	Absorción inicial para muros interiores o con recubrimiento (g/min)	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 absorción total por material de mampostería.

## **2.5 El tabique de arcilla como elemento estructural y no estructural.**

La mampostería estructural es un sistema compuesto por piezas que conforman sistemas monolíticos que pueden resistir cargas de gravedad, sismo y viento que deben estar sujetas a normas que establecen los requisitos mínimos para el análisis, diseño y construcción de estructuras de mampostería. Las piezas usadas en los elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con la Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE 2013.

Mientras tanto, para uso de mampostería no estructural, la Norma Mexicana NMX-C-441-ONNCCE 2013 hace alusión a las piezas de 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 mínima individual a compresión deben cumplir con los valores señalados en la normatividad vigente acorde al uso del tabique o ladrillo macizo.

Este marco normativo señala que la resistencia a la compresión para tabiques o ladrillos de uso estructural debe estar en apego a la norma NMX-C-404-ONNCCE 2012 que manifiesta para piezas individuales el cumplimiento de los indicadores establecidos en la siguiente tabulación:

Tipo de pieza	Configuración	Resistencia media $\bar{f}_p$ 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 de uso estructural. *Fuente:*

*NMX-C-404-ONNCCE 2012.*

Con base en los parámetros indicados en la tabla anterior, para los tabiques macizos de uso estructural es señalado una resistencia media de 110 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la resistencia mínima individual de la prueba a compresión para este elemento es de 70 kg/cm<sup>2</sup>.

En referencia al tabique 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 como es indica en la tabla continua:

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

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

Basado en los indicadores anteriores, los tabiques macizos para uso no estructural deben cumplir una resistencia promedio de 30 kg/cm<sup>2</sup>, a su vez una resistencia mínima individual de 24 kg/cm<sup>2</sup>.

## 2.6 Ensayos para determinar la resistencia a la compresión

Para verificar el cumplimiento de los parámetros relativos a la resistencia a la compresión, es necesario realizar pruebas de resistencia a la compresión sujetos a la Norma Mexicana NMX-C-036-ONNCCE-2013, que establece el método de ensayo para la determinación de 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.

Al realizar las pruebas de laboratorio para la evaluación de la resistencia a la compresión, se requiere cabecear los especímenes, buscando garantizar la mayor planicidad posible entre los elementos y la placa de la prensa donde se colocan los mismos, para que se aplique una carga uniforme en toda el área del elemento.

En la norma NMX-C-036-ONNCCE 2013 se establece que para la ejecución de las pruebas de resistencia a la compresión es necesario la preparación de las probetas de ensayo.

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

Las superficies cabeceadas de los especímenes deben de ser plana, dentro de una tolerancia de  $\pm 0.05$  m en una longitud de 150 mm tomada en dos direcciones ortogonales.

Durante los procedimientos de cabeceos, los planos de las bases cabeceadas de un espécimen de cada lote en estudio deben de ser verificados por medio de regla rígida de bordes rectos y calibradores de laminillas para espesores, tomando un mínimo de dos lecturas en cada una de las longitudes ortogonales seleccionadas para asegurar que las superficies no se aparten de un plano en más de 0.05 mm. 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 fines de la experimentación el trabajo investigativo se enfoca en el proceso de cabeceo a través del uso de azufre.

- Cabeceo con azufre o mortero de azufre. Colocar la placa cabeceadora en una superficie horizontal, firme, plana y 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.

### 2.6.2 Máquina de ensayo

Posterior al cabeceo, las probetas son colocadas en las máquinas de ensayos para efecto de la ejecución de las pruebas de la resistencia a la compresión.

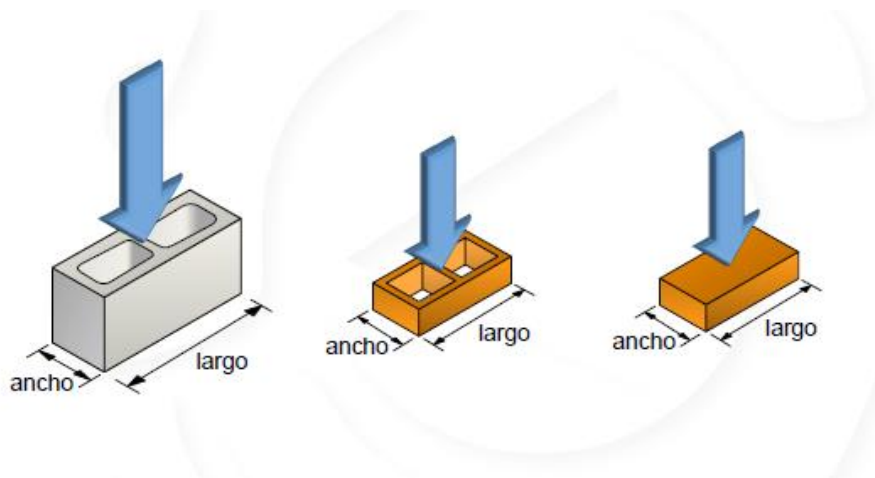


Ilustración 7. Ensayo a la compresión. Fuente: NMX- C- 404 ONNCCE – 2012.

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).

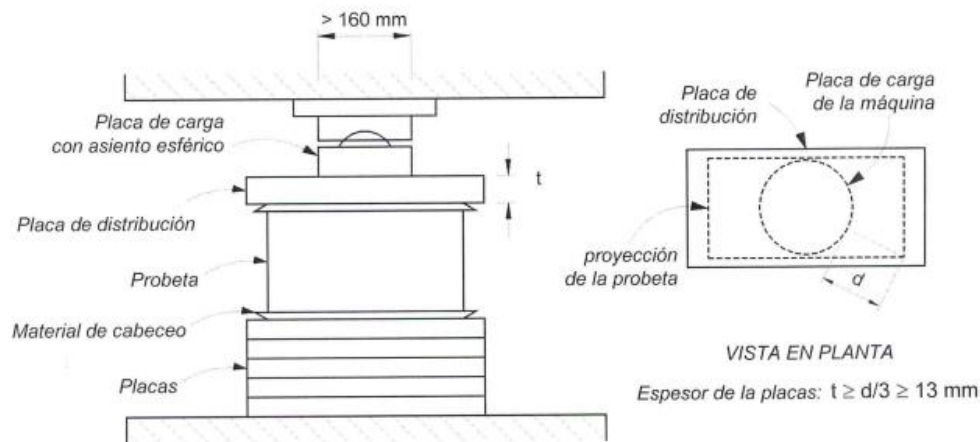


Ilustración 8. Placas de distribución de carga para ensayo a compresión. Fuente: NMX-C-036-ONNCCE-2013.

## 2.7 Cálculo de la resistencia a la compresión

La norma NMX-C-036-ONNCCE-2013 que atiende los métodos de ensayo para la prueba a la compresión indica que la resistencia de diseño se determinará con base en la información estadística existente sobre el producto o a partir de muestreos de la pieza, ya sea en planta o en obra. Si se opta por el muestreo, se obtendrán, al menos, tres muestras, cada una de diez piezas, de lotes diferentes de la producción.

En el cálculo de la resistencia a la compresión se hace alusión a la expresión:

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

Ecuación 2. 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 de un conjunto de piezas la ecuación que determina la resistencia es:

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

Ecuación 3. Resistencia de diseño.

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.

## **2.8 Resistencia a compresión para diseño de la mampostería**

Las Normas Técnicas Complementarias de Mampostería (NTCM) son el reglamento utilizado en la ciudad de México para el cálculo estructural de la mampostería. Este reglamento establece el diseño estructural y la construcción con el uso de distintos tipos de piezas de mampostería. A su vez, las NTCM se apoyan en el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE) el cual 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.

### **2.8.1 Ensayos 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.

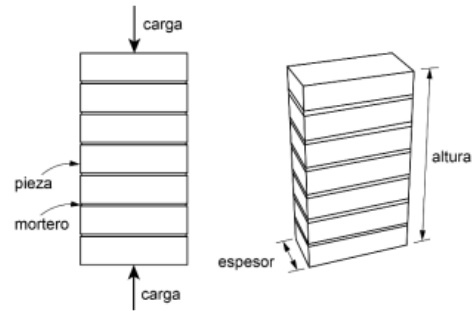


Ilustración 9. Pila para prueba en compresión. Fuente: NMX-C-464-ONNCCE 2010.

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 5. 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:

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

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.

### 2.8.2 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  $f'_p \geq 10 \text{ MPa}$  ( $\approx 100 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ ).

$f'_p$ MPa ( $\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ ) <sup>1</sup>	$f'_m$ MPa ( $\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ )	
	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 6. 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

$$7.5 \text{ MPa} \approx 75 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}.$$

### **2.8.3 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.

## **2.9 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.

### **2.9.1 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 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 7. Proporcionamiento, en volumen, recomendados para mortero dosificado en obra.

En relación con el 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 con 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.

### 2.9.2 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 4. 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 dosificado y elaborado en obra.

## CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 El enfoque cuantitativo de la investigación

El enfoque de la investigación dictamina la naturaleza del estudio. Es la forma en la que el investigador se aproxima al objeto de estudio. Por ende, en este trabajo definimos investigación como:

La búsqueda de conocimientos y verdades que permitan describir, explicar, generalizar y predecir los fenómenos que se producen en la naturaleza y en la sociedad (Zorrilla S., 2000).

Los pasos metodológicos de este trabajo de investigación denominado ***Estudio de los tabiques artesanales de arcilla como elemento de mampostería utilizados en la construcción de viviendas en el municipio de Mazatlán*** está sustentado bajo el enfoque cuantitativo, definido por ser un proceso estructurado y en el cual se miden variables del objeto de estudio, a través del análisis estadístico por medio de los instrumentos de recolección de datos, encaminados a comprender e interpretar los fenómenos estudiados.

Es importante mencionar que, para el desarrollo de la investigación, se llevó a cabo la aplicación de una serie de técnicas que coadyuvaron a fortalecer el proceso y las cuales se conceptualizan a continuación.

## **3.2 Técnicas de investigación**

Las técnicas de investigación (Yuni, 2014) deben entenderse como un conjunto amplio de procedimientos orientados al desarrollo de instrumentos de evaluación o medición, a su aplicación y uso de acuerdo a sus características. Estas se han seleccionado para analizar los datos y definir los procedimientos seguidos para tal fin.

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

Para la teórica Guillermina Baena (Baena, 2017) la investigación documental es la búsqueda de una respuesta específica a partir de la indagación en documentos.

La principal función de esta técnica es seleccionar y recopilar la información requerida a través de documentos bibliográficos tanto físicos como digitales, libros, revistas y artículos científicos entre otros recursos documentales necesarios para el estudio.

El objetivo de su aplicación permitió extraer la información pertinente del conjunto de fuentes examinadas con la intención de establecer el marco teórico que sustenta esta investigación.

### **3.2.2 Determinación del espacio muestral y extracción de la muestra**

Una muestra puede definirse como un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse o delimitarse de antemano con precisión, este deberá ser representativo de dicha población (Sampieri, 2010).

Para efectos de esta investigación se definieron dos espacios muestrales. El primero está relacionado con la selección de los fabricantes que elaboran los tabiques artesanales de arcilla en la zona sur del estado y que proveen de este elemento a las edificaciones de la ciudad de Mazatlán, esta región circundante fue determinado mediante un muestreo intencional.

Por otro lado, el siguiente espacio es integrado por elementos extraídos de la población a través del muestreo aleatorio simple el cual define los lotes y la cantidad de tabiques sujetos al proceso de experimentación.

### **3.2.3 Observación**

Una de las técnicas del trabajo de investigación que se emplea comúnmente es la observación, definida como la utilización de los sentidos para la percepción de hechos o fenómenos que nos rodean o son de interés del investigador (Tamayo, 2002).

Es una técnica donde el rigor científico lo otorga la aplicación de los diferentes instrumentos que permitieron examinar de manera ordenada lo procedente.

Para fines de esta investigación, se llevó a cabo la observación no participante, la cual permite la verificación en relación con la elaboración de este elemento de mampostería, el uso dentro del proceso constructivo de muros aplicados en viviendas empleando tabiques artesanales de arcilla como elemento estructural.

### **3.2.4 Experimentación**

La investigación experimental (Baeza, 2014), se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

En esta indagación, se aplicaron una serie de pruebas de laboratorio a los tabiques artesanales de arcilla que constituyen la muestra en estudio, los cuales fueron extraídos de los diferentes fabricantes de la región, con la finalidad de determinar algunas propiedades físicas y mecánicas indicadas en la descripción de la temática que engloba esta investigación.

Estos ensayos permitieron evaluar la resistencia a la compresión individual y en conjunto de los tabiques como elemento de mampostería, así como la determinación del coeficiente de 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 estructural y no estructural.

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

Los procesos enunciados representan las fases del proceso de investigación, que coadyuvan a la comprobación de las hipótesis del estudio y el alcance de los objetivos establecidos. Es esta etapa la que se centra en la recopilación y articulación de la información derivada de las diferentes técnicas descritas.

Después de ordenada la información, es precedida la etapa de procesamiento de datos, permitiendo agilizar el análisis e interpretación de los mismos y dando origen a las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

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

Es la última faceta de la investigación, mediante la cual se describen los resultados obtenidos por medio de las diferentes técnicas y, que dan respuesta a las preguntas que van dirigidas a dicha investigación.

De este modo, este apartado expresa las conclusiones obtenidas durante la ejecución y finalización del proyecto, mismas que son otorgadas al finalizar las acciones establecidas en este informe metodológico.

## **CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **4.1 Generalidades**

Una vez aplicadas las diversas técnicas de investigación definidas en el esquema metodológico, se procede a realizar el tratamiento correspondiente de la información para objeto de análisis e interpretación, con la finalidad de lograr el cumplimiento del objetivo general establecido para este este proyecto de investigación:

- Realizar un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los tabiques de arcilla como elementos de mampostería utilizados en viviendas del municipio de Mazatlán procedentes de diversas zonas de producción con respecto a lo establecido a la normatividad mexicana vigente.

### **4.2 Proceso de elaboración de los tabiques artesanales en la región.**

La información dada a conocer en este apartado es producto de la técnica de observación no participante desarrollada en los diversos espacios muestrales de los sitios de fabricación de los tabiques o ladrillos de arcilla artesanales definidos para el transcurso de la investigación.

Los ladrillos o tabiques artesanales en la región del municipio de Mazatlán y su entorno, se elaboran por lo general en zonas cercanas a cuerpos de agua.

El proceso de fabricación se realiza de forma manual a través de la manipulación de una mezcla de suelo arcilloso extraído de sitios colindantes, incorporando a esta

masa, agua y material orgánico tales como excreta de ganado o aves, aserrín (residuo de madera), semillas de café, estopa de coco, entre otros elementos cuya selección depende de un enfoque cultural, así como de los costos y disponibilidad de estos productos, cuya función es actuar como sustancia aglutinante y otorgar mayor solidez en la parte interna del elemento durante la etapa de cocido.



Ilustración 10. Depósito de suelo arcilloso.

Simultáneamente esta masa se traslada hacia el lugar en dónde se tenderán los ladrillos. En el espacio determinado para el alojamiento de los tabiques son removidos los excesos de piedras gruesas del terreno de trabajo para evitar daños en su constitución. Posteriormente se humedece con agua el molde prismático de forma rectangular de dimensiones variables para remover con facilidad la masa una vez que haya tomada las dimensiones requeridas. Lubricado el molde, la mezcla es vertida aplicando presión con las manos y retirando el excedente, para así hacer el desmoldado sin dañar la forma de los tabiques.





Ilustración 11. Proceso de elaboración de tabique.

Las piezas de tabique crudo pasan a la etapa de secado natural siendo expuestos al sol hasta que se pierda la humedad por ambos lados.



Ilustración 12. Fase de secado.

Después se integran a la fase de cocimiento a través de la conformación de una estructura de forma piramidal para el procedimiento de horneado con leña de la región hasta lograr la solidificación del mismo.



Ilustración 13. Proceso de horneado.

#### 4.2.1 Delimitación de las zonas de estudio.

La fase experimental de esta investigación requiere la selección de los especímenes de estudio, para tal efecto se determinaron zonas geográficas de fabricación de tabiques a través de un proceso de muestreo no probabilístico intencional, definiendo sitios con representatividad de aporte de ladrillos de arcilla para la construcción de edificaciones en el municipio de Mazatlán, cuya clasificación se denota a continuación:

- **Zona 1.** El área de producción se encuentra ubicada en el municipio de Concordia, Sinaloa, en la colonia Labastida Ochoa en el poblado La Vía, cuyo acceso es a través de la carretera número 55 Mazatlán – Durango.



Ilustración 14. Zona 1. Concordia, Sinaloa.

- **Zona 2.** El tabique se realiza en la cercanía al arroyo de la comunidad de Coyotitán, San Ignacio, Sinaloa, ubicada en el kilómetro 66 de la carretera No. 15 Mazatlán – Culiacán, México.



Ilustración 15. Zona 2. Coyotitán, San Ignacio.

- **Zona 3.** Está área de estudio se localiza en la cercanía de la población de El Pozole, Villa Unión, Sinaloa ubicado a las márgenes del Río Presidio.



Ilustración 16. Zona 3. El Pozole, Villa Unión, Mazatlán, Sinaloa.

Es importante mencionar que cada zona en específico atribuye características particulares a los elementos de mampostería, primordialmente ligadas a las propiedades intrínsecas de la arcilla de la región y en segundo término a los materiales orgánicos integrados a la mezcla.

En tal sentido, dado que la Zona 1 se ubica en el municipio de Concordia, una localidad con énfasis en la industria mueblera, el material orgánico utilizado en la mezcla es predominantemente aserrín, mientras que en la Zona 1 y 3, correspondiente a la región ladrillera de El Pozole, Villa Unión, Mazatlán, Sinaloa, así como la fábrica de San Ignacio, se utiliza estopa de coco, semilla de café, estiércol de ganado y ave como material orgánico.

A partir de la delimitación de las zonas de estudio se procedió a definir el número de especímenes de ensayo, estableciendo 30 unidades de mampostería por área proveedora a través del muestreo intencional para un total de 90 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.



Ilustración 17. Especímenes de ensayo.

#### **4.3 Fase experimental. Determinación de dimensiones de los tabiques o ladrillos de arcilla.**

La fase experimental relacionada a la determinación de las propiedades físicas de los tabiques artesanales de arcilla está sujeta al cumplimiento de las normas mexicanas vigentes.

Referente a la verificación de las dimensiones de los especímenes de prueba, las mediciones efectuadas estuvieron basadas en la Norma Mexicana NMX-C-038-ONNCCE – 2013.

La dimensión de un espécimen o pieza de ladrillo 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 tabiques de arcilla (ladrillos) de piezas macizas debe tener una longitud mínima 5 cm de espesor, 10 cm de ancho y 19 cm de largo.

Con base en lo anterior, se procedió a realizar la valoración de las dimensiones del tabique artesanal utilizando para su medición una regla metálica graduada con aproximación de 1 mm.

Debido a que el tabique es un prisma rectangular, se realizaron cuatro lecturas por cada dimensión, para calcular una longitud promedio en centímetros para la anchura, largo y espesor de cada unidad.



Ilustración 18. Determinación de las dimensiones de los especímenes de ensayo.

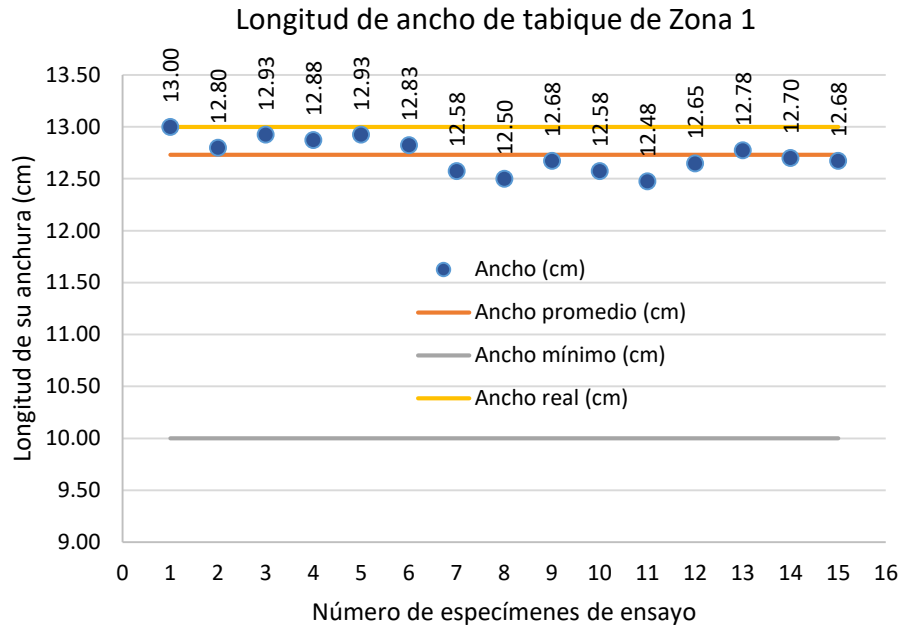
Es importante hacer mención que las magnitudes físicas de los tabiques son variables de acorde a la zona de fabricación, por lo que las dimensiones de sus lados que para efectos de comparación son consideradas como reales, están definidas por las medidas internas del molde de madera utilizado en su proceso constructivo.

#### **4.3.1 Análisis comparativo de las dimensiones del tabique de arcilla procedente de la Zona 1.**

Vinculado al punto anterior, se tiene que para la Zona 1 correspondiente al área de producción ubicada en el municipio de Concordia, Sinaloa se emplea para la fabricación del tabique de arcilla un molde de 13 cm de ancho, 26.5 cm de largo y 5.5 cm de altura o espesor.

La longitud del ancho del tabique de los especímenes de ensayo de la Zona 1 obtuvieron una media aritmética de 12.73 cm con una desviación estándar de 0.162

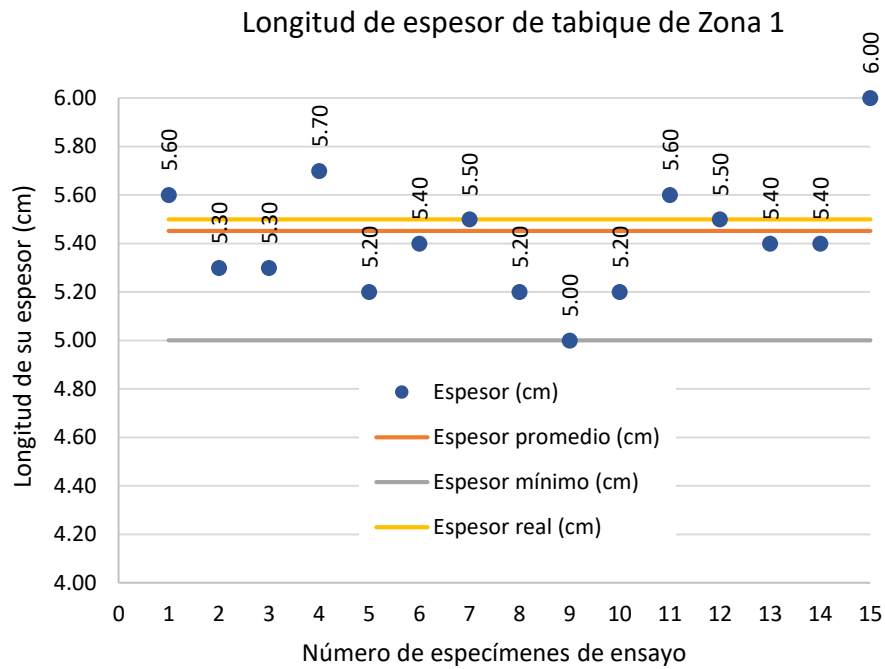
cm. Asimismo, con respecto a la medida del molde, se determinó un alejamiento promedio de 0.323 cm, tal como se representa en la gráfica continua.



Gráfica 1. Longitud de ancho de tabique Zona 1.

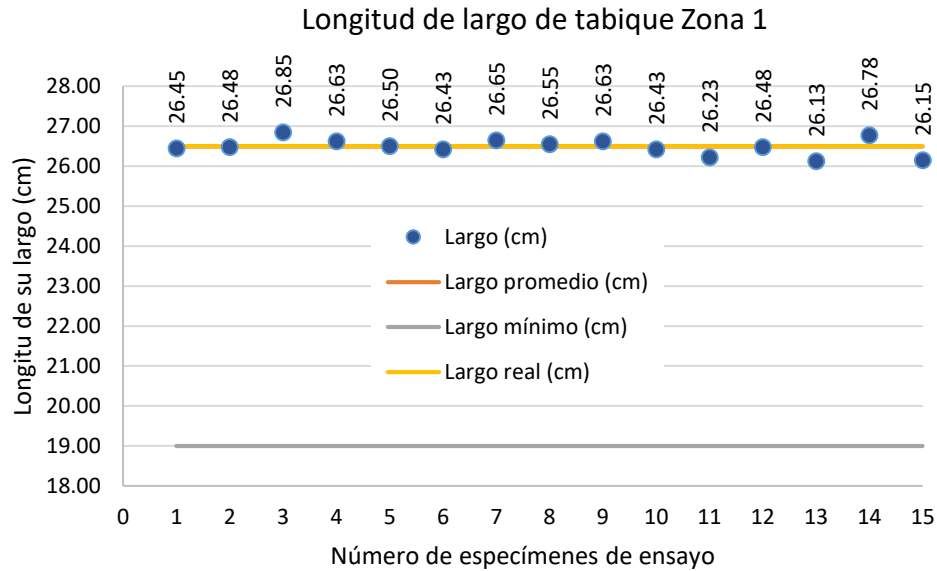
Del mismo modo, relativo a la medida del espesor o altura del tabique de esta misma zona de estudio, el promedio calculado corresponde a 5.45 cm con una desviación estándar de 0.207 cm (gráfica 2). Mientras tanto, con respecto a la medida del molde la dispersión es de 0.213 cm.





Gráfica 2. Longitud de altura de tabique Zona 1.

De modo similar, para las unidades de mampostería evaluadas se determinó un valor de 26.49 cm como media de longitud de largo de tabique, existiendo a su vez una concordancia en la extensión de la dispersión entre los elementos de la muestra y además entre los especímenes con respecto a la dimensión del molde de 0.208 cm tal como se visualiza en el gráfico siguiente.



Gráfica 3. Registro de la longitud del largo de las unidades extraídas de la Zona 1.

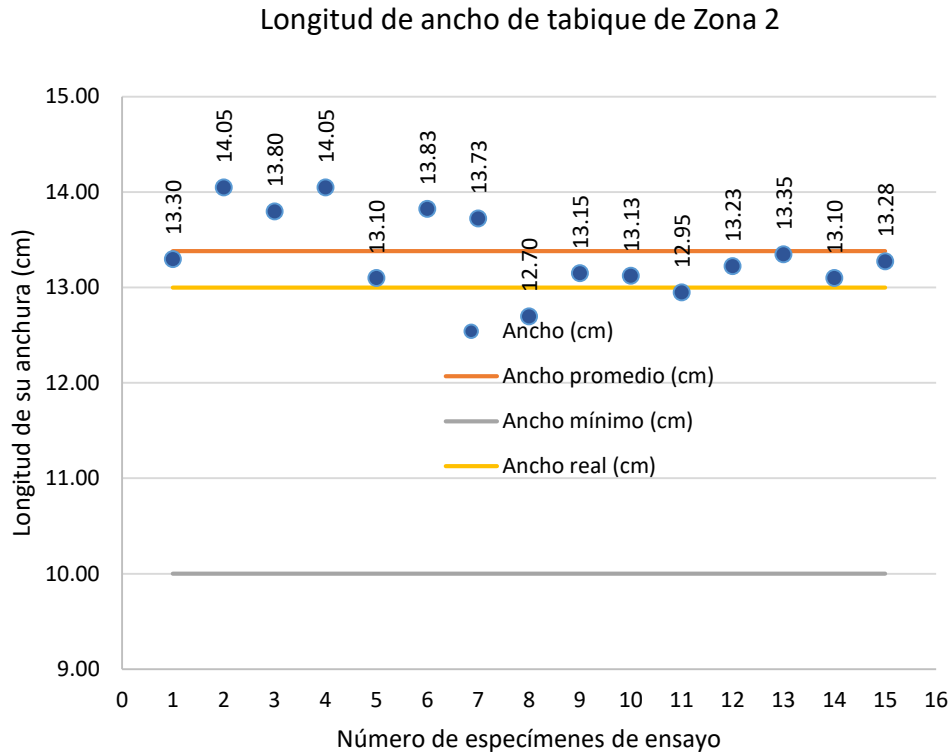
Cabe hacer mención, que las tres dimensiones de los tabiques o ladrillos de arcillas evaluadas son superiores a los límites mínimos establecidos en la Norma Mexicana NMX-C-038- ONNCCE – 2013.

#### **4.3.2 Análisis comparativo de las dimensiones del tabique de arcilla procedente de la Zona 2.**

La región ladrillera del municipio de San Ignacio definida como Zona 2 utiliza para la elaboración del tabique artesanal un molde de 13 cm de ancho, 26 cm de largo y 7 de altura o espesor, siendo esta última dimensión, el valor mayor de las unidades analizadas en la investigación.

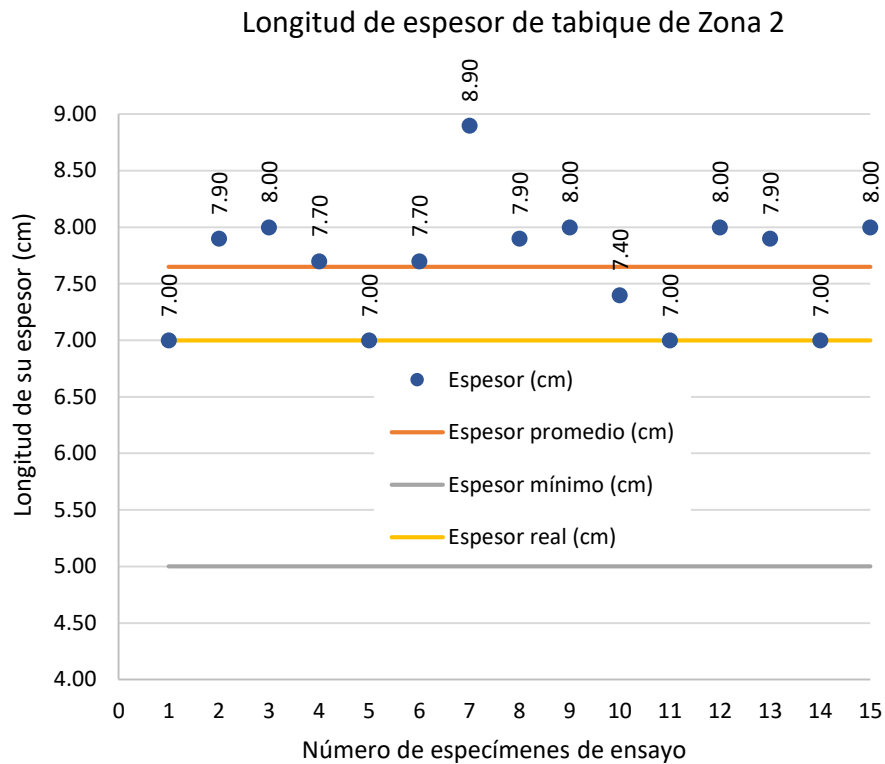
Las unidades de ensayo de esta zona obtuvieron una media aritmética en relación al ancho del tabique de 13.38 cm con una desviación estándar de 0.410 cm. En

comparativo con el molde considerada como medida real de fabricación, el alejamiento promedio es de 0.570 cm.



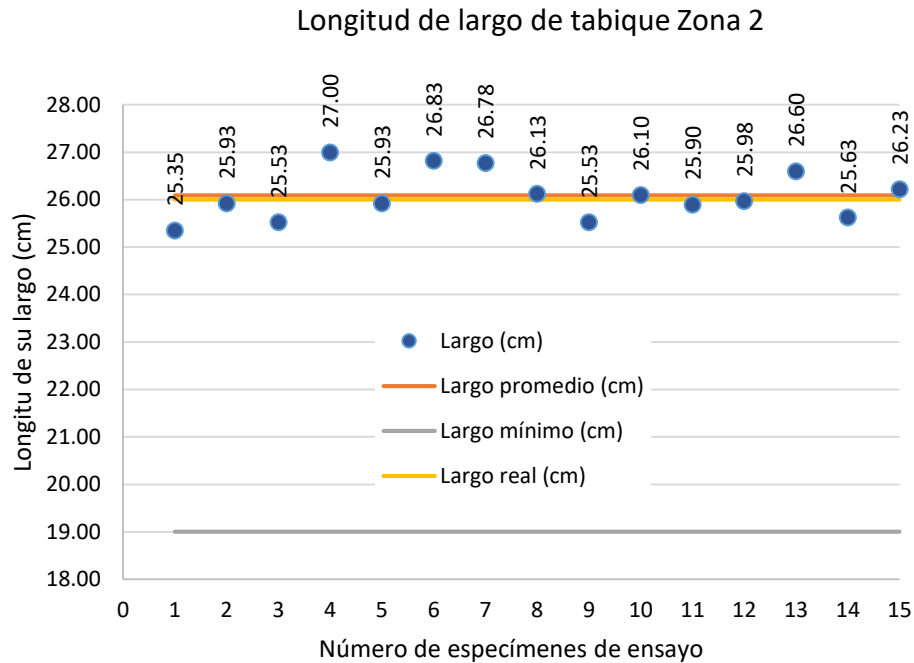
Gráfica 4. Registro de la longitud del ancho de los especímenes muestrales de la Zona 2.

Con respecto al espesor o altura del ladrillo artesanal de arcilla, para la Zona 2 se obtuvo una media aritmética de 7.65 cm, valor que supera al mínimo establecido en la normatividad. Aunado a esto, la desviación estándar resultante es de 0.397 cm, lo cual es un alejamiento significativo (gráfica 5). El indicador de dispersión promedio en comparación con la medida del molde es de 0.781 cm.



Gráfica 5. Valores obtenidos en relación a la altura de tabiques de la zona de fabricación No. 2.

Los elementos de mampostería obtuvieron en relación al largo del ladrillo artesanal, una media de 26.09 cm como media de longitud de largo de tabique, mostrando una extensión promedio de la dispersión entre los elementos de la muestra de 0.509 cm. Sin embargo, la desviación en referencia con la dimensión de 26 cm del molde es ligeramente más amplia situándose en 0.518 cm.



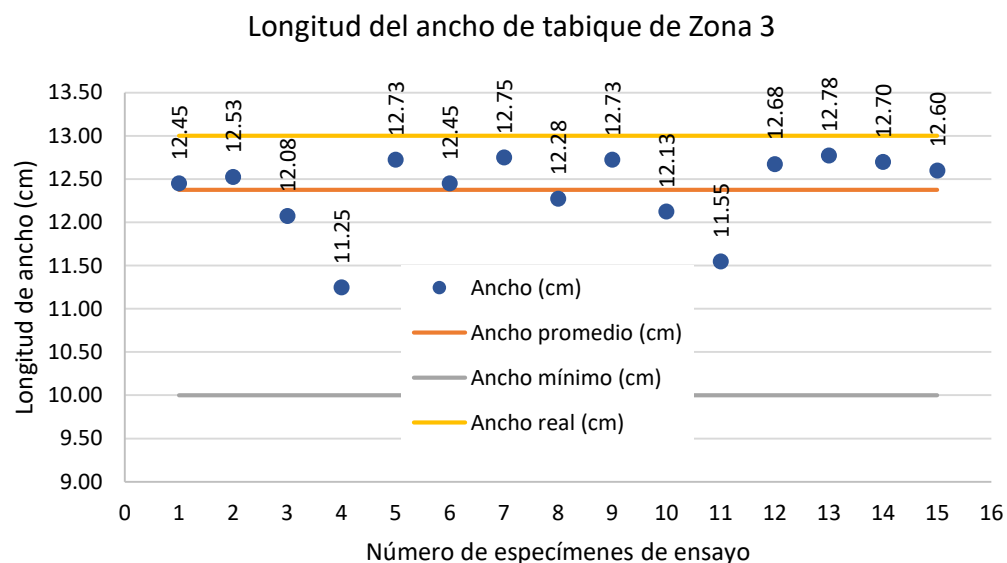
Gráfica 6. Dimensionamiento de las muestras extraídas de la Zona 2, en función de su largo.

Cabe enfatizar que de acuerdo a los indicadores estadísticos obtenidos y el proceso de observación llevado a cabo sobre las dimensiones de los tabiques de arcilla de la zona 2, se presentan alejamientos promedio considerables entre los elementos del espacio muestral, asimismo con referencia al molde constructivo, hecho que es un valorable factor de influencia en el proceso de construcción de muros de mampostería.

### 4.3.3 Análisis comparativo de las dimensiones del tabique de arcilla procedente de la Zona 3.

Para la elaboración de los tabiques de arcilla roja recocido fabricados en la Zona 3 situada en la región de la sindicatura de Villa Unión, fue empleado una base de moldeo de 13 cm de ancho, 26 cm de largo y 5.5 cm de altura o espesor.

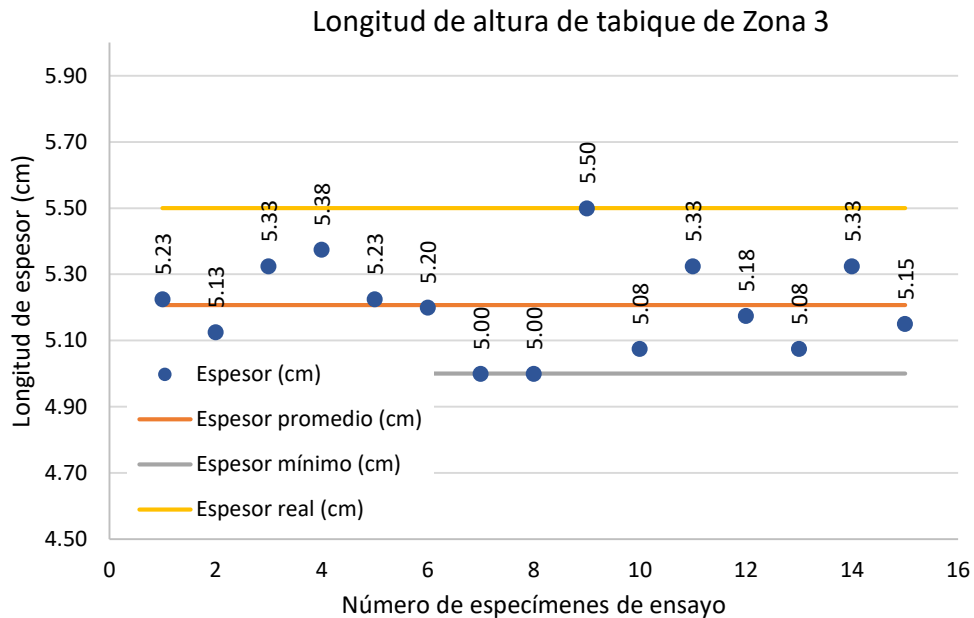
Los especímenes de la Zona 3 arrojaron una media aritmética en relación al ancho del tabique de 12.38 cm, con una desviación estándar de 0.458 cm que en comparación con el molde usado para la fabricación, el alejamiento promedio es de 0.791 cm.



Gráfica 7. Registro de la longitud del ancho de los especímenes muestrales de la Zona 3.

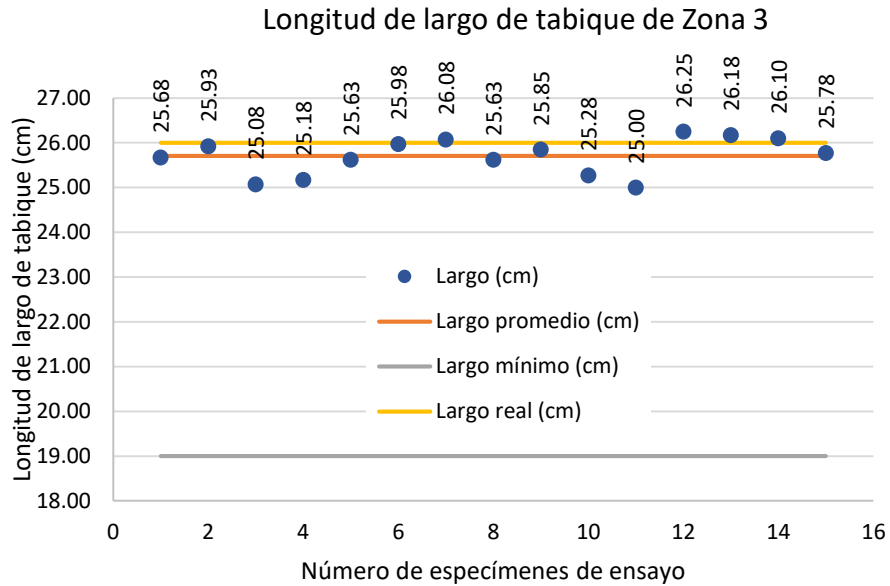
Como resultado promedio de la altura del ladrillo artesanal de arcilla relacionado con la Zona 3, se estimó un valor promedio de 5.21 cm situado por encima de 5 cm, parámetro señalado en la norma correspondiente. Además, la desviación estándar,

medida de dispersión evaluada es 0.143 cm. Con respecto, a la dispersión de los datos con respecto al elemento de moldeo, está situado en de 0.336 cm.



Gráfica 8. Valores obtenidos en relación a la altura de tabiques de la zona de fabricación No. 3.

El promedio del largo del tabique artesanal referente a la Zona 3 es de 25.71 cm con una dispersión promedio de 0.408 cm. Mientras tanto, la desviación promedio determinada en relación de la medida del molde 0.509 cm.



Gráfica 9. Dimensionamiento de las muestras extraídas de la Zona 3, en función de su largo.

Es importante destacar que estadígrafos determinados para los tabiques proveniente de las tres zonas de estudio se encuentra por encima de los límites mínimos referente en la norma NMX-C-038- ONNCCE – 2013.

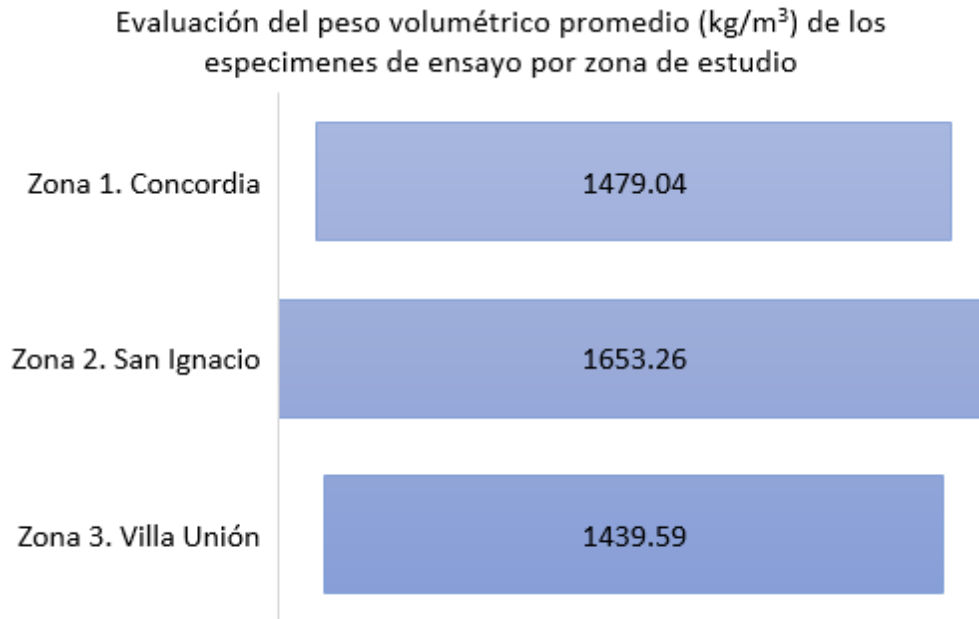
#### **4.4 Determinación del peso volumétrico promedio de los ladrillos de arcilla.**

El ladrillo macizo es producto de la arcilla que al ser cocido a temperaturas elevadas produce una baja absorción y una alta resistencia a la compresión. La densidad del ladrillo cocido varía en función de su masa y volumen.

La masa indica la cantidad de materia contenida en un cuerpo. Para los ladrillos, se tomó el valor obtenido en seco en la balanza digital. 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 las diversas zonas ladrilleras y cuyos resultados se muestran en la siguiente gráfica.



Gráfica 10. Peso volumétrico promedio de los tabiques de arcilla por jerarquía de zona.

Como se puede observar en la gráfica 10, los tabiques de arcilla de la Zona 2 de San Ignacio, destaca en peso volumétrico sobre las otras zonas, esto debido a que las dimensiones del molde son mayores y requieren una cantidad superior de masa de arcilla para su elaboración.

#### **4.5 Absorción de agua de los tabiques artesanales.**

Entre las propiedades físicas que se estudiaron en los ladrillos de arcilla se encuentran, la tasa inicial de absorción y la absorción de agua.

En la fase experimental ha sido determinado el porcentaje de absorción para cada unidad de mampostería de arcilla extraídas de las diferentes zonas ladrilleras, con el fin de establecer si cumple con la absorción establecida a la que hace referencia a 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.

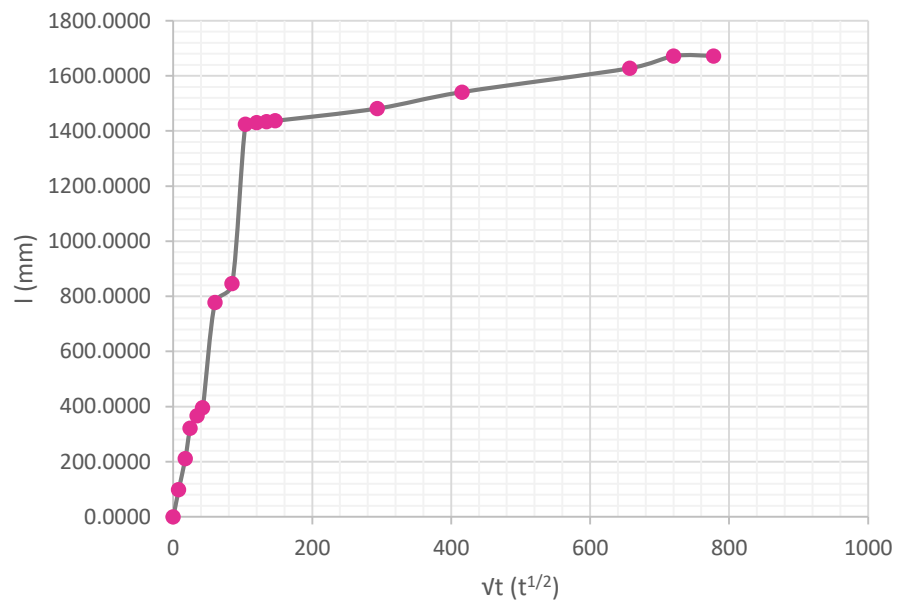
La prueba de absorción capilar realizada a los especímenes consistió en colocar las piezas que integran cada muestra en estudio, sobre una lámina saturada con agua de un espesor aproximado de 5mm que, por efectos de capilaridad, facilita el ascenso del fluido a través de los poros del material.

Para fines interpretativos, se determinó un coeficiente de absorción considerando un periodo de observación de 3 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 – 2012, es un referente para efectuar las pruebas correspondientes a la absorción del agua para elementos de mampostería.

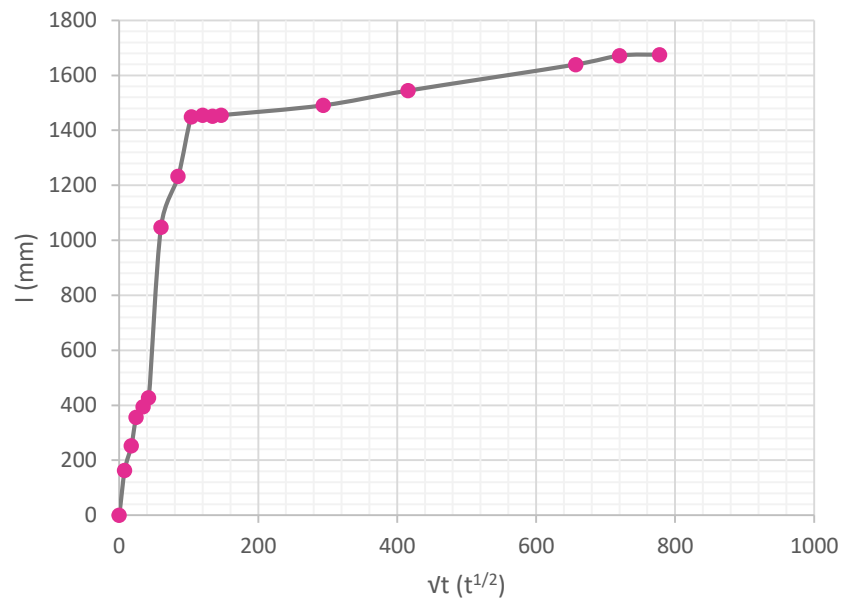
Con base a los resultados obtenidos en la prueba de absorción, las siguientes gráficas describen la relación del tiempo en función de la elevación del agua contenida en el tabique.

Como se observa en la gráfica 11 relativa al análisis realizado hacia el primer espécimen de la Zona 1, en el intervalo de tiempo (min)  $120 \leq t \leq 180$ , se presenta la máxima absorción de la humedad en el tabique.



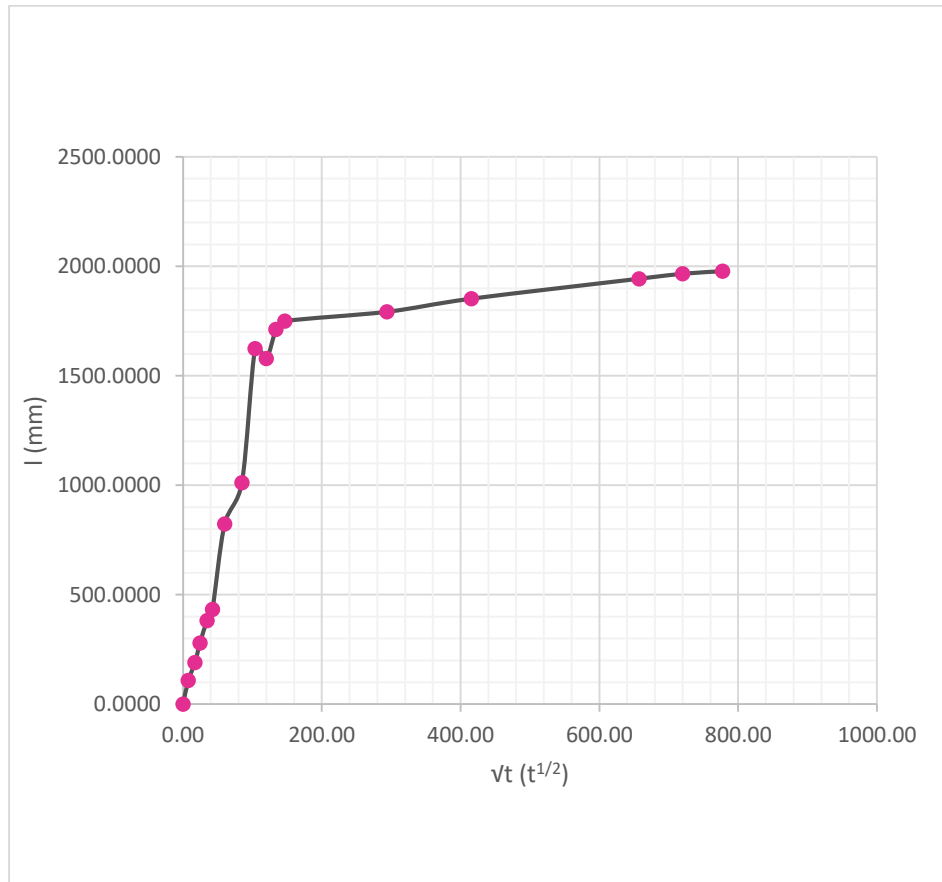
Gráfica 11. Comportamiento de la absorción de agua del primer espécimen de análisis Zona 1.

En relación al segundo espécimen de ensayo correspondiente a la Zona 1, en el intervalo de tiempo (min)  $30 \leq t \leq 60$ , se presenta un notable aumento en la masa del tabique debido a la absorción capilar, mientras que en el lapso de tiempo (min)  $240 \leq t \leq 300$ , se presenta una ligera disminución en absorción del agua (gráfica 12).



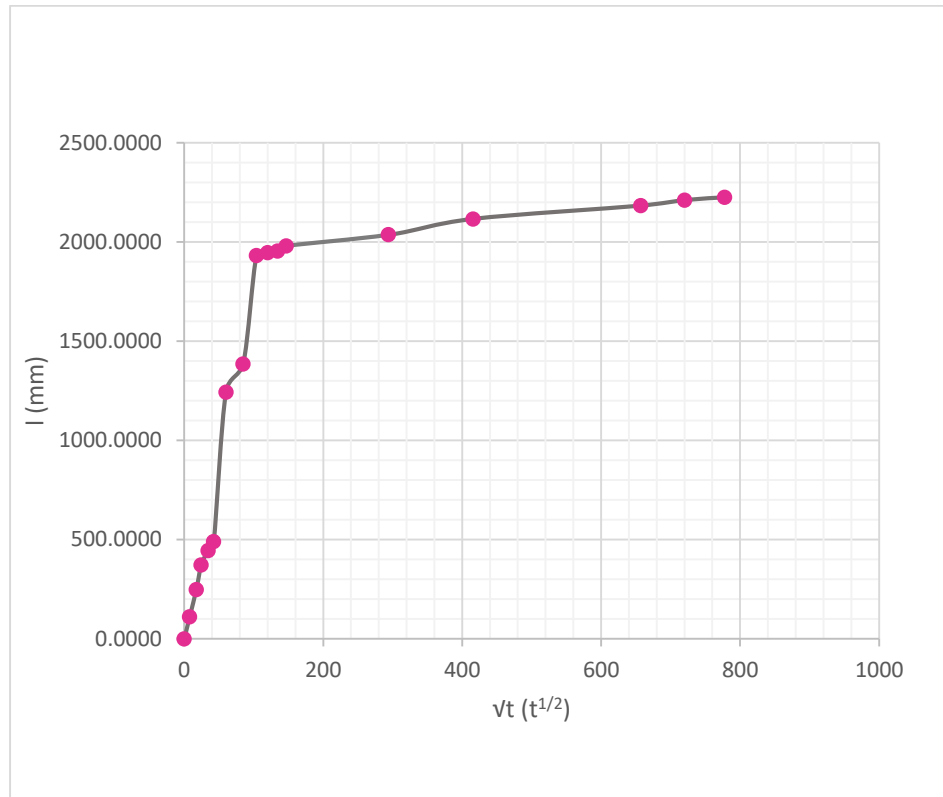
Gráfica 12. Comportamiento de la absorción de agua del segundo espécimen de análisis Zona 1.

De la misma forma, el análisis de la prueba de absorción hecho al primer espécimen de ensayo perteneciente a la región ladrillera denominada Zona 2 muestra que el primer aumento significativo de la cantidad de agua en la pieza en estudio fue registrado en el intervalo de tiempo (min)  $30 \leq t \leq 60$ , asimismo la masa del tabique tuvo la mayor absorción del agua en el lapso de 120 a 180 minutos (gráfica 13).



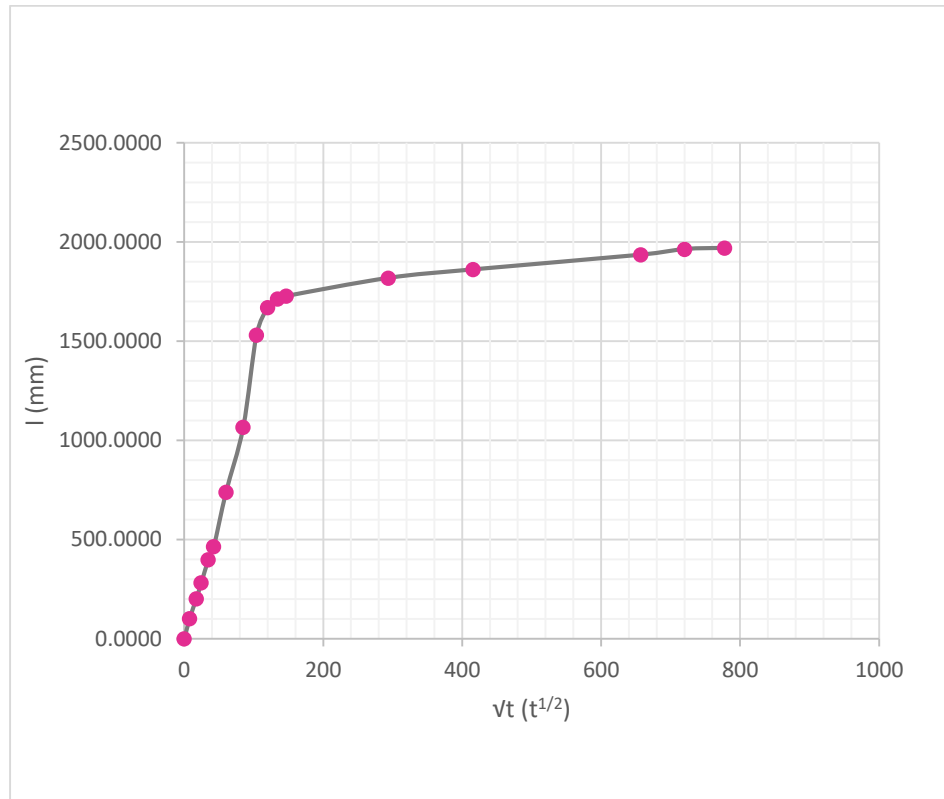
Gráfica 13. Comportamiento de la absorción de agua del primer espécimen de análisis Zona 2.

Relativo a la experimentación realizada a la segunda probeta de ensayo de la Zona 2, el lapso de tiempo que registra la máxima masa de agua absorbida es en lapso de 30 a 60 minutos, incrementándose la masa del tabique en 270 gramos (gráfica 14).



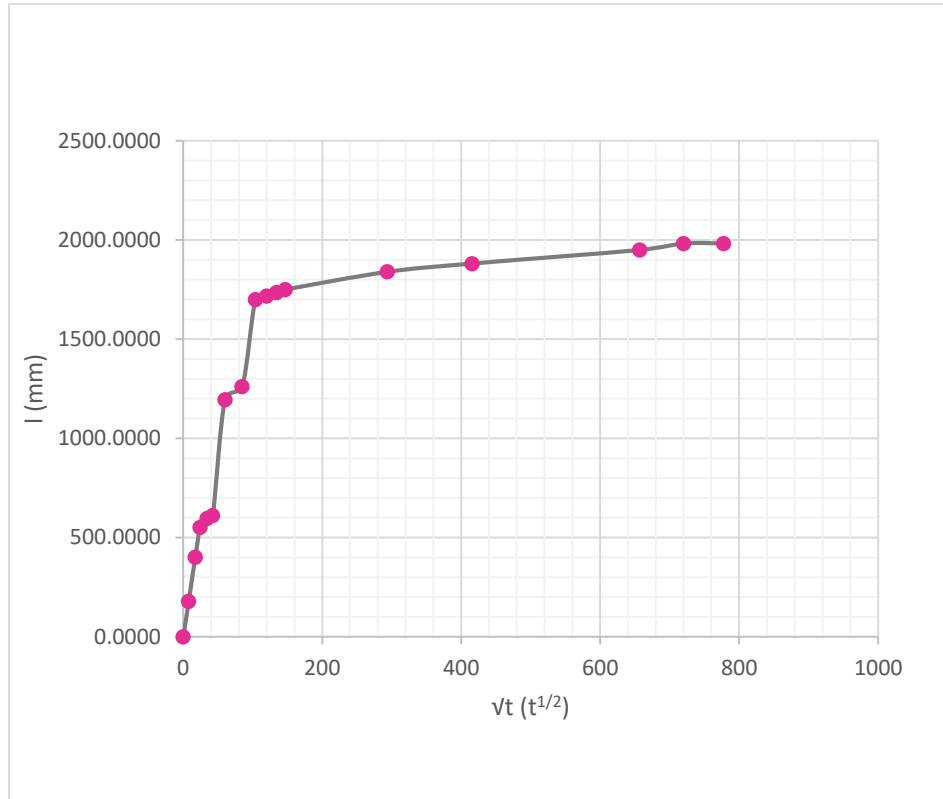
Gráfica 14. Comportamiento de la absorción de agua del segundo espécimen de análisis Zona 2.

En lo concerniente a los resultados emitidos por la prueba de absorción realizada al primer ejemplar de la Zona 3, se tiene que el aumento de la masa del tabique producto de la absorción de agua mediante la capilaridad se visualizó en el lapso de tiempo de 60 a 180 minutos después de iniciada la prueba (gráfica 15).



Gráfica 15. Comportamiento de la absorción de agua del primer espécimen de análisis Zona 3.

Mientras tanto el comportamiento de la absorción del agua en la segunda probeta de ensayo de la Zona 3 registra un aumento considerable de la masa del objeto en el lapso de tiempo de 30 a 60 minutos después de iniciada la fase experimental (gráfica 16).



Gráfica 16. Comportamiento de la absorción de agua del segundo espécimen de análisis Zona 3.

Aunado a lo anterior, se determinó el coeficiente de absorción inicial para cada uno de los especímenes seleccionadas para la experimentación y con base en la ecuación mostrada se evaluaron las variables para un tiempo inicial 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:

$C_b$  = 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 ( $M=M_1-M_s$ )

$M_1$  = 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)

Coeficiente de absorción inicial $\text{g}/(\text{cm}^2 \times \text{min}^{0.5})$	$C_b$
<b>Zona 1</b>	
Espécimen 1	10.183
Espécimen 2	11.270
<b>Zona 2</b>	
Espécimen 1	8.832
Espécimen 2	11.816
<b>Zona 3</b>	
Espécimen 1	9.230
Espécimen 2	17.442

Tabla 8. Coeficiente de absorción inicial para cada uno de los especímenes seleccionados de las diferentes zonas de estudio.

En relación a la absorción total de agua a 24 horas, los tabiques de arcilla en estudio obtenidos de las diversas zonas no superan el 23% que establece la norma NMX-C-404 2012.

#### **4.6 Evaluación de la resistencia a la compresión en los tabiques de arcilla**

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 de los tabiques de arcilla artesanales 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.

Debido a que en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería de Mazatlán no se cuenta con un molde que se ajuste a las dimensiones de los tabiques en 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 19. 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 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.

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 ladrillos con azufre con el objetivo de nivelar dichas caras.



Ilustración 20. Máquina de ensayo para prueba de resistencia a la compresión.

Como se ha mencionado con anterioridad, los ladrillos artesanales de arcilla han sido utilizados en la construcción de viviendas en el municipio de Mazatlán desde épocas remotas siendo empleados como piezas de mampostería tanto en elementos estructurales como no estructurales, por lo que es pertinente evaluar la resistencia en compresión de las piezas, debido a que esta propiedad mecánica incide notablemente en la estabilidad de los muros de mampostería.

#### **4.6.1 Cálculo de la resistencia a la compresión en piezas individuales**

En correspondencia con el marco teórico y normativo de esta investigación, las piezas de ladrillos usadas en los elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con la Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE 2013, 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 (ecuación 1) 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 a la compresión para tabique o ladrillo 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>).

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 9. Resistencia a la compresión por piezas individuales de tabique de uso estructural. *Fuente:*

*NMX-C-404-ONNCCE 2012.*

Asimismo, en referencia al tabique artesanal macizo 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 24 kg/cm<sup>2</sup>.

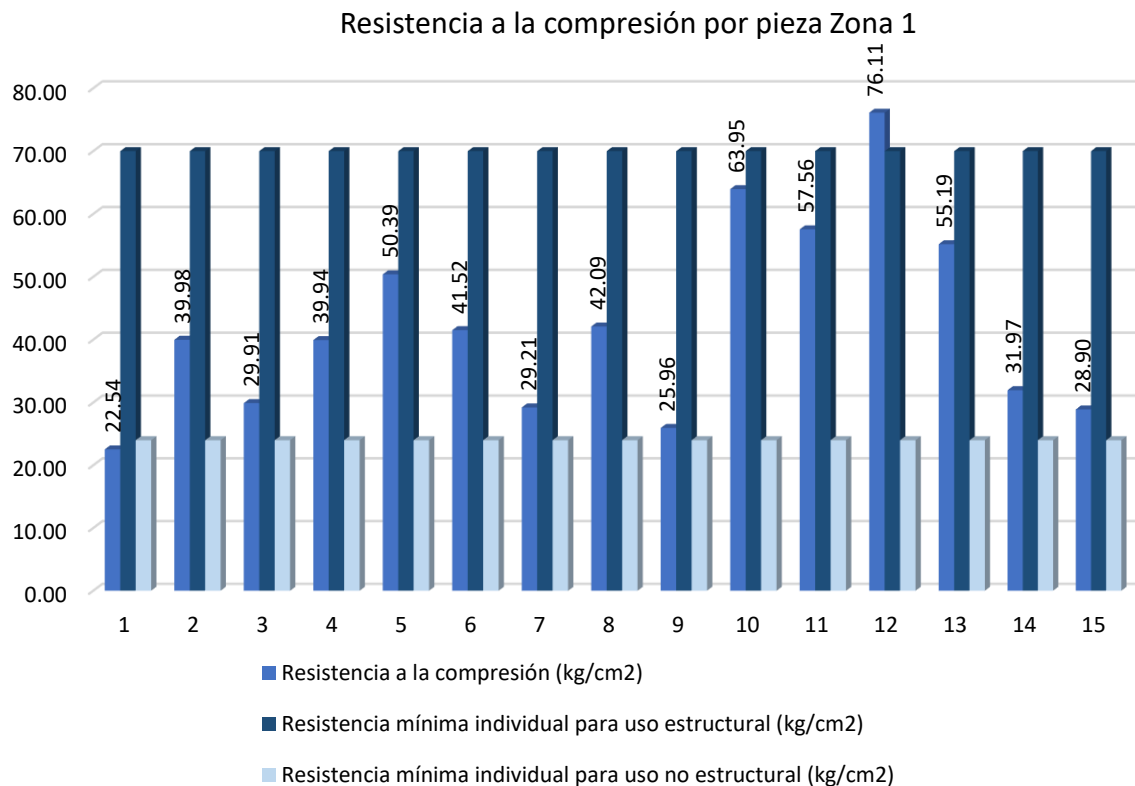
Tipo de pieza	Configuración	Resistencia media $\bar{f}_p$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia mínima individual $f_{pMin}$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
Bloque	Macizo o hueco	3,5 (35)	2,8 (28)
Tabique extruido	Macizo o hueco	4,0 (40)	3,2 (32)
Tabique artesanal	Macizo	3,0 (30)	2,4 (24)
Celosía	Cara rectangular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

Tabla 10. Resistencia a la compresión por piezas individuales de tabique de uso no estructural.

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

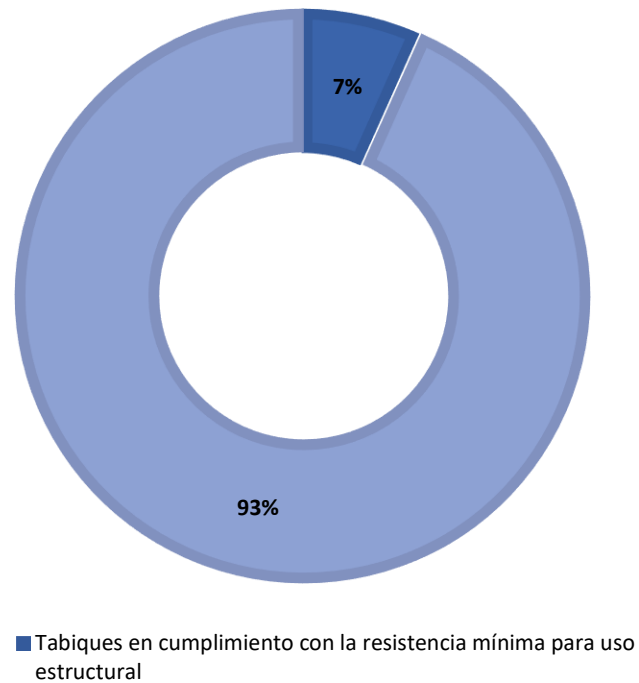
En la fase experimental se realizaron pruebas de resistencia a la compresión a 15 especímenes de ensayo extraídos por cada una de las zonas de fabricación de tabiques artesanales de arcilla cuyas evaluaciones se contrastaron con la normatividad NMX-C-404-ONNCCE 2013 y NMX-C-441-ONNCCE 2013.

Tal como se muestra en la gráfica siguiente, para la Zona 1 correspondiente a los tabiques elaborados en el municipio de Concordia, los valores de la resistencia a la compresión por pieza oscilaron entre 22.54 y 76.11 kg/cm<sup>2</sup>. El promedio de obtenido de la muestra obtenida de esta región se sitúa en 42.35 kg/cm<sup>2</sup> con una desviación con respecto a la media de 15.48 kg/cm<sup>2</sup>, determinándose un coeficiente de variabilidad de 0.36.



Gráfica 17. Datos obtenidos sobre resistencia a la compresión por piezas individuales de la Zona 1.

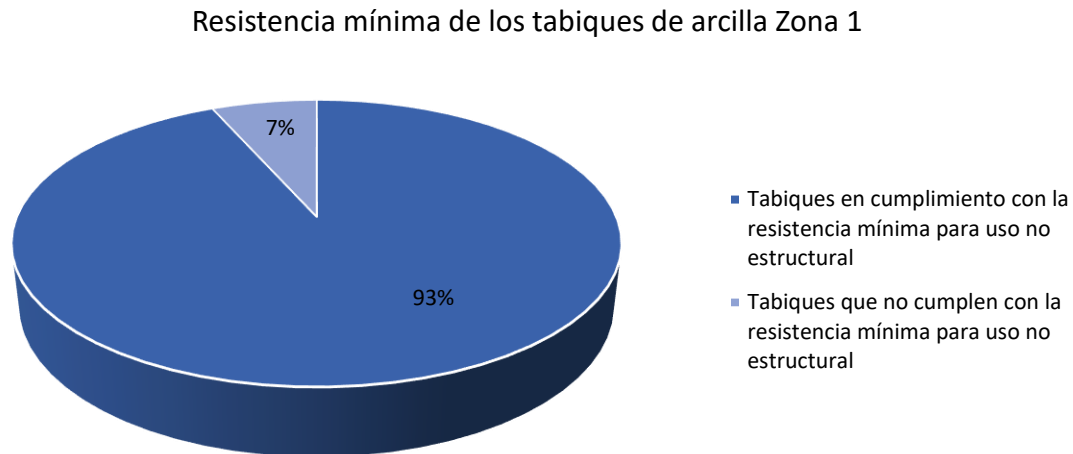
El comparativo de los datos obtenidos con referente a la norma NMX-C-404-ONNCCE indica que el 7% de los especímenes estuvieron en cumplimiento con la resistencia mínima de 7 MPa - 70 kg/cm<sup>2</sup>, por tanto, la mayoría de los tabiques en estudio (93%) no lograron alcanzar el valor mínimo requerido para ser un elemento de mampostería estructural (gráfica 18).



Gráfica 18. Porcentaje de especímenes de ensayo en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-404-ONNCCE para especímenes de ensayo Zona 1.

Por otro lado, realizando un comparativo de la información en relación a la norma NMX-C-441-ONNCCE, en su mayoría (93%) las pruebas en los tabiques de la Zona 1, obtuvieron valores positivos, sobrepasando el indicador de resistencia a la compresión mínimo por pieza establecido de 2.4 MPa – 24 kg/cm<sup>2</sup> para su empleo como elemento no estructural (gráfica 19).



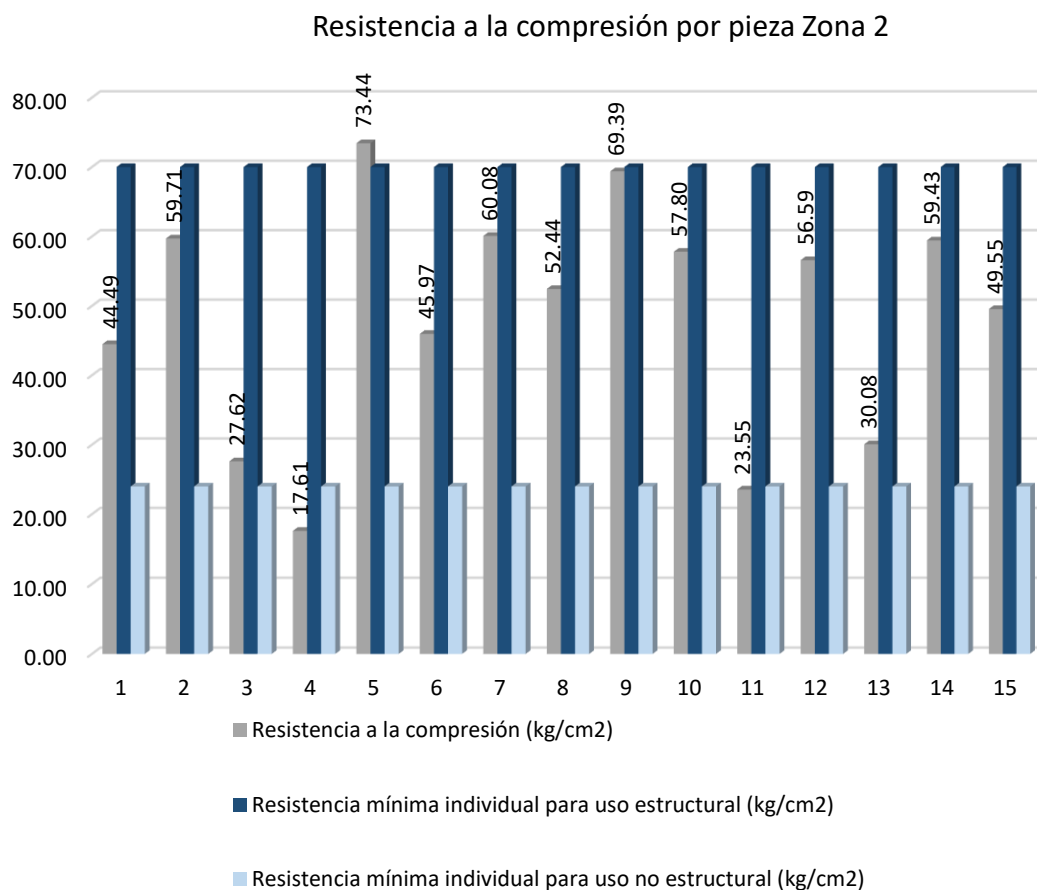


Gráfica 19. Porcentaje de especímenes de ensayo de la Zona 1 en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-441-ONNCCE.

Cabe hacer énfasis que para los tabiques de arcilla de la muestra correspondiente a la Zona 1, la resistencia media a la compresión de un conjunto de piezas determinada es de  $42.35 \text{ kg/cm}^2$ , valor extremadamente por debajo de  $110 \text{ kg/cm}^2$  establecido para tabiques de uso estructural dentro de la norma NMX-C-404-ONNCCE. Sin embargo, este valor es superior al promedio mínimo 3 MPa ( $30 \text{ kg/cm}^2$ ) que establece la norma NMX-C-441-ONNCCE.

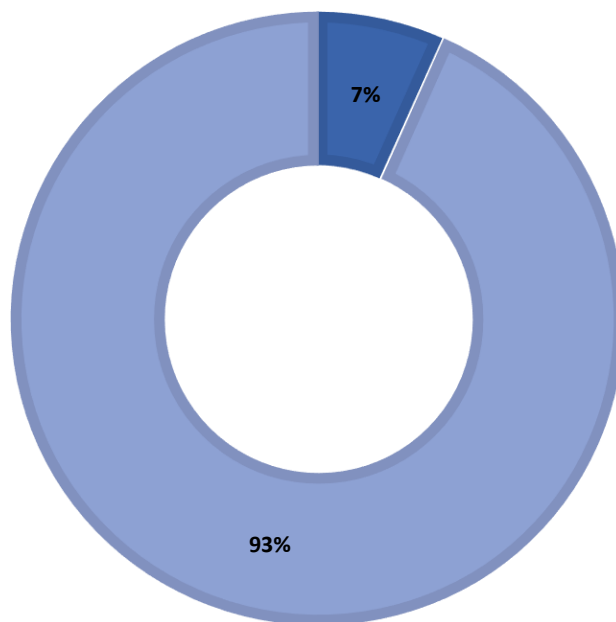
De la misma forma se evaluó la resistencia a la compresión de los elementos de mampostería extraídos de la Zona 2 perteneciente a la región de San Ignacio. Las pruebas de laboratorio realizadas a los 15 elementos de este espacio muestral derivan la siguiente información: El rango de la resistencia a la compresión de los tabiques de forma individual es de 1.761 a 7.344 MPa (gráfica 20), una media aritmética de 4.852 MPa con una desviación típica de 1.686 MPa. La relación de

estos dos últimos indicadores estadísticos produce un coeficiente de variación de 0.3475.



Gráfica 20. Datos obtenidos sobre resistencia a la compresión por piezas individuales de la Zona 2.

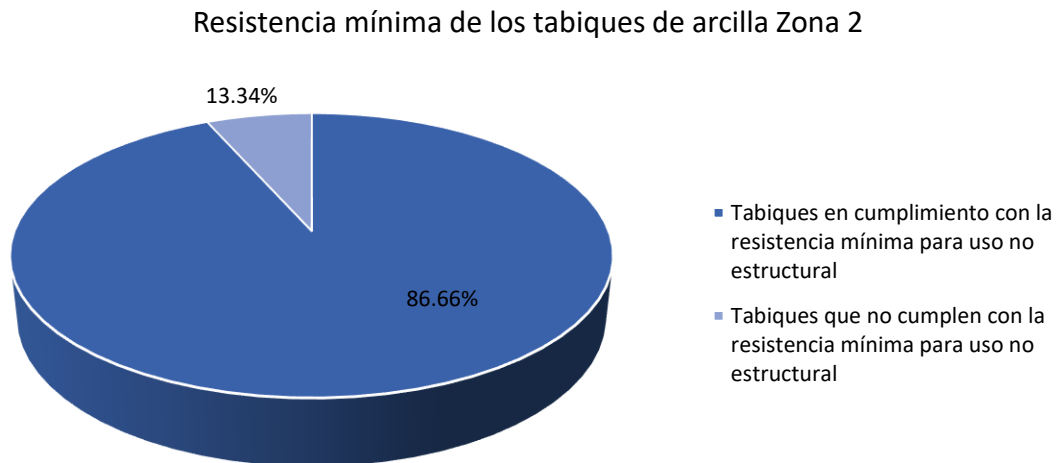
Con base en los datos emitidos por la experimentación, sólo el 7% de los ladrillos de arcilla de la Zona 2 de forma individual (gráfica 21) superan la resistencia mínima establecido en la norma NMX-C-404-ONNCCE, con un alejamiento del 3.44 kg/cm<sup>2</sup> sobre indicador mínimo de 70 kg/cm<sup>2</sup>.



■ Tabiques en cumplimiento con la resistencia mínima para uso estructural

Gráfica 21. Porcentaje de especímenes de ensayo en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-404-ONNCCE para especímenes de ensayo Zona 2.

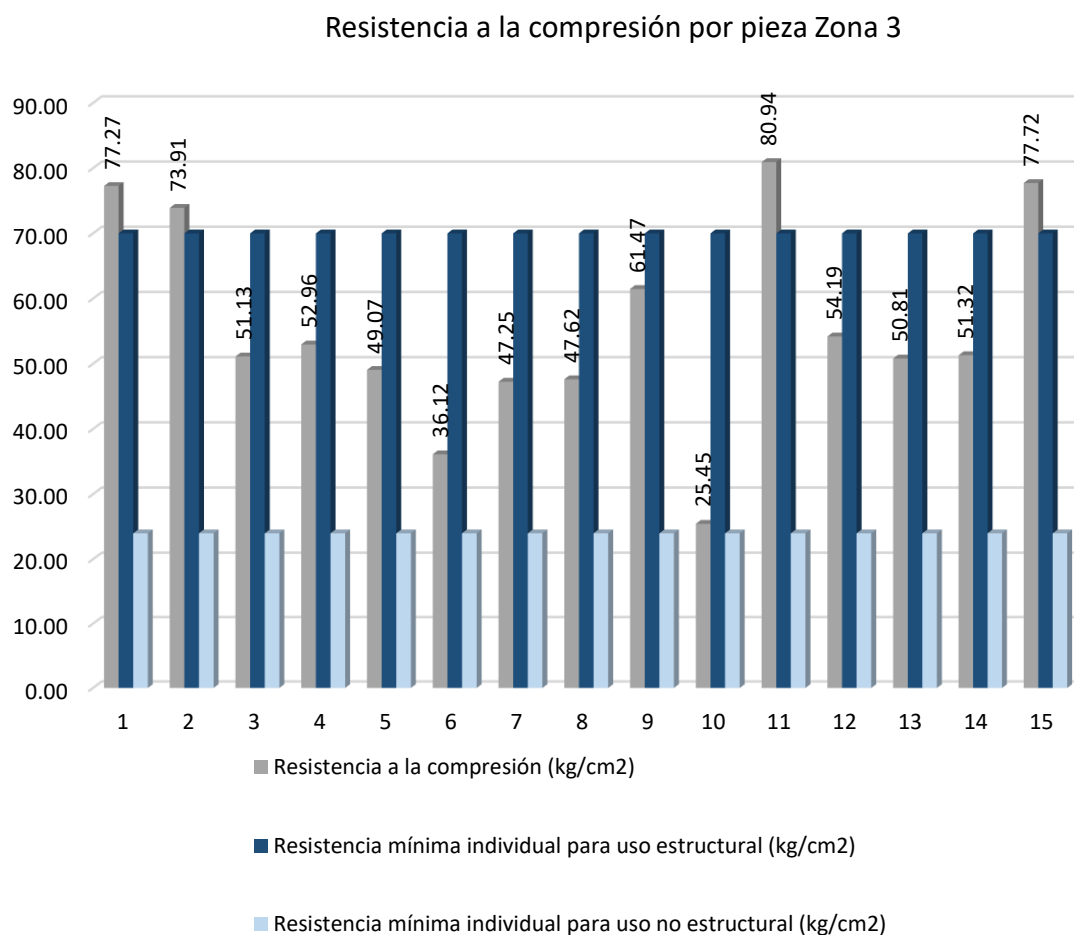
Cabe considerar, por otra parte, que la información originada en las pruebas de ensayo muestra el 86.66% de los tabiques de arcilla pertenecientes a la Zona 2 de forma individual (gráfica 22) sobrepasan la resistencia mínima de 24 kg/cm<sup>2</sup> señalada en la norma de mampostería no estructural relativa a tabiques macizos.



Gráfica 22. Porcentaje de especímenes de ensayo de la Zona 2 en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-441-ONNCCE.

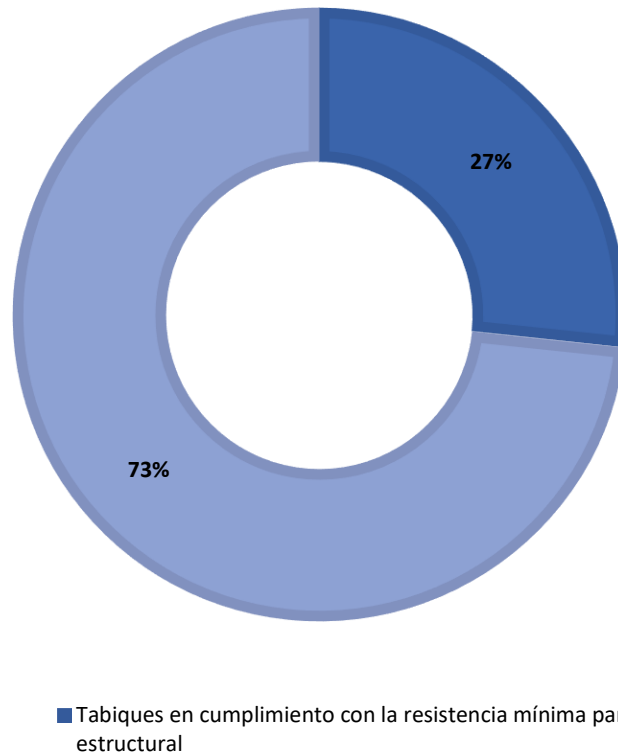
Sobre la base de los estudios realizados a los especímenes de ensayo de la Zona 2 que originó una resistencia media a la compresión de  $48.52 \text{ kg/cm}^2$ , puede comentarse que este estadígrafo es sumamente inferior a  $110 \text{ kg/cm}^2$  que establece la normatividad para el uso tabiques de tipo estructural. Por lo contrario, este promedio resultante es mayor al promedio mínimo de  $3 \text{ MPa}$  ( $30 \text{ kg/cm}^2$ ) que señala la norma para uso de elementos de mampostería no estructural.

En relación a las pruebas de resistencia a la compresión realizadas al espacio muestral definido como Zona 3, los especímenes de ensayo por pieza individual derivaron los siguientes indicadores estadísticos: un rango que parte de  $25.45$  a  $80.94 \text{ kg/cm}^2$  (gráfica 23), una media como medida de tendencia central de  $55.82 \text{ kg/cm}^2$ , con una distribución de la dispersión de los datos con respecto a la media  $15.82 \text{ kg/cm}^2$ . Mientras el coeficiente de variación recae en  $0.2835$ .



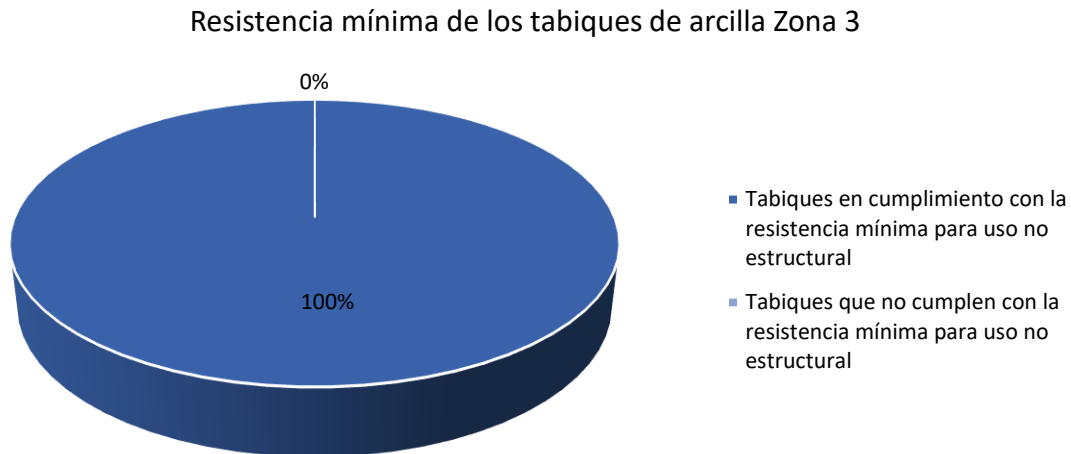
Gráfica 23. Datos obtenidos sobre resistencia a la compresión por piezas individuales de la Zona 3.

Asimismo, de acuerdo a los cálculos efectuado de manera individual a cada una de las probetas de ensayo provenientes de la Zona 3, el 27% de los tabiques macizos (gráfica 18) exceden la resistencia a la compresión mínima individual establecido en la norma NMX-C-404-ONNCCE la cual considera la base mínima de 70 kg/cm<sup>2</sup>.



Gráfica 24. Porcentaje de especímenes de ensayo en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-404-ONNCCE para especímenes de ensayo Zona 3.

Por otra parte, en referencia con los datos de la fase experimental de las probetas de esta misma zona, la totalidad de los tabiques analizados superaron el parámetro de resistencia mínima de  $24 \text{ kg/cm}^2$  indicado en la norma NMX-C-441-ONNCCE para este tipo de elementos de uso no estructural.



Gráfica 25. Porcentaje de especímenes de ensayo de la Zona 3 en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-441-ONNCCE.

Con respecto a la resistencia promedio de los elementos analizados para la Zona 3, el valor obtenido es  $55.82 \text{ kg/cm}^2$ , indicador situado por debajo de  $110 \text{ kg/cm}^2$  que establece la normatividad para el uso tabiques de tipo estructural. Por lo que se refiere al uso de elementos de mampostería no estructural este promedio mínimo de  $3 \text{ MPa}$  ( $30 \text{ kg/cm}^2$ ) es excedido por la media representativa de las piezas en conjunto.

#### 4.6.2 Resistencia a la compresión en pilas

La resistencia a la compresión de los ladrillos ligados está definida como el esfuerzo máximo que soporta un tabique de ladrillo bajo una carga de aplastamiento.

Para realizar esta prueba, los ladrillos fueron apilados y ligados a través de una mezcla de mortero tipo II. Asimismo, las caras horizontales de la parte superior e inferior del tabique 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.



Ilustración 21. Proceso de junteo de las pilas.





Ilustración 22. Elaboración de las pilas de ensayo.

Las pilas construidas con tabiques y el mortero estuvieron formadas por tres piezas sobrepuestas, con una relación de la altura comprendida entre tres y cuatro 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 conforme a la normatividad que rige a este rubro.

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

Tabla 11. Factores correctivos para las resistencias de pilas con diferentes relaciones altura a espesor. *Fuente: NMX-C-464-ONNCCE-2010.*

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

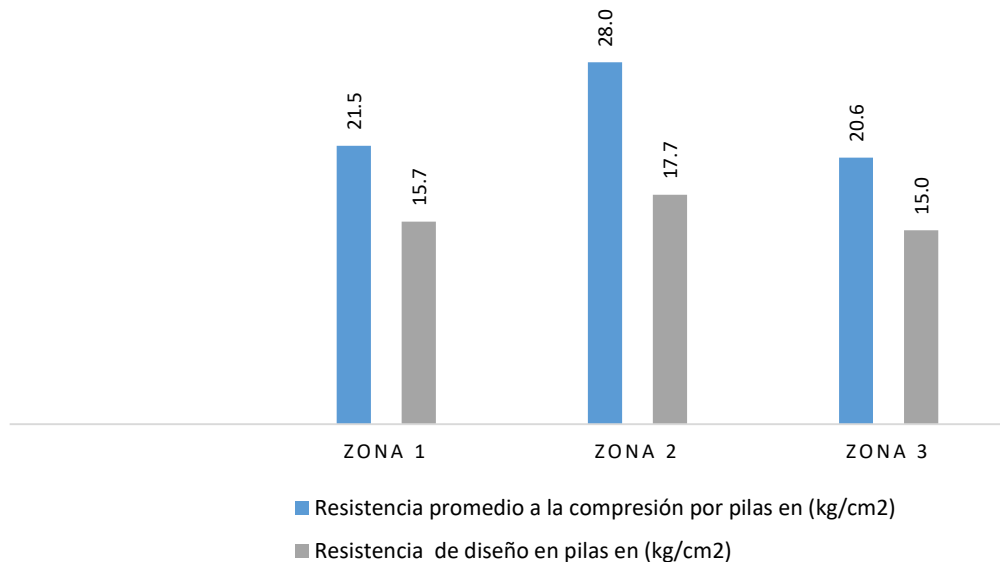
$$f'm = \frac{\overline{fm}}{1 + 2.5 * C_m}$$

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.

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 26. Resistencia promedio y resistencia de diseño por pilas.

Si bien, 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 ensayo analizado en las diferentes zonas.

$f'_p$ 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.

Tabla 12. Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de arcillas ( $f'_m$ ) sobre área bruta. Fuente: NMX-C-464-ONNCCE-2010.

La proporción en términos de volumen recomendado para la dosificación del mortero estuvo basada en la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014, haciendo énfasis que el mortero tipo I y tipo II (Tabla 13) al que hace referencia es empleado en elementos estructurales y debe tener una resistencia mínima de  $7.5 \text{ MPa} \approx 75 \frac{kgf}{cm^2}$ .

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 13. Proporcionamiento, en volumen, recomendados para mortero dosificado en obra.

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.



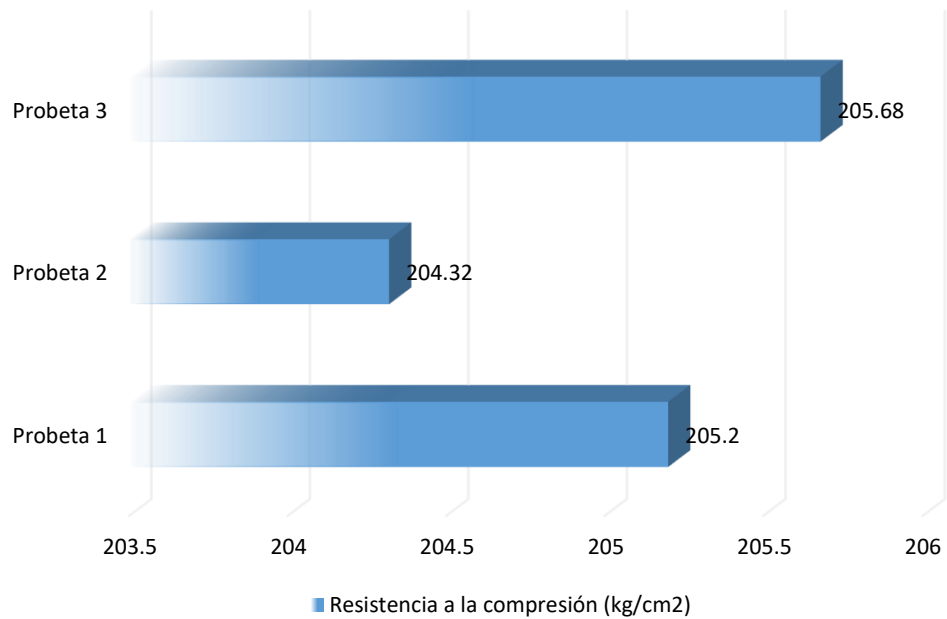
Ilustración 23. Probetas de ensayo de mortero.

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 24. 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 27. Resistencia a la compresión de las probetas de mortero.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las viviendas residenciales en el municipio de Mazatlán clasificadas como baja, media y alta utilizan en su proceso de diseño y construcción una diversidad de materiales, donde destacan los tabiques macizos de arcilla elaborados artesanalmente como un elemento de cotidianidad utilizados para la constitución de muros de mampostería de uso estructural o no estructural, por ende, la pertinencia de esta tesis de investigación.

En el proyecto titulado **Estudio de los tabiques artesanales de arcilla como elemento de mampostería utilizados en la construcción de viviendas en el municipio de Mazatlán** de investigación básica y aplicada 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 de arcilla como elementos de mampostería procedentes de diversas zonas de producción utilizadas en la construcción de viviendas del municipio de Mazatlán con respecto a lo que establece 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:

Las características físicas y mecánicas bajo de los tabiques de arcilla como elementos de mampostería están en función de la composición interna de la estructura ligada a la constitución de la mezcla de arcilla utilizada, así como al

control de calidad que se implemente 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 ladrillos de arcilla se obtuvieron resultados muy dispersos, en los cuales ninguna muestra procedente de las distintas ladrilleras en estudio cumplió en su totalidad con el porcentaje máximo de desviación establecido por la normatividad. El caso más crítico lo presenta la propiedad física de desfase en bordes, haciéndose más notable en el espacio muestral de la Zona 2 donde no se presentó muestra en cumplimiento con este parámetro.

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. Sin embargo, la Norma NMX-C-404 2012, no establece un parámetro de comparación para tabiques de arcilla empleados en muros exteriores o interiores. Por el contrario, para la prueba de



absorción total a 24 horas, la experimentación muestra que ninguna probeta de ensayo supera el parámetro de 23% establecido.

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 sólo el 13.3% de los especímenes evaluados de las diversas de las ladrilleras 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.

No. de Ensayo	Resistencia a la compresión ( $\text{kg/cm}^2$ )		
	ZONA A	ZONA B	ZONA C
1	77.27	44.49	22.54
2	73.91	59.71	39.98
3	51.13	27.62	29.91
4	52.96	17.61	39.94
5	49.07	73.44	50.39
6	36.12	45.97	41.52
7	47.25	60.08	29.21
8	47.62	52.44	42.09
9	61.47	69.39	25.96
10	25.45	57.80	63.95
11	80.94	23.55	57.56
12	54.19	56.59	76.11
13	50.81	30.08	55.19
14	51.32	59.43	31.97
15	77.72	49.55	28.90
<b>Promedio</b>	<b>55.82</b>	<b>48.52</b>	<b>42.35</b>
<b>desviación</b>	<b>15.82</b>	<b>16.86</b>	<b>15.48</b>

Gráfica 28. Tabla comparativa de resistencia a la compresión de piezas individuales por zona de elaboración.

Asimismo, se enfatiza que se presenta incumplimiento total en las probetas ensayadas proveniente de las tres zonas en relación a la resistencia media a la compresión de  $90 \text{ kg/cm}^2$ . Adicionalmente se suma que los valores obtenidos mantuvieron una notable dispersión entre sí.

En comparativo con la norma NMX-C-441-ONNCCE que rige la resistencia mínima individual y resistencia promedio para uso no estructural, encontramos que casi la totalidad de los ladrillos 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 en pilas tuvo una media de  $23.4 \text{ kg/cm}^2$ . 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  $10 \text{ MPa}$  en piezas individuales de tabiques 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  $60 \text{ MPa}$  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 ladrillos imposibilitó, por un lado, la realización de ensayos de mayor inmersión, con el objetivo de identificar la causalidad de la baja 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 comprensión 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.

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.

Si se desea implementar el uso de ladrillos de arcilla en exteriores, se recomienda el uso de impermeabilizantes, con el fin de evitar altas absorciones por parte de las superficies en exteriores expuestas a las lluvias.

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 de los tabiques artesanales 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.
- Baeza, G. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: Patria.
- Barros, J. (2005). *Muros de contención*. España: Ceac,SA.
- García Vintimilla, T. (2016). *Breve historia de la arquitectura*. Madrid, España: Ediciones Nowtilus.
- 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>
- Kokita, E. (13 de Noviembre de 2018). *Historia del Arte: de la prehistoria a nuestros días*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2022, de <http://kokita-eri-historiadelarte.blogspot.com/2018/11/puerta-de-ishtar.html>
- Mark, R. (2002). *Tecnología arquitectónica hasta la revolución científica*. Madrid, España: Ediciones AKAL.
- Nieto, N. M. (2009). *Construcción de edificios: Diseñar para construir*. Buenos Aires: Nobuko.
- 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.* edición electrónica por eBookIt.com.

Sampieri, R. H. (2010). *Metodología de la Investigación .* México: McGraHill.

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

Tamayo, M. T. (2002). *El proceso de la investigación científica.* México: Limusa.

Trabanco, P. C. (2005). *Control de ejecución de tabiquerías y cerramiento*. España: Editorial Lex Nova, S.A.

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

Yuni, J. A. (2014). *Técnicas de Investigación*. Córdoba: Brujas.

Zorrilla S., T. M. (2000). *Metodología de la investigación*. México, México: Mc Graw Hill.

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Réplica de La Puerta de Ishtar de Babilonia (Kokita, 2018), una muestra de la perfección que llegó a alcanzar esta cultura respecto a la fabricación de ladrillos. ....	4
Ilustración 2. Vivienda unifamiliar construida con tabique artesanal. ....	5
Ilustración 3. Arco de Labná en Yucatán, un yacimiento que data entre los años 600-900 d.c., elemento fundamental de la arquitectura maya del sureste mesoamericano. Consta de colocar bloques escalonados en ambos lados de un vano hasta que éstos se encuentran en un punto medio. <i>Fuente: Secretaría de Cultura</i> .....	11
Ilustración 4. Ejemplo de piezas macizas. Fuente: <i>NMX-C-038-ONNCCE-2013</i> ..	15
Ilustración 5. Proceso de determinación de dimensiones de espécimen. <i>Fuente: NMX-C-038-ONNCCE-2013</i> .....	16
Ilustración 6. Desviación de las aristas de las piezas de mampostería.....	16
Ilustración 7. Ensayo a la compresión. <i>Fuente: NMX- C- 404 ONNCCE – 2012</i> ...	23
Ilustración 8. Placas de distribución de carga para ensayo a compresión. <i>Fuente: NMX-C-036-ONNCCE-2013</i> .....	24
Ilustración 9. Pila para prueba en compresión. <i>Fuente: NMX-C-464-ONNCCE 2010</i> . .....	27
Ilustración 10. Depósito de suelo arcilloso. ....	39
Ilustración 11. Proceso de elaboración de tabique.....	40
Ilustración 12. Fase de secado.....	40
Ilustración 13. Proceso de horneado.....	41

Ilustración 14. Zona 1. Concordia, Sinaloa.....	42
Ilustración 15. Zona 2. Coyotitán, San Ignacio. ....	42
Ilustración 16. Zona 3. El Pozole, Villa Unión, Mazatlán, Sinaloa. ....	43
Ilustración 17. Especímenes de ensayo.....	44
Ilustración 18. Determinación de las dimensiones de los especímenes de ensayo. .....	46
Ilustración 19. Proceso de cabeceo de especímenes de ensayo.....	66
Ilustración 20. Máquina de ensayo para prueba de resistencia a la compresión. .	67
Ilustración 21. Proceso de junteo de las pilas. ....	79
Ilustración 22. Elaboración de las pilas de ensayo.....	80
Ilustración 23. Probetas de ensayo de mortero.....	83
Ilustración 24. Evaluación de la resistencia a la compresión del mortero. ....	84
Ilustración 25. Especímenes de ensayo.....	109
Ilustración 26. Elaboración de mortero Tipo II para elaboración de pilas de tabiques. .....	109
Ilustración 27. Preparación de cubo de ensayo de mortero para unión para formación de pilas. ....	110
Ilustración 28. Proceso de elaboración de pilas de tabiques.....	110



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1. Longitud de ancho de tabique Zona 1.....	47
Gráfica 2. Longitud de altura de tabique Zona 1. ....	48
Gráfica 3. Registro de la longitud del largo de las unidades extraídas de la Zona 1. .....	49
Gráfica 4. Registro de la longitud del ancho de los especímenes muestrales de la Zona 2. ....	50
Gráfica 5. Valores obtenidos en relación a la altura de tabiques de la zona de fabricación No. 2. ....	51
Gráfica 6. Dimensionamiento de las muestras extraídas de la Zona 2, en función de su largo. ....	52
Gráfica 7. Registro de la longitud del ancho de los especímenes muestrales de la Zona 3. ....	53
Gráfica 8. Valores obtenidos en relación a la altura de tabiques de la zona de fabricación No. 3. ....	54
Gráfica 9. Dimensionamiento de las muestras extraídas de la Zona 3, en función de su largo. ....	55
Gráfica 10. Peso volumétrico promedio de los tabiques de arcilla por jerarquía de zona. ....	56
Gráfica 11. Comportamiento de la absorción de agua del primer espécimen de análisis Zona 1. ....	58

Gráfica 12. Comportamiento de la absorción de agua del segundo espécimen de análisis Zona 1. ....	59
Gráfica 13. Comportamiento de la absorción de agua del primer espécimen de análisis Zona 2. ....	60
Gráfica 14. Comportamiento de la absorción de agua del segundo espécimen de análisis Zona 2. ....	61
Gráfica 15. Comportamiento de la absorción de agua del primer espécimen de análisis Zona 3. ....	62
Gráfica 16. Comportamiento de la absorción de agua del segundo espécimen de análisis Zona 3. ....	63
Gráfica 17. Datos obtenidos sobre resistencia a la compresión por piezas individuales de la Zona 1. ....	70
Gráfica 18. Porcentaje de especímenes de ensayo en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-404-ONNCCE para especímenes de ensayo Zona 1. ....	71
Gráfica 19. Porcentaje de especímenes de ensayo de la Zona 1 en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-441-ONNCCE. ....	72
Gráfica 20. Datos obtenidos sobre resistencia a la compresión por piezas individuales de la Zona 2. ....	73
Gráfica 21. Porcentaje de especímenes de ensayo en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-404-ONNCCE para especímenes de ensayo Zona 2. ....	74

Gráfica 22. Porcentaje de especímenes de ensayo de la Zona 2 en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-441-ONNCCE. ....	75
Gráfica 23. Datos obtenidos sobre resistencia a la compresión por piezas individuales de la Zona 3.....	76
Gráfica 24. Porcentaje de especímenes de ensayo en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-404-ONNCCE para especímenes de ensayo Zona 3. ....	77
Gráfica 25. Porcentaje de especímenes de ensayo de la Zona 3 en cumplimiento la resistencia a la compresión mínima en relación con la norma NMX-C-441-ONNCCE. ....	78
Gráfica 26. Resistencia promedio y resistencia de diseño por pilas.....	81
Gráfica 27. Resistencia a la compresión de las probetas de mortero. ....	85
Gráfica 28. Tabla comparativa de resistencia a la compresión de piezas individuales por zona de elaboración. ....	88

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del tabique o ladrillo de acuerdo a su material de fabricación y forma. <i>Fuente: NMX-C-038-ONNCCE-2013</i> .....	14
Tabla 2. Absorción inicial y absorción total por material de mampostería. ....	18
Tabla 3. Resistencia a la compresión por piezas individuales de tabique de uso estructural. <i>Fuente: NMX-C-404-ONNCCE 2012</i> .....	20
Tabla 4. Resistencia a la compresión por piezas individuales de tabique de uso no estructural. <i>Fuente: NMX-C-441-ONNCCE 2013</i> .....	21
Tabla 5. Factores correctivos para las resistencias de pilas con diferentes relaciones altura a espesor. <i>Fuente: NMX-C-464-ONNCCE-2010</i> .....	27
Tabla 6. 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> .....	28
Tabla 7. Proporcionamiento, en volumen, recomendados para mortero dosificado en obra. ....	30
Tabla 8. Coeficiente de absorción inicial para cada uno de los especímenes seleccionados de las diferentes zonas de estudio. ....	64
Tabla 9. Resistencia a la compresión por piezas individuales de tabique de uso estructural. <i>Fuente: NMX-C-404-ONNCCE 2012</i> .....	68
Tabla 10. Resistencia a la compresión por piezas individuales de tabique de uso no estructural. <i>Fuente: NMX-C-441-ONNCCE 2013</i> .....	69
Tabla 11. Factores correctivos para las resistencias de pilas con diferentes relaciones altura a espesor. <i>Fuente: NMX-C-464-ONNCCE-2010</i> .....	80

Tabla 12. Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de arcillas ( $f'm$ ) sobre área bruta. Fuente: NMX-C-464-ONNCCE-2010.....	82
Tabla 13. Proporcionamiento, en volumen, recomendados para mortero dosificado en obra. ....	83
Tabla 14. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no. 1 de la Zona 1.....	101
Tabla 15. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no.2 de la Zona 1.....	102
Tabla 16. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no.1 de la Zona 2.....	102
Tabla 17. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no.2 de la Zona 2.....	103
Tabla 18. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no.1 de la Zona 3.....	103
Tabla 19. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no.2 de la Zona 3.....	104
Tabla 20. Resistencia a la compresión por piezas individuales relacionados a la Zona 2.....	105
Tabla 21. Resistencia a la compresión por piezas individuales relacionados a la Zona 2.....	106
Tabla 22. Resistencia a la compresión por piezas individuales relacionados a la Zona 3.....	107
Tabla 23. resistencia a la compresión en pilas.....	108

## ANEXOS

## Resultados de la prueba de absorción en especímenes de las zonas de estudio

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	2872	0.00	0.0000
1	60	7.75	2905	33.00	98.3900
5	300	17.32	2943	71.00	211.6875
10	600	24.49	2980.0	108.00	322.0036
20	1200	34.64	2995.0	123.00	366.7263
30	1800	42.43	3005	133.00	396.5414
60	3600	60.00	3133	261.00	778.1753
120	7200	84.85	3156	284.00	846.7501
180	10800	103.92	3350	478.00	1425.1640
240	14400	120.00	3352	480.00	1431.1270
300	18000	134.16	3353	481.00	1434.1085
360	21600	146.97	3354	482.00	1437.0900
1440	86400	293.94	3369	497.00	1481.8128
2880	172800	415.69	3389	517.00	1541.4431
7200	432000	657.27	3418	546.00	1627.9070
8640	518400	720.00	3433.0	561.00	1672.6297
10080	604800	777.69	3433.0	561.00	1672.6297

Tabla 14. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no. 1 de la Zona 1.

Tiempo (t)		$\sqrt{t}$	Masa (m)	$\Delta m$	$\Delta m/\text{Área}/\text{densidad agua} = 1 \text{ mm}$
min	s	$s^{1/2}$	gr	G	mm
0	0	0	2892	0.00	0.0000
1	60	7.75	2947	55.00	163.3502
5	300	17.32	2977	85.00	252.4503
10	600	24.49	3012.0	120.00	356.4004
20	1200	34.64	3025.0	133.00	395.0104
30	1800	42.43	3036	144.00	427.6804
60	3600	60.00	3245	353.00	1048.4110
120	7200	84.85	3307	415.00	1232.5512
180	10800	103.92	3380	488.00	1449.3614
240	14400	120.00	3382	490.00	1455.3015
300	18000	134.16	3381	489.00	1452.3315
360	21600	146.97	3382	490.00	1455.3015
1440	86400	293.94	3394.0	502.00	1490.9415
2880	172800	415.69	3412	520.00	1544.4015
7200	432000	657.27	3444.0	552.00	1639.4416
8640	518400	720.00	3455	563.00	1672.1117
10080	604800	777.69	3456	564.00	1675.0817

Tabla 15. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no.2 de la Zona 1

Tiempo (t)		$\sqrt{t}$	Masa (m)	$\Delta m$	$\Delta m/\text{Área}/\text{densidad agua} = 1 \text{ mm}$
min	s	$s^{1/2}$	gr	G	Absorción inicial
0	0	0.00	4584	0.00	0.0000
1	60	7.75	4622	38.00	108.2991
5	300	17.32	4651	67.00	190.9485
10	600	24.49	4682.0	98.00	279.2978
20	1200	34.64	4718.0	134.00	381.8969
30	1800	42.43	4736	152.00	433.1965
60	3600	60.00	4873	289.00	823.6434
120	7200	84.85	4939	355.00	1011.7419
180	10800	103.92	5154	570.00	1624.4870
240	14400	120.00	5138	554.00	1578.8874
300	18000	134.16	5185	601.00	1712.8363
360	21600	146.97	5198	614.00	1749.8860
1440	86400	293.94	5213	629.00	1792.6357
2880	172800	415.69	5234	650.00	1852.4852
7200	432000	657.27	5266	682.00	1943.6845
8640	518400	720.00	5274	690.00	1966.4843
10080	604800	777.69	5278	694.00	1977.8842

Tabla 16. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no.1 de la Zona 2.

Tiempo (t)		$\sqrt{t}$	Masa (m)	$\Delta m$	$\Delta m/\text{Área}/\text{densidad agua}$ = l mm
min	s	$s^{1/2}$	gr	G	mm
0	0	0	4913	0.00	0.0000
1	60	7.75	4953	40.00	111.5387
5	300	17.32	5002	89.00	248.1736
10	600	24.49	5047.0	134.00	373.6546
20	1200	34.64	5073.0	160.00	446.1547
30	1800	42.43	5089	176.00	490.7702
60	3600	60.00	5359	446.00	1243.6562
120	7200	84.85	5410	497.00	1385.8680
180	10800	103.92	5606.0	693.00	1932.4076
240	14400	120.00	5611	698.00	1946.3499
300	18000	134.16	5614	701.00	1954.7153
360	21600	146.97	5623	710.00	1979.8115
1440	86400	293.94	5643	730.00	2035.5808
2880	172800	415.69	5672	759.00	2116.4464
7200	432000	657.27	5696	783.00	2183.3696
8640	518400	720.00	5706	793.00	2211.2543
10080	604800	777.69	5711	798.00	2225.1966

Tabla 17. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no.2 de la Zona 2.

Tiempo (t)		$\sqrt{t}$	Masa (m)	$\Delta m$	$\Delta m/\text{Área}/\text{densidad agua}$ = l mm
min	s	$s^{1/2}$	gr	G	mm
0	0	0	2486	0.00	0.0000
1	60	7.75	2522	36.00	102.5992
5	300	17.32	2557	71.00	202.3484
10	600	24.49	2585.0	99.00	282.1477
20	1200	34.64	2626.0	140.00	398.9968
30	1800	42.43	2649	163.00	464.5463
60	3600	60.00	2745	259.00	738.1441
120	7200	84.85	2860	374.00	1065.8915
180	10800	103.92	3023	537.00	1530.4378
240	14400	120.00	3072	586.00	1670.0866
300	18000	134.16	3087.0	601.00	1712.8363
360	21600	146.97	3092	606.00	1727.0862
1440	86400	293.94	3124	638.00	1818.2855
2880	172800	415.69	3139.0	653.00	1861.0351
7200	432000	657.27	3165.0	679.00	1935.1345
8640	518400	720.00	3175	689.00	1963.6343
10080	604800	777.69	3177	691.00	1969.3342

Tabla 18. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no.1 de la Zona 3.



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	2466	0.00	0.0000
1	60	7.75	2526	60.00	178.8909
5	300	17.32	2601	135.00	402.5045
10	600	24.49	2651.0	185.00	551.5802
20	1200	34.64	2666.0	200.00	596.3029
30	1800	42.43	2671	205.00	611.2105
60	3600	60.00	2867	401.00	1195.5874
120	7200	84.85	2889	423.00	1261.1807
180	10800	103.92	3036	570.00	1699.4633
240	14400	120.00	3042	576.00	1717.3524
300	18000	134.16	3048	582.00	1735.2415
360	21600	146.97	3053	587.00	1750.1491
1440	86400	293.94	3083	617.00	1839.5945
2880	172800	415.69	3097	631.00	1881.3357
7200	432000	657.27	3120	654.00	1949.9106
8640	518400	720.00	3131	665.00	1982.7072
10080	604800	777.69	3131	665.00	1982.7072

Tabla 19. Resultados obtenidos de las pruebas de absorción muestra no.2 de la Zona 3.

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

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	343.85	1873.98	2.651	1414.63	7750	22.54
2	338.88	1838.42	2.657	1445.26	13550	39.98
3	347.04	1882.67	2.76	1466.00	10380	29.91
4	342.80	1919.66	2.799	1458.07	13690	39.94
5	342.51	1798.19	2.703	1503.18	17260	50.39
6	338.90	1762.28	2.68	1520.75	14070	41.52
7	335.12	1826.42	2.665	1459.14	9790	29.21
8	331.88	1767.23	2.629	1487.64	13970	42.09
9	337.47	1864.53	2.78	1490.99	8760	25.96
10	332.29	1835.93	2.797	1523.48	21250	63.95
11	327.16	1758.47	2.638	1500.17	18830	57.56
12	334.91	1800.13	2.802	1556.55	25490	76.11
13	333.75	1793.89	2.712	1511.80	18420	55.19
14	340.04	1827.73	2.608	1426.91	10870	31.97
15	331.45	2021.85	2.873	1420.97	9580	28.90

Tabla 20. Resistencia a la compresión por piezas individuales relacionados a la Zona 2.

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 (kg/cm <sup>2</sup> )
1	337.16	2503.38	4.649	1857.09	15000	44.49
2	364.25	2941.29	4.684	1592.50	21750	59.71
3	352.25	2809.15	3.995	1422.14	9730	27.62
4	379.35	3053.77	4.739	1551.85	6680	17.61
5	339.62	2487.70	4.125	1658.16	24940	73.44
6	370.86	2892.67	4.702	1625.49	17050	45.97
7	367.49	3187.95	4.919	1543.00	22080	60.08
8	331.79	2521.59	4.292	1702.10	17400	52.44
9	335.65	2525.79	4.279	1694.12	23290	69.39
10	342.56	2475.01	4.214	1702.62	19800	57.80
11	335.41	2482.00	4.368	1759.87	7900	23.55
12	343.52	2516.28	4.403	1749.81	19440	56.59
13	355.11	2698.84	4.495	1665.53	10680	30.08
14	335.69	2450.52	4.127	1684.13	19950	59.43
15	348.14	2593.62	4.125	1590.44	17250	49.55

Tabla 21. Resistencia a la compresión por piezas individuales relacionados a la Zona 2.

<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 (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	319.65	1670.19	2.55	1526.77	24700	77.27
<b>2</b>	324.71	1664.14	2.305	1385.10	24000	73.91
<b>3</b>	302.78	1612.31	2.379	1475.53	15480	51.13
<b>4</b>	283.22	1522.30	2.454	1612.03	15000	52.96
<b>5</b>	326.08	1703.76	2.281	1338.80	16000	49.07
<b>6</b>	323.39	1681.62	2.113	1256.53	11680	36.12
<b>7</b>	332.46	1662.28	2.371	1426.35	15710	47.25
<b>8</b>	314.55	1572.73	2.414	1534.91	14980	47.62
<b>9</b>	328.94	1809.18	2.489	1375.76	20220	61.47
<b>10</b>	306.46	1555.28	2.288	1471.12	7800	25.45
<b>11</b>	288.75	1537.59	2.461	1600.55	23370	80.94
<b>12</b>	332.72	1721.82	2.424	1407.81	18030	54.19
<b>13</b>	334.39	1697.01	2.388	1407.18	16990	50.81
<b>14</b>	331.47	1765.08	2.44	1382.38	17010	51.32
<b>15</b>	324.77	1672.54	2.33	1393.09	25240	77.72

Tabla 22. Resistencia a la compresión por piezas individuales relacionados a la Zona 3.

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

Zona 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
<b>Zona 1</b>	21.5	15.7	2.32	0.11
<b>Zona 2</b>	28.0	17.7	4.98	0.23
<b>Zona 3</b>	20.6	15.0	3.71	0.13

Tabla 23. resistencia a la compresión en pilas.

## Evidencias fotográficas de la fase experimental



Ilustración 25. Especímenes de ensayo.



Ilustración 26. Elaboración de mortero Tipo II para elaboración de pilas de tabiques.



Ilustración 27. Preparación de cubo de ensayo de mortero para unión para formación de pilas.



Ilustración 28. Proceso de elaboración de pilas de tabiques.