



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD Y ESPECIFICACIONES  
PARA LADRILLOS MACIZOS Y BALDOSAS DE BARRO COCIDO, ELABORADOS  
EN EL TEJAR, CHIMALTENANGO, GUATEMALA**

**Rudy Fernando Rojas Fuentes**

Asesorado por el Ing. José Gabriel Ordóñez Morales

Guatemala, abril de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD Y ESPECIFICACIONES  
PARA LADRILLOS MACIZOS Y BALDOSAS DE BARRO COCIDO, ELABORADOS  
EN EL TEJAR, CHIMALTENANGO, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**RUDY FERNANDO ROJAS FUENTES**  
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ GABRIEL ORDOÑEZ MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, ABRIL DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

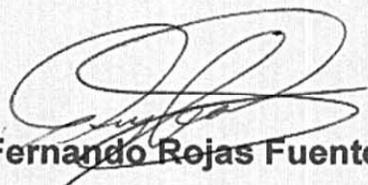
DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García (a. i.)
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
EXAMINADOR	Ing. Crecencio Benjamín Cifuentes Velásquez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD Y ESPECIFICACIONES  
PARA LADRILLOS MACIZOS Y BALDOSAS DE BARRO COCIDO, ELABORADOS  
EN EL TEJAR, CHIMALTENANGO, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,  
con fecha noviembre de 2014.

  
**Rudy Fernando Rojas Fuentes**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
01 de abril de 2016

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD Y ESPECIFICACIONES PARA LADRILLOS MACIZOS Y BALDOSAS DE BARRO COCIDO, ELABORADOS EN EL TEJAR, CHIMALTENANGO, GUATEMALA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Rudy Fernando Fuentes quien contó con la asesoría del Ing. José Gabriel Ordóñez Morales.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

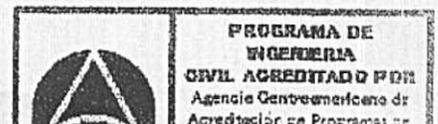
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales  
Asesor y Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ÁREA DE MATERIALES  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

/mrrm.





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

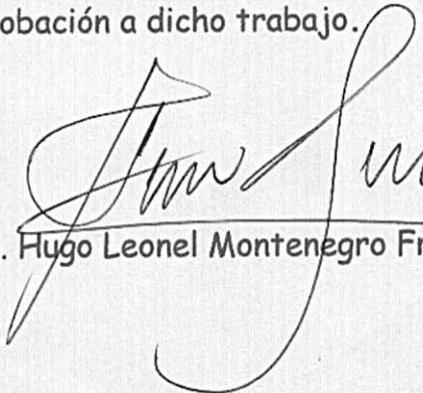
<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Rudy Fernando Fuentes , titulado **INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD Y ESPECIFICACIONES PARA LADRILLOS MACIZOS Y BALDOSAS DE BARRO COCIDO, ELABORADOS EN EL TEJAR, CHIMALTENANGO, GUATEMALA,** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco




Guatemala, abril 2016  
/mrrm.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD Y ESPECIFICACIONES PARA LADRILLOS MACIZOS Y BALDOSAS DE BARRO COCIDO, ELABORADOS EN EL TEJAR, CHIMALTENANGO, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Rudy Fernando Rojas Fuentes**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Potanco  
Decano



Guatemala, abril de 2016

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios**

Porque en Él fueron creadas todas las cosas,  
las que hay en los cielos y las que hay en la  
tierra, todo fue creado por Él y para Él.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por el regalo de la vida, por sostenerme en el camino y darme la oportunidad de vivir este momento.
<b>Mis padres y hermana</b>	Quienes me permitieron alcanzar esta meta con su esfuerzo, ayuda, ejemplo y amor.
<b>Ing. Gabriel Ordóñez</b>	Por su gran apoyo como asesor en la elaboración de este trabajo de graduación, por su influencia como catedrático y mentor.
<b>Familia y amigos</b>	Por su apoyo y cariño sincero, es un regalo que valoro mucho.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	A la Facultad de Ingeniería y su Centro de Investigaciones, por darme el privilegio de la formación profesional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Historia del barro cocido como material de construcción.....	1
1.1.2. Historia del barro cocido en Guatemala.....	2
1.2. Características de los mampuestos de barro cocido .....	3
1.3. Proceso de producción del material .....	4
1.3.1. Producción en Guatemala .....	5
2. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO CON MAMPOSTERÍA DE BARRO COCIDO .....	9
2.1. Parámetros comunes incluidos en especificaciones técnicas .....	10
2.2. Especificaciones técnicas según normativa guatemalteca .....	12
2.3. Procedimientos de ensayos de laboratorio.....	15
3. ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS Y BALDOSAS DE BARRO COCIDO EN EL TEJAR, CHIMALTENANGO.....	17

3.1.	Descripción del área de influencia .....	17
3.1.1.	Descripción geográfica .....	17
3.1.2.	Aspectos socioeconómicos .....	19
3.2.	Investigación de campo.....	20
3.2.1.	Determinación de población de productores de barro cocido.....	20
3.2.2.	Análisis estadístico de la población.....	21
3.2.2.1.	Encuesta a productores de barro cocido.....	22
3.2.2.1.1.	Volumen de producción de mampuestos de barro cocido en El Tejar .....	24
3.2.2.2.	Muestreo de la población de productores de barro cocido.....	24
4.	ESTUDIO DE LABORATORIO DE LAS MUESTRAS DE LADRILLOS Y BALDOSAS OBTENIDAS.....	27
4.1.	Descripción de los ensayos a realizar .....	27
4.2.	Ensayos en ladrillos .....	28
4.2.1.	Resultados de los ensayos.....	28
4.2.2.	Análisis de resultados .....	30
4.3.	Ensayos en baldosas .....	46
4.3.1.	Resultados de los ensayos.....	47
4.3.2.	Análisis de resultados .....	47
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	49
5.1.	Volumen de producción de mampostería de barro cocido en El Tejar.....	49

5.2.	Situación de los mampuestos de barro cocido producidos en El Tejar respecto a especificaciones técnicas .....	49
5.3.	Propuestas y mejoras para resultados óptimos.....	50
CONCLUSIONES .....		51
RECOMENDACIONES.....		53
BIBLIOGRAFÍA.....		55
ANEXOS.....		57



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ubicación del departamento de Chimaltenango.....	18
2.	Ubicación del municipio El Tejar .....	18
3.	Distribución de frecuencias para resistencia a compresión.....	31
4.	Distribución según grado, para fábricas que sí utilizan proporción de mezcla.....	34
5.	Distribución según grado, para fábricas que no utilizan proporción de mezcla.....	34
6.	Resistencia a compresión como función de la densidad.....	36
7.	Histograma de frecuencias agrupadas: resistencia a compresión .....	40
8.	Histograma de frecuencias agrupadas: resistencia a compresión (corrección) .....	42
9.	Histograma de frecuencias agrupadas: absorción de humedad .....	44
10.	Histograma de frecuencias agrupadas: absorción de humedad (corregido).....	45

### TABLAS

I.	Requisitos para ladrillos macizos hechos a mano.....	14
II.	Requisitos para baldosas de barro cocido, clase NX, tipo III, aplicación PS según norma ASTM C 902 .....	15
III.	Resultados de encuestas–parte 1 .....	22
IV.	Resultados de encuestas–parte 2.....	23

V.	Producción diaria promedio .....	24
VI.	Requisitos para resistencia a flexión.....	28
VII.	Resultados de ensayos de laboratorio.....	29
VIII.	Comparación de fábricas por productos elaborados.....	30
IX.	Promedio de variables de interés socioeconómico .....	30
X.	Tabla de frecuencias para resistencia a compresión .....	31
XI.	Clasificación de muestras por absorción de humedad según norma NGO 41 022.....	32
XII.	Clasificación según grado y resistencia a compresión para las fábricas que sí utilizan proporción de mezcla .....	33
XIII.	Clasificación según grado y resistencia a compresión para las fábricas que no utilizan proporción de mezcla .....	33
XIV.	Variación de resistencia a compresión según el uso o no de proporciones en la fabricación de ladrillos .....	35
XV.	Densidad y resistencia a compresión de ladrillos .....	36
XVI.	Parámetros estadísticos: resistencia a compresión .....	39
XVII.	Distribución de frecuencias: resistencia a compresión .....	40
XVIII.	Parámetros estadísticos: resistencia a compresión (corregido).....	41
XIX.	Parámetros estadísticos: absorción de humedad .....	43
XX.	Distribución de frecuencias: absorción de humedad.....	43
XXI.	Parámetros estadísticos: absorción de humedad (corregido).....	45
XXII.	Clasificación de ladrillos por su grado estructural .....	46

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>AlO<sub>5</sub></b>	Alumina
<b>a.C.</b>	Antes de Cristo
<b>SiO<sub>2</sub></b>	Dióxido de silicio
<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Kilogramo sobre centímetro cuadrado
<b>MPa</b>	Megapascal
<b>mm</b>	Milímetro
<b>f'm</b>	Resistencia a compresión de la mampostería



## GLOSARIO

<b>ACI</b>	American Concrete Institute.
<b>Agies</b>	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
<b>ASCE</b>	American Society of Civil Engineers.
<b>ASTM</b>	American Society of the International Association for Testing and Materials.
<b>Coguanor</b>	Comisión Guatemalteca de Normas.
<b>FHA</b>	Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas.
<b>Grout</b>	Mezcla de cemento, arena, grava fina y la cantidad de agua necesaria para proporcionar una consistencia fluida.
<b>Mesoamérica</b>	Región cultural que comprende la mitad meridional de México, los territorios de Guatemala, El Salvador, y Belice, así como el occidente de Honduras, Nicaragua y Costa Rica.



## RESUMEN

Esta investigación inicia haciendo una reseña histórica del uso del ladrillo en la construcción. Posteriormente, se hace un resumen de las características físicas y propiedades mecánicas de los ladrillos y baldosas de barro cocido. Se describen los códigos de seguridad estructural, códigos de construcción y normas relacionadas con ladrillos y baldosas de barro cocido, haciendo énfasis a las especificaciones técnicas que se requieren para este material en Guatemala.

Seguidamente se hace una investigación en el municipio El Tejar, describiendo aspectos socioeconómicos que se relacionan con la producción de barro cocido. Junto con la investigación de campo, se realizan encuestas con el fin de obtener información relacionada al proceso de producción de barro cocido en el municipio. Se hizo una muestra de las fábricas productoras de barro cocido en el municipio, y de esta muestra se tomaron unidades para realizar ensayos de laboratorio.

Se realizó la investigación experimental y se hizo un análisis estadístico para obtener parámetros estadísticos que representen a la población y con base en estos parámetros obtener resultados que se comparen con las especificaciones técnicas locales. Finalmente, se hace una discusión de los resultados donde se clasifican a las unidades de mampostería estudiadas en una de las designaciones que establecen las especificaciones técnicas.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar parámetros estadísticos para las propiedades mecánicas y características físicas de los ladrillos macizos artesanales elaborados en El Tejar, Chimaltenango.

### **Específicos**

1. Realizar sondeos, estudios de reconocimiento y encuestas para determinar el volumen de producción de las fábricas del municipio.
2. Determinar los materiales y proporciones utilizadas por los artesanos en la elaboración de los ladrillos de barro cocido, y su incidencia en la calidad de los ladrillos.
3. Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales mediante ensayos de laboratorio, y con parámetros estadísticos comparar con especificaciones técnicas nacionales.



## INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país que, por su ubicación geográfica y geología, sufre de alta amenaza sísmica en varios territorios. Por lo tanto, el diseño y construcción de edificaciones se debe realizar de manera que garantice la seguridad del edificio y sus ocupantes en estas circunstancias, haciendo uso de reglamentos, códigos y normas para diseño y construcción. Esto conlleva a que se utilicen materiales que cumplan con parámetros de calidad según las especificaciones técnicas locales.

En el municipio El Tejar, departamento de Chimaltenango, se producen artesanalmente ladrillos macizos y baldosas de barro cocido. Estos materiales son utilizados en construcciones dentro del municipio y sus alrededores. Sin embargo, se carece de información acerca de las características físicas y propiedades mecánicas de estos materiales y no se sabe si cumplen con los requisitos de las especificaciones técnicas locales para los diferentes usos que se les dan.

En el presente informe se evalúa el valor histórico del ladrillo en la construcción. Se inspeccionan las normas de seguridad estructural, códigos de diseño y las especificaciones técnicas relacionados con ladrillos de barro cocido. Se documentan las circunstancias que rodean la producción este de material. Se describen los resultados obtenidos de la investigación experimental de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales que se elaboran en el Tejar. Finalmente, se describe la situación de este material en el cumplimiento de los requisitos que establecen las especificaciones técnicas locales.



# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Antecedentes

Las primeras culturas utilizaron materiales como: barro, hueso, piedra, entre otros, para cubrir sus necesidades diarias.

### 1.1.1. Historia del barro cocido como material de construcción

Previo a describir la historia del ladrillo de barro cocido, cabe mencionar que antes del descubrimiento de este material se utilizaba la tierra o barro en bloques de adobe, el cual fue el precursor del ladrillo. Se estima que la construcción con tierra tiene más de 9 000 años de antigüedad “en el Turquestán fueron descubiertas viviendas de tierra del período 8 000 – 6 000 a.C.”<sup>1</sup> Asimismo, se encontró evidencia arqueológica que en el imperio Caldeo se utilizaba adobe secado al sol, en el tiempo de Sargon de Akkad, alrededor del 3 800 a.C.

Pese a que se desconoce el momento exacto cuando el hombre aprendió a moldear el barro y hornearlo para convertirlo en un material duro y resistente, el primer registro del uso del ladrillo de barro cocido se encuentra en Babilonia en tiempos de Nabucodonosor (604 – 502 a.C.). Herodoto, el historiador griego del siglo V antes de Cristo describe con admiración las maravillas de Babilonia,

---

<sup>1</sup> MINKE, Gernot. *Manual de construcción en tierra*. p. 13.

especialmente “las inmensas murallas, templos espléndidos y los maravillosos jardines colgantes”<sup>2</sup>, todos hechos de ladrillo.

Los sirios, que provienen de los babilonios, como los romanos de los griegos, mantuvieron el uso del ladrillo y dejaron restos de templos y palacios visibles en la actualidad. El arte de elaboración de ladrillos de los tiempos antiguos se expandió desde Babilonia hasta Persia, India y China por el Este; y a Egipto, Asia menor, Grecia y Roma por el oeste. En el imperio romano, el uso del ladrillo se expandió sobre casi todos sus dominios. Los baños de Caracalla, la basílica de Constantino en Roma y el domo de Santa Sofía en Constantinopla son ejemplos de la gran habilidad de los romanos en el uso del ladrillo.

Europa naturalmente aprendió la práctica del uso de ladrillos de los romanos. Luego que la confusión causada por las invasiones bárbaras cesara y que la Iglesia trajera algún tipo de orden en la sociedad europea, la arquitectura siguió una tendencia en el arte románico y el subsiguiente período gótico. Es aquí cuando el ladrillo encuentra un lugar en la historia, entonces, en el norte de Italia, el sur de Francia, Alemania y los Países Bajos, donde la arcilla abunda, se llevó a cabo una extensiva construcción con ladrillo.

En España, el arte del ladrillo fue adquirido a través de los moros, los cuales dejaron ejemplares de excelente solidez y gran belleza, como la Alhambra en Granada y la mezquita, ahora catedral de Córdoba.

### **1.1.2. Historia del barro cocido en Guatemala**

En América, los conquistadores españoles encontraron un rudimentario pero excelente trabajo con adobe, especialmente en Perú y Mesoamérica,

---

<sup>2</sup> American Face Brick Association. *The story of brick*. p. 6.

incluyendo Guatemala. En respuesta a esta situación, durante la colonia los españoles siguieron empleando la construcción con adobe en edificios de un nivel y luego enseñaron la elaboración de ladrillo a los nativos, tradición que se mantiene hasta hoy. Históricamente se conocen dos lugares donde se trabaja barro cocido desde tiempos coloniales, Chinautla y El Tejar. En el caso de El Tejar, se sabe que la gente del lugar trabaja el adobe desde la época precolombina y, aunque no se sabe el tiempo exacto cuando se crea el poblado (que después pasó a ser municipio), se tienen registros históricos de la creación de tejas en el lugar que datan del siglo XVI; “en 1567, (El Tejar) ya era reconocido en todo el valle central por su producción de tejas de adobe, que eran empleadas para la construcción de iglesias y otras edificaciones”<sup>3</sup>.

## **1.2. Características de los mampuestos de barro cocido**

Se llama ladrillo a la unidad de mampostería hecha a base de barro cocido, es un material de tipo cerámico, de naturaleza frágil y de dureza moderada. Debido al proceso de cocción al horno, el barro cocido es un material que tiene baja conductividad térmica, por lo tanto es un aislante térmico adecuado. Además, es a prueba de fuego, a diferencia de materiales resistentes al fuego que solo pueden demorar el tiempo de combustión, el ladrillo no se quema o consume en presencia del fuego. Se elabora con una mezcla de arcilla con limo, arena u otros materiales, “moldeada o extruida en forma rectangular, con o sin agujeros, cavidades, perforaciones y endurecida por medio de fuego hasta fusión incipiente”<sup>4</sup>. El ladrillo es una unidad de mampostería con amplio uso en la construcción que se utiliza para la construcción de muros de carga y tabiques, alcantarillado y pozos de visita, entre otros usos diversos.

---

<sup>3</sup> Municipalidad de El Tejar. *Historia de El Tejar*. <http://www.municipalidadeltejar.org/el-tejar/historia/>. Consulta: febrero de 2015.

<sup>4</sup> Coguanor. NGO 41 022 *Ladrillos de barro cocido, especificaciones*. p.1.

En los ladrillos de barro cocido el componente que sirve como aglutinante y que brinda resistencia a la compresión es la arcilla. La arcilla es un tipo de suelo fino, cohesivo, con partículas menores a 0,002 mm y que es producto de la erosión y degradación química de las rocas. La arcilla se compone principalmente de dióxido de silicio y de alumina, conteniendo agua y óxidos de hierro en diversas cantidades.

En su estado natural es susceptible a la corrosión, sin embargo, al pasar el proceso de cocción no se degrada en presencia del agua. Por otra parte, el barro cocido contiene también arena y limo, los cuales difieren de la arcilla en sus propiedades y origen, “son solo agregados sin fuerza aglutinante y están formados a partir de rocas erosionadas”<sup>5</sup>, por lo que solo brindan alguna resistencia mecánica y no forman parte esencial en las reacciones químicas que provocan la fusión incipiente que endurece el barro durante la cocción.

### **1.3. Proceso de producción del material**

Pese a que el concepto fundamental de moldear una pieza de barro y someterla a altas temperaturas en un horno es el que se emplea para fabricar piezas de barro cocido, las técnicas y equipo utilizados influyen grandemente en el producto. Es por este motivo que se presentan los tres métodos más comunes en la producción de ladrillos de barro cocido. Se hace la observación que en todos los métodos mencionados el barro empleado es una mezcla de arcilla y limo que se debe seleccionar previo a fabricar las piezas, por lo que el primer proceso general a realizar es la molienda del barro.

El primer método, artesanal, consiste en moldear el barro en condición suave y presionarlo manualmente, o con maquinaria, en moldes que han sido

---

<sup>5</sup> MINKE, Gernot. *Manual de construcción en tierra* p. 24.

rociados con agua o arena húmeda para prevenir que el barro se adhiera a los moldes. Una vez el barro se endurece, se extraen las piezas de barro y se someten a un proceso de secado, que puede ser al sol, para finalmente introducir los ladrillos al horno.

En el segundo método, llamado de extrusión, la arcilla o pizarra se muele, se temple en la consistencia de lodo rígido y es forzada por una máquina de barrena a través de un troquel en forma de una barra, que tiene la sección transversal de un ladrillo. Esta barra se transporta mediante una banda a una mesa de acero ranurado, donde un marco, ensartado con una serie de alambres de corte, gira a intervalos apropiados y realiza el corte de la barra en los tamaños deseados. Estos son luego secados y posteriormente transportados al horno. En este tipo de proceso industrial se puede realizar una producción de cientos de miles de unidades en un día.

El tercer método se denomina de prensado en seco, en el cual el barro es reducido a una forma granular fina que es entonces, en una condición casi seca, forzado, bajo una inmensa presión, en los moldes de tamaño adecuado. Este método es menos utilizado debido a que presenta un mayor costo, pero se observa que produce las unidades de mejor calidad.

### **1.3.1. Producción en Guatemala**

En Guatemala los ladrillos de barro cocido se fabrican tanto de manera artesanal como industrializada. Dos de las fábricas que manejan un mayor volumen de producción son Las Cruces e Industria Materiales de Construcción (INMACO), ambas ubicadas en el norte de la ciudad capital, las cuales emplean procesos de producción industrial con controles de calidad constantes para asegurar la calidad del producto fabricado.

Por otra parte, dentro del país se realiza producción de ladrillo de manera artesanal, y este producto se utiliza para abastecer la demanda de la población local. Existen diversos puntos donde se producen ladrillos y baldosas de barro cocido, por ejemplo Chinautla, departamento de Guatemala, y la aldea Agua Salóbrega, El Progreso. Otro municipio donde existe una gran producción de barro cocido es El Tejar, Chimaltenango, del cual se conoce que se producen materiales de barro desde 1567. La producción de materiales de barro en El Tejar no solo abastece a la población local, sino que también se comercializa en el interior del país. Los ladrillos que se producen artesanalmente en El Tejar son sólidos o macizos, a los cuales se les da el apodo de tayuyos, y se observa el uso de estos en diversas aplicaciones: fachadas decorativas, hornos artesanales y muros de carga en algunas edificaciones de mampostería reforzada.

En el municipio El Tejar se observa que, pese a diferencias en los criterios para la selección y mezcla de materias primas, el proceso de producción de los ladrillos es casi el mismo en todas las fábricas artesanales. Primero se realiza la selección y extracción del barro y limo desde los bancos de material y se transporta, generalmente en camión, hacia la fábrica artesanal, donde se procede a limpiar la materia prima, extrayendo toda materia orgánica, piedra o fuente de contaminación. Luego, el artesano realiza la mezcla del barro, las proporciones de arcilla y limo que se van a emplear.

Posteriormente se realiza la homogenización y humectación del material hasta que alcance la consistencia deseada. Para esto, el artesano mezcla el barro utilizando los pies, cubriendo luego el material mezclado con plástico para evitar que pierda humedad y consistencia. Luego se moldea el barro y se introduce en los moldes, se espera a que el barro se endurezca para retirar el molde e iniciar el proceso de secado al sol. Posteriormente se inicia la cocción

en el horno, para ello se introducen en el horno la mayor cantidad de piezas posibles, dispuestas de manera que quede un espacio entre cada una para procurar que el calor las envuelva a todas. La cocción se realiza durante 24 horas y se utiliza leña para la combustión.



## **2. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO CON MAMPOSTERÍA DE BARRO COCIDO**

Para seleccionar las cargas de diseño, esfuerzos permisibles, factores de seguridad y especificaciones que los materiales deben cumplir, el diseñador estructural hace uso de códigos de construcción, los cuales definen estos valores de manera congruente y ordenada, con el fin de que se diseñen estructuras seguras y funcionales.

El Código Internacional de Construcción (IBC) es un modelo adoptado por Estados Unidos y varios mercados internacionales como código de construcción oficial, hace una amplia referencia a otros códigos, normas y especificaciones publicadas por otras entidades. En el caso de estructuras de mampostería, el IBC cita las especificaciones y el código del Comité Conjunto de Normas de Mampostería (MSJC), *Building code requirements for masonry structures* (ACI 530/ASCE 5/TMS 402). En Guatemala se han adoptado las normas de seguridad estructural de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (Agies), la norma Agies NSE 7.4 *Mampostería reforzada* se utiliza para el diseño de estructuras de mampostería.

Para la selección de los materiales a utilizar, los códigos hacen referencia a especificaciones técnicas. El IBC y MSJC citan las especificaciones y normas ASTM para unidades de mampostería. Agies cita las especificaciones y normas de la Comisión Guatemalteca de Normas (Coguanor). Las especificaciones determinan los requerimientos que el material debe cumplir, las normas dictan los procedimientos estandarizados para ensayos de laboratorio o ensayos de campo, según el caso.

Debido a que la mampostería de ladrillo es unida en una masa integral con el mortero y el *grout*, se considera una construcción homogénea. El comportamiento de la combinación de materiales es el que determina el desempeño de la mampostería como un elemento estructural. Para ello se determina la resistencia a compresión de la mampostería ( $f'_m$ ), la cual es usada para determinar los esfuerzos axiales y de compresión por flexión, así como los esfuerzos cortantes utilizados en el diseño estructural. Sin embargo, el desempeño del elemento estructural depende de las propiedades de los materiales individuales que lo constituyen y la interacción de los mismos. Debido a que las propiedades del mortero utilizado para unir la mampostería dependen de los requerimientos de diseño, proporciones utilizadas y materiales locales disponibles, variables en cada obra; para este estudio solamente se hará énfasis en las propiedades de los ladrillos y de las especificaciones técnicas para estos.

## **2.1. Parámetros comunes incluidos en especificaciones técnicas**

Las especificaciones técnicas para ladrillos, independientemente del país o entidad que provengan, establecen los requerimientos mínimos que el material bajo estudio debe cumplir para ser aprobado para un determinado uso. En general, estos requerimientos son una medida de las propiedades mecánicas del material, que se pueden determinar mediante ensayos de laboratorio que tienen un procedimiento establecido y estandarizado.

La cantidad de requerimientos pueden ser diferentes según el lugar donde se aplican las especificaciones, debido a situaciones climáticas extremas o controles de calidad más estrictos. Por ejemplo, en lugares donde se sufre el efecto de nieve o heladas, se debe evaluar el desempeño del ladrillo a los ciclos de hielo y deshielo. Sin embargo, existe cierta consistencia entre los diferentes

códigos de construcción alrededor del mundo y, por lo tanto, en las especificaciones que citan. La realidad es que en muchos casos las normas y especificaciones locales son traducciones o adaptaciones de documentos que son aceptados y utilizados por consenso general. A continuación se incluye un listado de las propiedades físicas y mecánicas más comunes que se incluyen en la mayoría de especificaciones para ladrillos.

- Dimensiones
- Resistencia a compresión
- Absorción máxima de humedad
- Congelación y descongelación

Existe una gran variedad de ladrillos, en lo que respecta a dimensiones. Algunas especificaciones establecen las dimensiones nominales que deben tener los ladrillos para cumplir con la norma, en general estas son las dimensiones de las piezas que más se utilizan en el mercado. Se enfatiza la tolerancia que se permite en la variación entre las dimensiones de una unidad de mampostería con las dimensiones nominales. Generalmente se permite una variación de algunos milímetros más o menos que la dimensión nominal.

La resistencia a la compresión es uno de los requerimientos más importantes para las unidades de mampostería que tendrán un uso estructural. Es la medida del esfuerzo a compresión requerido para ocasionar la ruptura del material. El esfuerzo se determina dividiendo la carga a compresión aplicada sobre el ladrillo dentro del área del mismo. Normalmente, las especificaciones técnicas establecen la resistencia a compresión mínima que deben tener las unidades de mampostería según su clasificación y uso.

La absorción de humedad es una medida de la masa de agua que el ladrillo absorbe después de saturarse en agua. Existen dos propiedades que se verifican: absorción máxima de humedad y absorción o succión inicial. La absorción máxima mide la cantidad de agua que se absorbe luego de sumergir el ladrillo durante veinticuatro horas seguidas. Esta propiedad determina el comportamiento del ladrillo en la intemperie y su durabilidad en el tiempo, así como la cantidad de humedad que el ladrillo absorbe al adherirse al mortero. La absorción o succión inicial es la medida de la cantidad de agua que el ladrillo absorbe por capilaridad.

Debe hacerse la observación que, por criterios de durabilidad, la absorción de agua es una propiedad importante. Sin embargo, la absorción de humedad del ladrillo al momento de adherirse al mortero puede ser modificada humedeciéndolo previamente, por esta razón, unidades con absorción de humedad muy alta no deben ser rechazadas si no estarán expuestas a la intemperie.

El desempeño de los ladrillos a ciclos de congelación y descongelación determina la durabilidad del material ante las condiciones ambientales cuando existe la posibilidad de congelación. Los ladrillos se someten a ciclos de congelación y descongelación en presencia de agua. La aceptación de los ladrillos se determina evaluando la existencia de desintegración, ruptura o fisuras en los ladrillos al terminar el ensayo. En Guatemala no se evalúa este requerimiento debido a que no aplica para las condiciones climáticas locales.

## **2.2. Especificaciones técnicas según normativa guatemalteca**

En Guatemala, las especificaciones técnicas para ladrillos se describen en la Norma Coguanor NGO 41 022. La norma clasifica a los ladrillos en tipos,

según su proceso de fabricación, en grados, según sus propiedades mecánicas, y en clases, por su forma y perforaciones. Los ladrillos se clasifican por tipos de la siguiente manera:

- Tipo MQ: hecho a máquina
- Tipo MA: hecho a mano

La clasificación por grado es un criterio de gran importancia, ya que tiene impacto en las propiedades estructurales del material y, por lo tanto, en el uso que se le puede dar al mismo. A continuación se describe el uso que corresponde para cada grado.

- Grado 1, paredes con carga elevada expuesta en dos caras: la carga distribuida sobre la pared está comprendida entre 2,4 y 3,6 MPa.
- Grado 2, paredes con carga moderada expuesta en una cara: la carga distribuida sobre la pared está comprendida entre 1,35 y 2,4 MPa.
- Grado 3, paredes con carga baja expuesta en una cara: la carga distribuida sobre la pared está comprendida entre 1,05 y 1,35 MPa.

Los ladrillos se clasifican por clase de la siguiente manera:

- Clase M: macizo
- Clase P: perforado
- Clase T: tubular

Debe hacerse la observación que los ladrillos tipo MA, solo pueden ser macizos (clase M). Además, al reportar las propiedades de un ladrillo, debe adjuntarse de su designación. Por ejemplo, para esta investigación los ladrillos serán: tipo MA, clase M, grado a determinarse.

La norma también establece cuales son los requerimientos que deben cumplir los ladrillos, en la tabla I se describen los requerimientos para ladrillos tipo MA, clase M.

Tabla I. **Requisitos para ladrillos macizos hechos a mano**

Propiedad	Grado 1	Grado 2	Grado 3
<u>Resistencia a compresión mínima (MPa)</u>			
Promedio de 5 unidades	12	8	4,5
Individual	9	6	3,5
<u>Adherencia mínima (MPa)</u>			
Promedio de 5 unidades	0,4	0,4	0,25
Individual	0,3	0,2	0,2
<u>Absorción máxima (%)</u>			
Promedio de 5 unidades	14	16	20
Individual	16	18	24
<u>Tolerancia (mm)</u>	±4	±5	±5
<u>Razón inicial de absorción máxima (g/min*cm<sup>2</sup>)</u>	0,15	0,15	0,15

FUENTE: Coguanor. NGO 41 022. *Ladrillos de barro cocido, especificaciones*. p. 150.

En cuanto a las baldosas de barro cocido, en Guatemala no existen normas que dicten requisitos para este material, el Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas (FHA) incluye en sus normas de planificación y construcción, especificaciones para baldosas o pisos de cemento líquido, pero no para baldosas de barro cocido. En este sentido, se hace referencia a la norma ASTM C 902, *Especificación estándar para pavimento de ladrillo para tráfico ligero y peatonal*. Se describen los requisitos de las propiedades para baldosas de uso interior (clase NX) sujetos a baja abrasión (tipo III, uso

residencial) y que serán instalados utilizando un mortero de pega entre las juntas (aplicación PS). El índice de abrasión se calcula como la relación entre el porcentaje de absorción de humedad y la resistencia a compresión, según la norma C 902.

Tabla II. **Requisitos para baldosas de barro cocido, clase NX, tipo III, aplicación PS según norma ASTM C 902**

Propiedad	Valor
<b>Resistencia a compresión mínima (MPa)</b>	
Promedio de 5 unidades	20,70
Individual	17,20
<b>Índice de abrasión máximo</b>	0,50
<b>Tolerancia en la distorsión (mm)</b>	
Lado menor a 203 mm	2,40
Lado entre 203 y 305 mm	3,20
Lado entre 305 y 406 mm	4,00
<b>Tolerancia en dimensiones (mm)</b>	
Lado menor a 76 mm	±3,20
Lado entre 76 a 127 mm	±4,70
Lado entre 127 y 203 mm	±6,40
Lado mayor a 203 mm	±7,90

Fuente: ASTM. Norma C 902-04. p. 185.

### 2.3. Procedimientos de ensayos de laboratorio

Para determinar las propiedades mecánicas y físicas del material a evaluar para compararlas con los valores que requieran las especificaciones de la Norma NGO 41 022, se deben realizar ensayos de laboratorio a los materiales. Estos ensayos se deben realizar empleando un equipo y materiales específicos y siguiendo un procedimiento estandarizado y normalizado. Para

ello, la especificación NGO 41 022 determina las normas que se deben cumplir para la realización de los ensayos de laboratorio. Estas normas son las siguientes:

- Coguanor NGO 41 023: *Ladrillos de barro cocido. Toma de muestras.*
- Coguanor NGO 41 024 h1: *Ladrillos de barro cocido. Determinación de la forma y dimensiones.*
- Coguanor NGO 41 024 h2: *Ladrillos de barro cocido. Determinación de la resistencia a compresión.*
- Coguanor NGO 41 024 h3: *Ladrillos de barro cocido. Determinación de la adherencia.*
- Coguanor NGO 41 024 h4: *Ladrillos de barro cocido. Determinación de la absorción de agua.*
- Coguanor NGO 41 024 h5: *Ladrillos de barro cocido. Determinación de la razón inicial de absorción.*

### **3. ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS Y BALDOSAS DE BARRO COCIDO EN EL TEJAR, CHIMALTENANGO**

#### **3.1. Descripción del área de influencia**

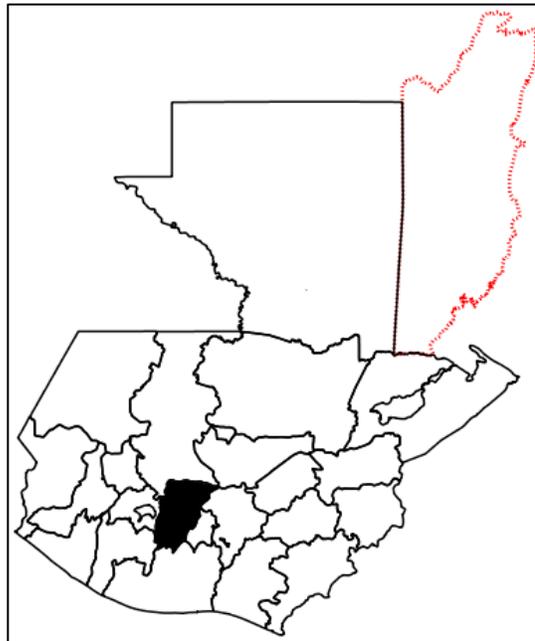
A continuación se describe el área de influencia de la producción de ladrillos y baldosas de barro cocido.

##### **3.1.1. Descripción geográfica**

El municipio El Tejar se encuentra ubicado en el departamento de Chimaltenango, región central del país. Límite al norte con los municipios de Chimaltenango y San Juan Sacatepéquez (Guatemala); al sur con los municipios de Parramos (Chimaltenango), Pastores y Sumpango (Sacatepéquez); al este con los municipios de San Juan Sacatepéquez (Guatemala) y Sumpango (Sacatepéquez); y al oeste con el municipio de Chimaltenango. El municipio El Tejar tiene un área de 144 kilómetros cuadrados; se compone de la cabecera El Tejar, dividida en 4 zonas, y dos aldeas: San Miguel Morazán y Santo Domingo.

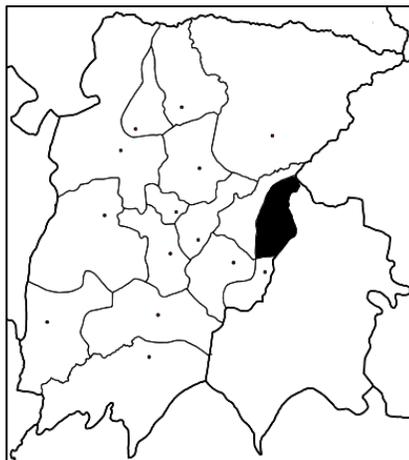
El Tejar se clasifica como un área densamente edificada. Las áreas urbanizadas en la cabecera El Tejar siguen su extensión fuera de los límites municipales y se unen con el municipio de Chimaltenango. Por el municipio pasa la carretera Interamericana, la cual facilita el acceso al departamento de Guatemala, y provoca el paso de varios vehículos. Como se verá más adelante, estos factores tienen impacto en el aspecto socioeconómico.

Figura 1. **Ubicación del departamento de Chimaltenango**



Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

Figura 2. **Ubicación del municipio El Tejar**



Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

### **3.1.2. Aspectos socioeconómicos**

La presencia de la carretera Interamericana influye grandemente en las actividades económicas del municipio El Tejar. Diferentes industrias se ubican El Tejar, así como en el municipio de Chimaltenango, las cuales brindan muchas fuentes de trabajo. El comercio local es otra actividad importante en el municipio, a lo largo de la carretera Interamericana se ubican diversos negocios que aprovechan el paso de vehículos. Finalmente, la fabricación de ladrillos de barro cocido es otra actividad económica importante, existiendo varias fábricas artesanales dispersas en el municipio.

Los artesanos que se dedican a la fabricación de ladrillos de barro cocido son en su mayoría hombres mayores de 30 años, sin embargo, se han encontrado algunos hombres y mujeres jóvenes que se dedican a esta actividad. Para la mayoría de artesanos, la fabricación de productos de barro cocido es una actividad que brinda ingresos de subsistencia. En algunos casos los padres de familia, gracias a la actividad artesanal, logran cumplir con la crianza y educación de sus hijos. Estos, al alcanzar la madurez, se dedican a otras actividades comerciales o industriales, lo cual provoca que se abandone la técnica de elaboración de ladrillos.

También es importante mencionar que la explotación del suelo ha traído consecuencias para los artesanos del municipio. En muchos casos, los artesanos iniciaron extrayendo el barro que se encontraba en el mismo predio de la fábrica, sin embargo, al pasar los años, el barro se ha acabado y han tenido que recurrir a extraer de bancos de material que se ubican en fincas no habitadas, de las cuales algunas también han sido explotadas hasta quedar sin barro.

Otra consecuencia de la fabricación de barro cocido es el consumo de madera como principal combustible para los hornos. Algunas fábricas hacen uso de las ramas y desperdicio de los árboles utilizados por aserraderos, sin embargo, cuando hay mayor demanda o la madera de desperdicio escasea, se talan árboles para alimentar los hornos. El Tejar cuenta con un área forestal, llamada bosque de Tzanjuyu por los locales, de la cual se extrae madera para silvicultura y elaboración de barro cocido.

### **3.2. Investigación de campo**

Para lograr una mejor comprensión del tema que se desarrolla en este trabajo de graduación, se procede a explicar la investigación de campo que se realizó.

#### **3.2.1. Determinación de población de productores de barro cocido**

La población en estudio fue delimitada de manera que existiera la menor cantidad de variables entre los individuos, con el fin de garantizar la repetitividad del estudio y que todos los individuos que componen la muestra a analizar sean representativos de la población. Para ello, se delimitó como área geográfica los límites del municipio El Tejar y se excluyeron a todos los individuos fuera de los límites municipales. Asimismo, solamente se incluyeron a aquellos individuos que emplean métodos completamente artesanales para todo el proceso de producción de ladrillos, excluyendo a los que no emplean estos métodos o que sus procedimientos y herramientas no pueden ser verificados.

Se excluyeron a todos aquellos individuos que no se dedican a la fabricación de ladrillos, como es el caso de individuos y negocios que se dedican a la distribución o comercialización de otras fábricas y artesanos, pero que no producen ladrillos ellos mismos. Se tomó como estándar los ladrillos apodados tayuyos con dimensiones nominales de 23 cm de largo, 11 cm de ancho y 5 cm de alto, se excluyeron a todos los productores que no fabrican unidades con este tamaño nominal.

Según información obtenida de la Municipalidad de El Tejar, se sabe que, hasta febrero de 2015, existen 63 personas registradas en el municipio que se dedican a la fabricación de ladrillos artesanales. También se sabe que aproximadamente existen 30 fábricas artesanales operando en el municipio.

Se observó que los artesanos hacen uso de dos tipos de suelo como materia prima principal para la producción de ladrillos. El primer tipo es un suelo de naturaleza arcillosa de color marrón al que los artesanos le llaman barro fino. El segundo tipo es un suelo de color marrón de naturaleza limo-arenosa al que le denominan barro arenoso. En algunos casos, los artesanos mantienen una proporción fija de estos dos materiales para realizar la molienda del barro que se utilizará para producir los ladrillos. En otras fábricas, las materias primas se mezclan de manera arbitraria hasta que se alcanza la consistencia deseada por el artesano.

### **3.2.2. Análisis estadístico de la población**

Se procedió a analizar una muestra aleatoria de 16 fábricas de ladrillos artesanales en el municipio, asignando a cada fábrica un número de 1 a 16 de manera sorteada. Se realizaron visitas a cada una de las fábricas, con el fin de obtener información acerca de la planta y su responsable, los productos que

elabora y los procesos que realiza para elaborar su producto, así como información de precios unitarios y la cantidad de personas empleadas. Para ello, se realizó una encuesta a cada una de las fábricas de la muestra, con base en los enunciados que se encuentran en el listado siguiente. Los resultados se anotan en las tablas III y IV.

### 3.2.2.1. Encuesta a productores de barro cocido

- Nombre de la fábrica.
- Nombre del responsable.
- Años de experiencia en el oficio.
- Tipo de productos de barro que elabora (ladrillo, teja, baldosa, fachaleta, entre otros).
- Si se hace uso de una proporción para la mezcla de materias primas.
- La proporción en que se mezclan las materias primas para elaborar el producto.
- Tiempo empleado en el secado previo a la cocción.
- Capacidad de los hornos utilizados.
- Producción diaria.
- Precio unitario del producto.
- Cantidad de personas empleadas en la fábrica.

Tabla III. Resultados de encuestas–parte 1

Núm. fábrica	Años experiencia	Produce ladrillo	Produce baldosa	Produce teja	Personal empleado	Precio unitario	Usa proporción
1	65	Sí	Sí	Sí	2	0,6	No
2	40	Sí	Sí	Sí	5	0,6	No
3	50	Sí	Sí	Sí	3	0,75	Sí
4	30	Sí	Sí	Sí	4	0,75	Sí
5	50	Sí	No	Sí	7	3,25	No
6	40	Sí	Sí	Sí	4	0,50	No
7	43	Sí	No	Sí	3	0,40	No
8	60	Sí	Sí	Sí	2	0,45	Sí

Continuación de la tabla III.

9	43	Sí	Sí	Sí	8	0,4	No
10	40	Sí	No	No	1	0,6	No
11	44	Sí	No	Sí	3	0,6	Sí
12	50	Sí	No	Sí	1	0,6	Sí
13	20	Sí	No	No	2	0,5	Sí
14	30	Sí	Sí	Sí	1	0,6	No
15	40	Sí	No	No	1	0,6	No
16	40	Sí	No	No	1	0,6	No

Fuente: elaboración propia, a partir de encuestas realizadas en El Tejar, Chimaltenango.

**Tabla IV. Resultados de encuestas–parte 2**

Núm. fábrica	Proporción		Tiempo presecado		Capacidad hornos (unidades)	Producción diaria	
	% arcilla	% limo	Seco	Lluvioso		Verano	Invierno
1	-	-	4 días	7 días	10 000	500	400
2	-	-	8 días	14 días	45 000	400	400
3	50	50	3 días	7 días	10 000	400	300
4	46	54	3 días	7 días	15 000	800	600
5	-	-	3 días	4 días	22 000	350	350
6	-	-	2 días	5 días	12000	500	500
7	-	-	2 días	4 días	12 000	500	400
8	50	50	3 días	6 días	10 000	450	450
9	-	-	3 días	21 días	13 000	500	400
10	-	-	3 días	7 días	5 000	450	350
11	70	30	3 días	7 días	24 000	500	500
12	50	50	3 días	7 días	8 000	500	400
13	50	50	2 días	3 días	5 000	500	500
14	-	-	3 días	7 días	5 000	400	400
15	-	-	3 días	7 días	5 000	400	300
16	-	-	3 días	7 días	5 000	500	400

Fuente: elaboración propia, a partir de encuestas realizadas en El Tejar, Chimaltenango.

### **3.2.2.1.1. Volumen de producción de mampuestos de barro cocido en El Tejar**

Para determinar cuál es el volumen diario de producción por fábrica en el municipio, se obtuvo el promedio los resultados de las encuestas realizadas. Según los artesanos, la cantidad de unidades que producen al día varía dependiendo de las condiciones climáticas y época del año. Se hizo una distinción entre la producción diaria para la época seca (verano) y para época lluviosa (invierno). El Tejar pertenece a la zona climática de la meseta y altiplano, para la que se estima que los meses lluviosos son de mayo a octubre, y los meses secos de noviembre a abril. Estos resultados se describen en la tabla IV.

Tabla V. **Producción diaria promedio**

Época	Producción diaria promedio por fábrica (mayor entero)
Seca	472
Lluviosa	422

Fuente: elaboración propia, con base en la tabla III.

### **3.2.2.2. Muestreo de la población de productores de barro cocido**

Se tomó una muestra de ladrillos para cada una de las dieciséis fábricas artesanales encuestadas. El muestreo fue de manera aleatoria y se realizó una sola vez por un lote para cada fábrica. Cada uno de los ladrillos fue identificado según la fábrica a la que pertenecen. Las muestras se identificaron con un número que corresponde a la fábrica que pertenecen y una letra según el

correlativo de la muestra; de manera que para la muestra 1B el número identifica que pertenece a la fábrica 1 y la letra se debe a que es el segundo ladrillo en identificarse para esa muestra. Los ladrillos fueron empacados y transportados al Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala para realizar ensayos de laboratorio.

Para esta investigación se hizo un muestreo de 6 unidades por fábrica, en comparación, la Norma Coguanor NGO 41 023 exige que se tomen 10 unidades por muestreo. Sin embargo, en el número de unidades que contempla la norma, se incluyen las unidades necesarias para realizar los ensayos de adherencia y razón inicial de absorción, los cuales están fuera del alcance de esta investigación y no se realizaron, ya que evalúan propiedades ajenas a las unidades de mampostería y propias del mortero de pega, o bien no, se consideraron esenciales y no se realizaron por razones de límites presupuestarios.



## **4. ESTUDIO DE LABORATORIO DE LAS MUESTRAS DE LADRILLOS Y BALDOSAS OBTENIDAS**

### **4.1. Descripción de los ensayos a realizar**

Se realizaron ensayos con el fin de determinar las propiedades mecánicas de los ladrillos obtenidos. Se realizaron solamente aquellos que miden las propiedades de los ladrillos, sin considerar el efecto de otro material o su reacción con este. Por esta razón no se realizó el ensayo de adherencia que depende de las propiedades del mortero. Tampoco se realizó el ensayo de succión, ya que este mide una propiedad que puede ser alterada humedeciendo los ladrillos previo a pegarse y que, en muchos casos, se consigue sumergiendo los ladrillos en agua por 24 horas, para provocar que estén saturados al momento de adherirse con el mortero.

Adicionalmente, se realizó el ensayo de módulo de ruptura, ya que esta propiedad era un requisito en versiones anteriores de las normas locales y los resultados pueden ser útiles como referencia en el futuro. Las normas que se consultaron para realizar los ensayos y la especificación para comparar la propiedad de módulo de ruptura son las siguientes:

- Coguanor NGO 41 024 h1: *Ladrillos de barro cocido. Determinación de la forma y dimensiones.*
- Coguanor NGO 41 024 h2: *Ladrillos de barro cocido. Determinación de la resistencia a compresión.*
- Coguanor NGO 41 024 h4: *Ladrillos de barro cocido. Determinación de la absorción de agua.*

- INEN 297: *Ladrillos cerámicos. Requisitos.*

Los requisitos para la resistencia a flexión en la Norma INEN 297 se miden en base al módulo de ruptura y se describen en la tabla V:

Tabla VI. **Requisitos para resistencia a flexión**

Tipo de ladrillo	Resistencia mínima a flexión, módulo de ruptura (MPa)
Macizo A	4
Macizo B	3
Macizo C	2

Fuente: INEN 297. *Ladrillos cerámicos, requisitos.* p.54.

## 4.2. Ensayos en ladrillos

Es necesario conocer las propiedades de las unidades, básicamente para tener una idea sobre la resistencia de la albañilería, así como de su durabilidad ante el intemperismo.

### 4.2.1. Resultados de los ensayos

Se procedió a realizar los ensayos de laboratorio para las muestras de ladrillos de cada una de las fábricas del muestreo, obteniendo los resultados que se describen en la tabla VI.

Tabla VII. **Resultados de ensayos de laboratorio**

Núm. fábrica	Resistencia a compresión		Resistencia a flexión, módulo de ruptura		Absorción máxima (%)
	kg/cm <sup>2</sup>	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	MPa	
1	90,02	8,83	6,21	0,61	20,49
2	64,91	6,37	5,20	0,51	24,46
3	83,01	8,14	9,16	0,90	36,41
4	67,73	6,64	2,79	0,27	23,76
5	196,91	19,31	4,75	0,47	2,88
6	62,52	6,13	2,56	0,25	23,47
7	96,46	9,46	11,31	1,11	21,11
8	67,55	6,62	2,66	0,26	23,66
9	69,98	6,86	6,22	0,61	22,68
10	52,21	5,12	4,04	0,40	23,23
11	94,03	9,22	7,86	0,77	22,51
12	83,37	8,18	2,69	0,26	24,35
13	74,50	7,31	4,56	0,45	25,50
14	93,35	9,15	5,09	0,50	20,79
15	66,07	6,48	6,69	0,66	21,72
16	80,81	7,92	2,90	0,28	24,24

Fuente: elaboración propia, con base en datos proporcionados por Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Se excluyó del análisis a la fábrica número cinco de la muestra, debido a que se determinó que no pertenece a la población en estudio. Se observó que esta fábrica se dedica a la comercialización de productos de barro cocido para organizaciones de restauración de edificios coloniales. Se excluyó esta fábrica debido a que no se puede comprobar que las materias primas y métodos de fabricación sean los mismos que emplean el resto de fábricas artesanales en el municipio; aún más, las dimensiones de las diversas unidades de mampostería que produce dicha fábrica son diferentes a las del resto de fábricas y no son comparables con ninguna de las dimensiones nominales de uso común que describe la especificación NGO 41 022. Sin embargo, se realizaron los ensayos debido a que ya se habían obtenido las muestras y la información puede ser de utilidad para comparar con el resto de fábricas, además de evaluar cómo incluir esta fábrica en la muestra, se afectan los parámetros estadísticos.

#### 4.2.2. Análisis de resultados

Se realiza una comparación de los diferentes productos que las fábricas comercializan. Para ello se hace un conteo de las fábricas que producen ladrillo, baldosa y teja, y se calcula el porcentaje respecto al total de la muestra.

Tabla VIII. **Comparación de fábricas por productos elaborados**

Producto	Conteo de fábricas	Porcentaje
Ladrillo	15	100,00 %
Baldosa	8	53,33 %
Teja	11	73,33 %

Fuente: elaboración propia, con base en encuestas realizadas en El Tejar, Chimaltenango.

Se analizaron también variables de interés socioeconómico, como los años de experiencia del responsable de la fábrica, la cantidad de personal empleado y el precio unitario por ladrillo. Para ello, se calculó el valor promedio de dichas variables, aproximando al entero más próximo para los años de experiencia y el personal empleado, estos valores se describen en la tabla VIII.

Tabla IX. **Promedio de variables de interés socioeconómico**

Variable	Promedio
Años de experiencia	42,00
Personal empleado	3,00
Precio unitario Q	Q 0,57

Fuente: elaboración propia, con base en encuestas realizadas en El Tejar, Chimaltenango.

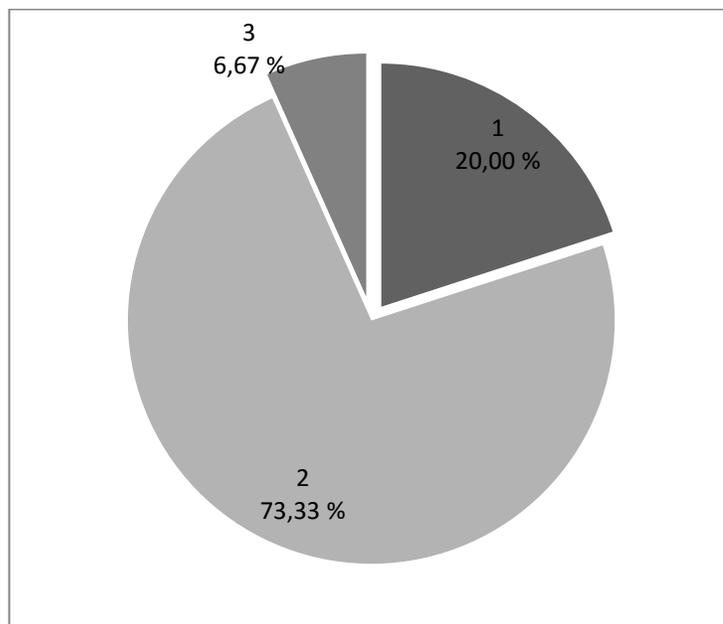
Se procede a contar la frecuencia de fábricas cuyo producto se encuentra en un grado estructural por su resistencia a la compresión, según la Norma NGO 41 022, y el porcentaje que representa con respecto a toda la muestra.

Tabla X. **Tabla de frecuencias para resistencia a compresión**

Grado (compresión)	Frecuencia	Porcentaje
1	3	20,00
2	11	73,33
3	1	6,67
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100,00</b>

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos en centro de Investigaciones de Ingeniería.

Figura 3. **Distribución de frecuencias para resistencia a compresión**



Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos en Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Se realiza el mismo procedimiento para las fábricas, según su clasificación por la absorción máxima de humedad, siguiendo la especificación NGO 41 022. Se observa que todas las muestras de la población en estudio se encuentran dentro de la clasificación tres por absorción de humedad.

Tabla XI. **Clasificación de muestras por absorción de humedad según norma NGO 41 022**

Grado (humedad)	Frecuencia	Porcentaje
1	0	0,00
2	0	0,00
3	15	100,00
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100,00</b>

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos en Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Asimismo, se debe analizar la incidencia que el empleo de proporciones para la dosificación en la mezcla de materias primas tiene en las propiedades mecánicas de los ladrillos. Para ello, se anotan los resultados de resistencia a compresión de los productos de las fábricas que emplean una proporción en la mezcla de materias primas, el promedio y su clasificación por su grado estructural. Se realiza el mismo procedimiento para las fábricas que no emplean una proporción. La distinción de fábricas que utilizan una proporción y las que no, se hace con base en las encuestas tabuladas en las tablas II y III.

Tabla XII. **Clasificación según grado y resistencia a compresión para las fábricas que sí utilizan proporción de mezcla**

Núm. fábrica	Grado	Resistencia a compresion	
		MPa	kg/cm <sup>2</sup>
3	2	8,14	83,01
4	2	6,64	67,73
8	2	6,62	67,55
11	1	9,22	94,03
12	2	8,18	83,37
13	2	7,31	74,50
<b>PROMEDIO</b>		<b>7,69</b>	<b>78,36</b>

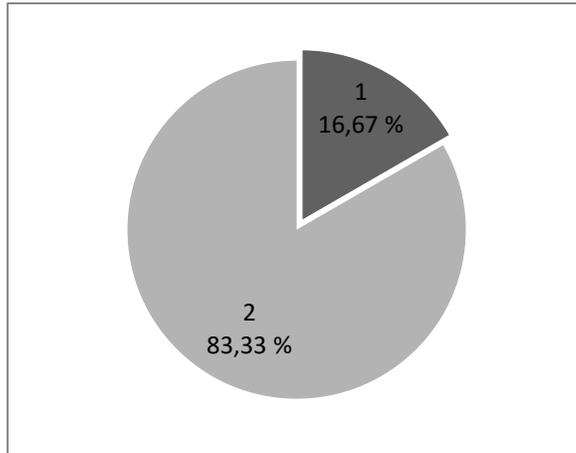
Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Tabla XIII. **Clasificación según grado y resistencia a compresión para las fábricas que no utilizan proporción de mezcla**

Núm. fábrica	Grado	Resistencia a compresión	
		MPa	kg/cm <sup>2</sup>
1	2	8,83	90,02
2	2	6,37	64,91
6	2	6,13	62,52
7	1	9,46	96,46
9	2	6,86	69,98
10	3	5,12	52,21
14	1	9,15	93,35
15	2	6,48	66,07
16	2	7,92	80,81
<b>PROMEDIO</b>		<b>7,37</b>	<b>75,15</b>

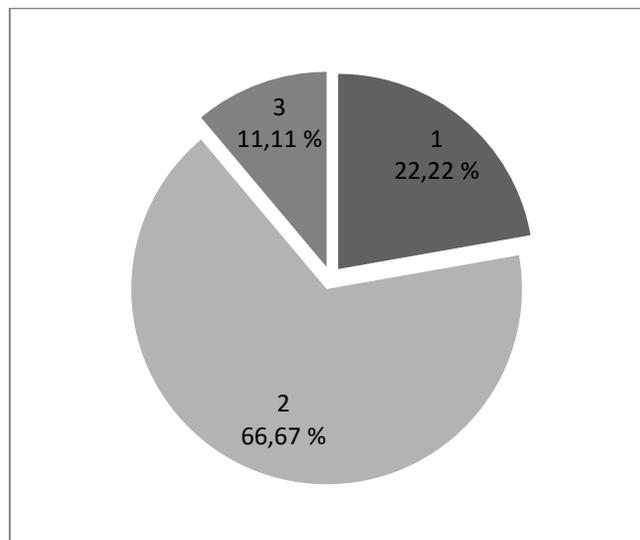
Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Figura 4. **Distribución según grado, para fábricas que sí utilizan proporción de mezcla**



Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Figura 5. **Distribución según grado, para fábricas que no utilizan proporción de mezcla**



Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Las fábricas que hacen uso de una proporción en la mezcla de materias primas muestran mejores resultados que las fábricas que no. Se observa que el promedio de resultados de ensayos a compresión es superior en las fábricas que emplean una proporción, al compararlo con las fábricas que no. La clasificación por resistencia a compresión de las fábricas que sí utilizan una proporción se encuentra entre los grados uno y dos, mientras que las otras fábricas presentan elementos en el grado tres, que significa una menor calidad con respecto a los otros dos grados.

Para analizar la variación que existe entre los ladrillos que se fabrican utilizando una proporción para la dosificación de materias primas y los que no, se anota la diferencia absoluta de los promedios de resistencia a compresión y su valor relativo respecto a la resistencia a compresión promedio más alta, que en este caso es la resistencia de los ladrillos que sí utilizan una proporción. Según la tabla XIII, se observa que los ladrillos que hacen uso de una proporción en la dosificación de materia prima presentan una resistencia a compresión 4,16 % mayor, en promedio.

Tabla XIV. **Variación de resistencia a compresión según el uso o no de proporciones en la fabricación de ladrillos**

Variable:	Resistencia a compresión promedio		Variación	
	Con proporción	Sin proporción	Absoluta	Relativa
Valor promedio:	7,69 MPa	7,37 MPa	0,32MPa	4,16 %

Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Aunque los ladrillos elaborados utilizando una proporción para la dosificación de materia prima presentan resultados superiores respecto a los

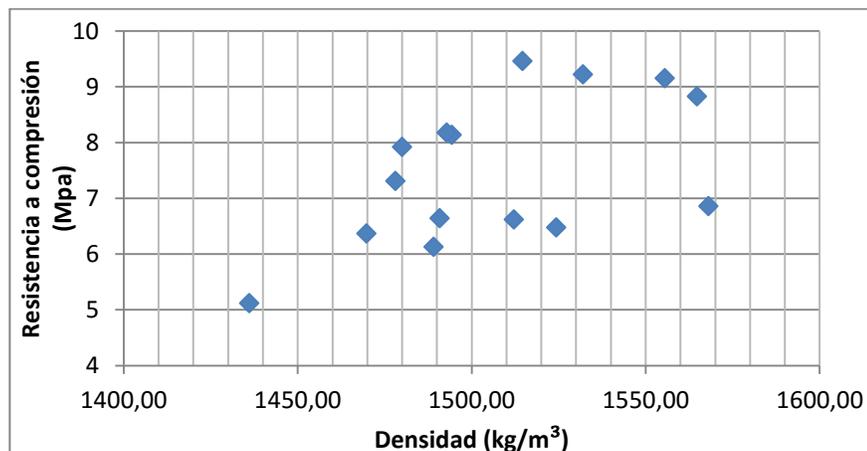
que no, se considera que esta diferencia no es significativa. En este sentido, se compara la densidad de los ladrillos y la resistencia a compresión, para analizar si existe una relación entre estas dos propiedades.

Tabla XV. **Densidad y resistencia a compresión de ladrillos**

Núm. fábrica	Masa (Kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia a compresión (MPa)
1	2,05	1,31E-03	1564,74	8,83
2	1,84	1,25E-03	1469,76	6,37
3	2,08	1,39E-03	1494,35	8,14
4	2,02	1,35E-03	1490,82	6,64
6	1,96	1,32E-03	1489,10	6,13
7	1,99	1,31E-03	1514,59	9,46
8	1,86	1,23E-03	1512,16	6,62
9	1,94	1,24E-03	1568,08	6,86
10	1,98	1,38E-03	1436,10	5,12
11	1,91	1,25E-03	1531,99	9,22
12	1,93	1,29E-03	1492,81	8,18
13	2	1,35E-03	1478,08	7,31
14	2,02	1,30E-03	1555,56	9,15
15	1,98	1,30E-03	1524,38	6,48
16	1,98	1,34E-03	1480,04	7,92

Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Figura 6. **Resistencia a compresión como función de la densidad**



Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

En la figura 6 se observa la gran variabilidad y la ausencia de una tendencia definida entre la densidad y la resistencia a compresión de los ladrillos. Por lo tanto, no se puede establecer una relación entre ambas propiedades. Posiblemente este comportamiento se debe a la multitud de factores que afectan, la calidad del barro y del ladrillo, independientemente de su densidad. Por ejemplo, una mala graduación y tamizaje del barro permiten la presencia partículas de tamaño muy grande, o bien, una mala selección de materias primas podría ocasionar la presencia de basura o materia orgánica en el barro al momento de la mezcla.

Para tener una idea clara de la distribución de la muestra y la variabilidad de los datos entre las fábricas, es necesario hacer un análisis cuantitativo. Por lo tanto, se construyen distribuciones de frecuencias agrupadas, las cuales son representadas en un histograma. También se determinaron la media aritmética muestral, la mediana y la desviación estándar de la muestra; para las que se utilizaron las fórmulas descritas a continuación.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Donde

$\bar{x}$  : media aritmética muestral

$\sum x_i$ : sumatoria de todos los valores de la muestra

n: tamaño de la muestra o número de valores

Para la determinación de la mediana, se utiliza la profundidad de la mediana para la ubicación del valor que se encuentra justo a la mitad de la muestra, estando todos los valores ordenados por su magnitud. Si el tamaño muestral es un número impar, la mediana es simplemente el valor que se encuentra en la posición que indica la profundidad de la mediana. Si el tamaño

muestral es un número par, la profundidad será un número no entero justo a la mitad de dos valores, por lo que la mediana será el promedio de los valores que se encuentran antes y después de la profundidad de mediana, la fórmula se detalla a continuación.

$$d(\tilde{x}) = \frac{n + 1}{2}$$

Donde

$d(\tilde{x})$ : profundidad de la mediana

$\tilde{x}$ : mediana de la muestra

$n$ : tamaño muestral

Para la determinación de la desviación estándar se utilizó la siguiente fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde

$s$ : desviación estándar muestral

$\Sigma(x - \bar{x})^2$ : sumatoria de desviaciones de la media

$n$ : tamaño muestral

Se hará la inferencia que la media aritmética muestral es una estimación puntual de la media de la población, por lo que se debe estimar el error que esta estimación podría presentar. Para ello, se hará uso del error estándar estimado de la muestra, para determinar el tamaño del intervalo donde podría

variar la media poblacional de la media aritmética muestral. El error estándar estimado se describe en la fórmula siguiente:

$$SE = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Donde

*SE*: error estándar de la muestra

*S*: desviación estándar

*n*: tamaño muestral

Se hace uso también del coeficiente de variación, que se define como el cociente de la desviación estándar entre la media aritmética. Con base en las fórmulas anteriormente descritas, se calculan los parámetros estadísticos para los resultados de resistencia a compresión. Primero se calculan dichos parámetros para todos los elementos analizados, incluyendo los datos de la fábrica que produce ladrillos para la restauración de edificaciones coloniales, y se presentan en la tabla XI.

Tabla XVI. **Parámetros estadísticos: resistencia a compresión**

Media	<b>8,23</b>
Mediana	<b>7,61</b>
Desv. estándar	<b>3,21</b>
Coef. variación	<b>0,39</b>

Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Seguidamente, se construye la distribución de frecuencias para los resultados de resistencia a compresión, se observa en la tabla XII.

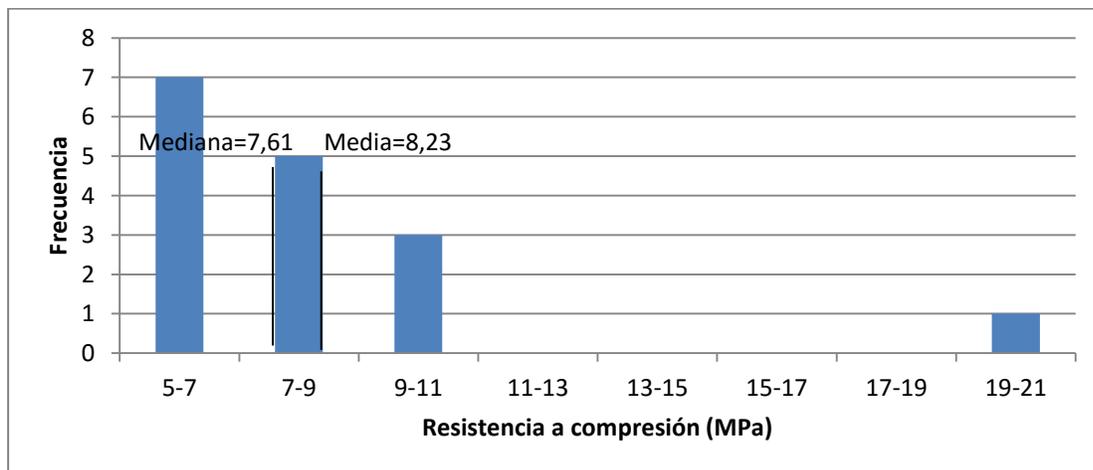
Tabla XVII. **Distribución de frecuencias: resistencia a compresión**

Resistencia a compresion (Mpa)	Frecuencia
5-7	7
7-9	5
9-11	3
11-13	0
13-15	0
15-17	0
17-19	0
19-21	1

Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Con base en los datos de la tabla XII, se procede a construir el histograma de frecuencias agrupadas, sobre el cual también se posicionan las medidas de tendencia central que se determinaron para la muestra en estudio.

Figura 7. **Histograma de frecuencias agrupadas: resistencia a compresión**



Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

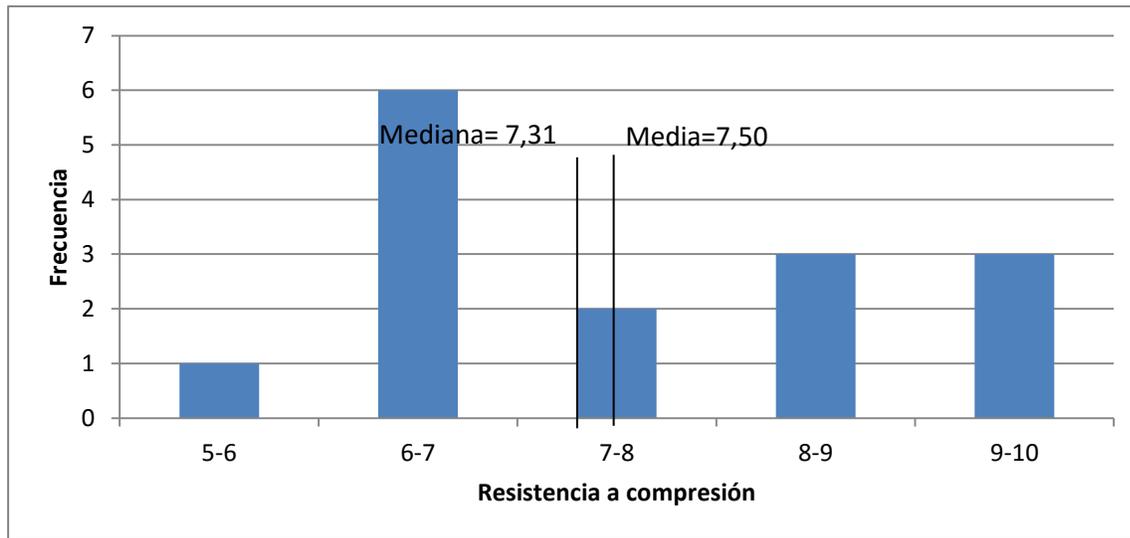
En el histograma se observa que la muestra tiene un sesgo hacia la derecha, agrupando la mayoría de las fábricas en los valores entre los 5 y los 11 Mpa y dejando un único valor en el rango de 19 a 21 Mpa. Al observar este valor aislado se determina que pertenece a la fábrica que se dedica a la comercialización de productos de barro cocido a organizaciones de restauración de edificios coloniales. Por lo tanto, es preferible realizar un análisis de la muestra excluyendo los resultados obtenidos de la fábrica en cuestión, ya que así se obtienen resultados más representativos de la población. Los parámetros estadísticos de los resultados de resistencia a compresión, al excluir el elemento que no pertenece a la población, se describen en la tabla XII. Seguidamente, se presenta el histograma de frecuencias agrupadas sobre el cual se colocaron las medidas de tendencia central correspondientes.

Tabla XVIII. **Parámetros estadísticos: resistencia a compresión (corregido)**

Media	7,50 MPa
Mediana	7,31 MPa
Desv. estándar	1,31 MPa
Coef. variación	0,17
Error estándar	$\pm 0,34$ MPa

Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Figura 8. **Histograma de frecuencias agrupadas: resistencia a compresión (corrección)**



Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Al observar el histograma de los resultados de resistencia a compresión, corregido la distribución tiene una forma más normal y menos dispersa, al comparar con el gráfico anterior que incluía un valor aislado que no pertenece a la población en estudio. Asimismo, los parámetros estadísticos han cambiado, ya que no se ven afectados por un valor extremo. Por lo tanto, se justifica la necesidad de excluir el valor que en un inicio no se consideró parte de la población. Además, ahora se pueden obtener conclusiones con base en la muestra seleccionada, ya que tiende a tener un comportamiento normal.

También se calculan los parámetros estadísticos para los resultados de absorción de humedad. Primero se calculan dichos parámetros para todos los elementos analizados, incluyendo los datos de la fábrica que produce ladrillos para la restauración de edificaciones coloniales, y se describen en la tabla XI.

La distribución de frecuencias agrupadas para estos parámetros se describe en la tabla XV.

Tabla XIX. **Parámetros estadísticos: absorción de humedad**

Media	<b>22,58</b>
Mediana	<b>23,35</b>
Desv. estándar	<b>6,39</b>
Coef. variación	<b>0,28</b>

Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

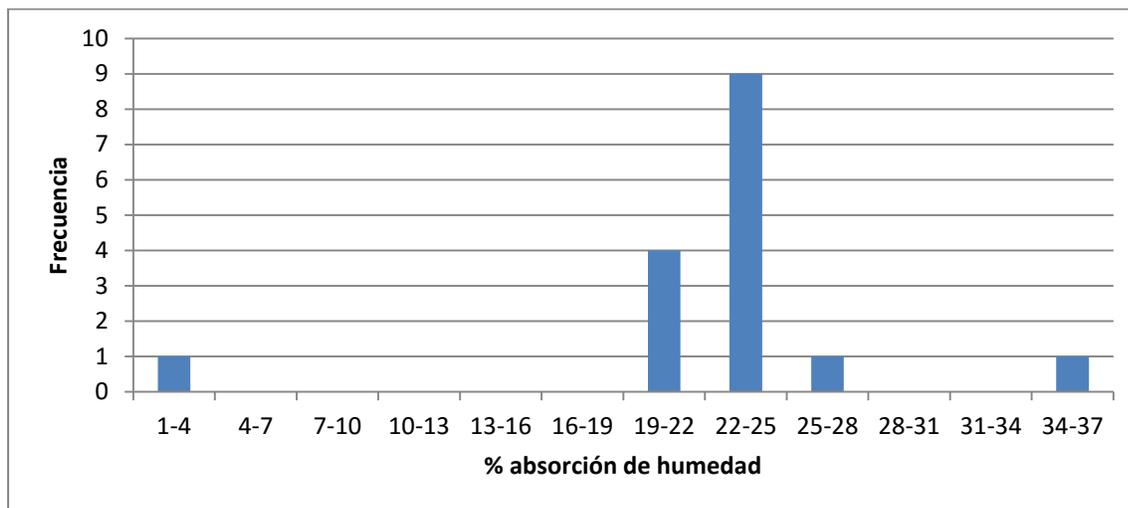
Tabla XX. **Distribución de frecuencias: absorción de humedad**

Absorción máxima (%)	Frecuencia
1-4	1
4-7	0
7-10	0
10-13	0
13-16	0
16-19	0
19-22	4
22-25	9
25-28	1
28-31	0
31-34	0
34-37	1

Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Con base en la distribución de frecuencias se elabora el siguiente histograma.

Figura 9. **Histograma de frecuencias agrupadas: absorción de humedad**



Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Se observa que la distribución de la muestra se encuentra bastante dispersa, pero parece tener una distribución normal en torno a un valor central. Uno de los valores extremos, que se encuentra en el intervalo 1-4, corresponde a la misma ladrillera que presentó un valor aislado en los resultados de resistencia a compresión. Como se había discutido anteriormente, dicha fábrica no forma parte de la población en estudio, por lo que no debe ser tomada en cuenta para su análisis.

Por otra parte, existe otro valor aislado que presenta un alto porcentaje de absorción (36,41 %), suponiendo que la población tiene una distribución normal, al aplicar la regla empírica se observa que dicho valor queda fuera del rango de

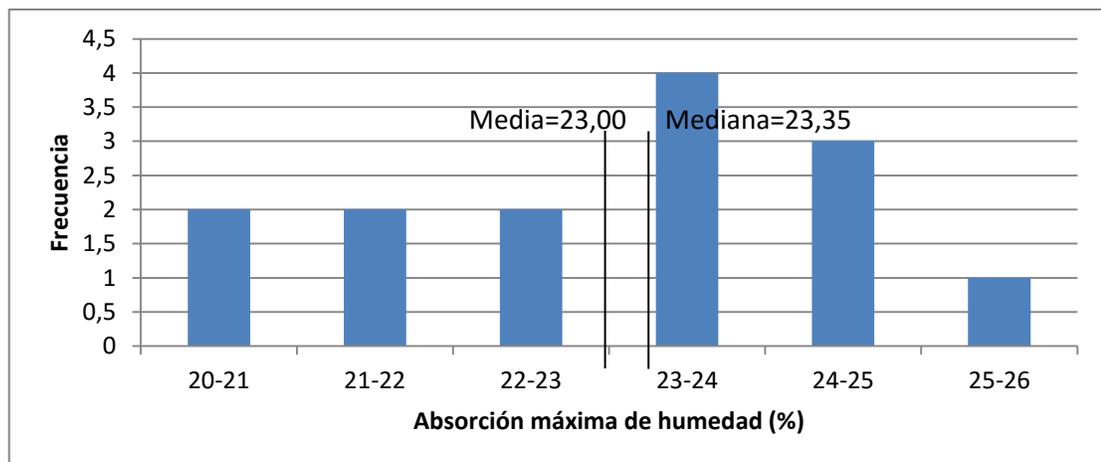
dos desviaciones estándar desde la media (35,36 %) donde se supone que queda comprendido el 95 % de la muestra. Debido a que la muestra se compone solo de dieciséis elementos, el valor aislado representa más del 5 % restante. Por lo tanto, se asume que el valor en cuestión representa una muestra defectuosa, razón por la cual es justificable excluir dicho valor del análisis para no incurrir en un error.

Tabla XXI. **Parámetros estadísticos: absorción de humedad (corregido)**

Media	23,00
Mediana	23,35
Desv. estándar	1,51
Coef. variación	0,06
Error estándar	$\pm 0,40$

Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Figura 10. **Histograma de frecuencias agrupadas: absorción de humedad (corregido)**



Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

De la misma manera que con los resultados de ensayos a compresión, la distribución de frecuencias para los resultados de absorción de humedad ahora presenta una forma más normal y menos dispersa, comparando con la distribución que incluía resultados que no pertenecen a la población en estudio.

Ya que se han obtenido los parámetros estadísticos representativos de la población en estudio, se pueden comparar los resultados con los requerimientos de las especificaciones técnicas de la Norma NGO 41 022, establecer el grado en que los clasifica dicha especificación y el uso para el que están permitidos.

Tabla XXII. **Clasificación de ladrillos por su grado estructural**

Propiedad	Valor	Grado	Uso
Resistencia a compresión (Mpa)	7,5	2	Paredes con carga moderada expuesta en una cara
Abosrción de humedad (%)	23	3	Paredes con carga baja expuesta en una cara

Fuente: elaboración propia, con base en resultados del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

### **4.3. Ensayos en baldosas**

Si el ensayo se realiza, la distancia entre los rodillos y el borde de la baldosa será de 25 mm, pero si el espacio libre es menor que tres veces el espesor, la distancia entre los rodillos y el borde de la baldosa se reducirá a la mitad del espesor de la baldosa.

#### **4.3.1. Resultados de los ensayos**

Cuando se realizó la planificación de esta investigación, se contempló analizar las propiedades mecánicas y físicas de ladrillos y baldosas de barro cocido. Sin embargo, al realizar la investigación de campo se observó que no hay consistencia entre las dimensiones nominales que emplean las diferentes fábricas para las baldosas, ya que existe una gran variedad de formas y dimensiones de baldosas. También se observó que existen algunas fábricas que no producen baldosas sino ladrillos y teja solamente. Por estos motivos se decidió no implementar un estudio de laboratorio para baldosas.

#### **4.3.2. Análisis de resultados**

No se pudo realizar un análisis de resultados para ensayos realizados en baldosas, ya que estos no se llevaron a cabo.



## **5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **5.1. Volumen de producción de mampostería de barro cocido en El Tejar**

Con base en los datos presentados en la tabla IV, se determinó que la producción diaria promedio de las fábricas del municipio es de 472 unidades diarias en época seca y 422 unidades en época lluviosa, por fábrica. Se observa que estos resultados no tienen una variación significativa, por lo tanto, la producción de ladrillos por fábrica se mantiene, independientemente del clima.

### **5.2. Situación de los mampuestos de barro cocido producidos en El Tejar respecto a especificaciones técnicas**

Con base en los datos de la tabla XVII, se observa que, según los resultados de resistencia a compresión, la muestra cumple con los requisitos mínimos para estar clasificada en el grado 2. Sin embargo, los resultados de absorción máxima de humedad solamente cumplen para clasificarse en el grado 3. Por lo tanto, los ladrillos artesanales pueden ser utilizados en paredes de carga baja expuesta en una cara. No obstante, se debe mencionar que la calidad estructural puede ser mejorada y el material se podría utilizar para paredes con carga moderada expuesta en una cara, si las propiedades de absorción de humedad de los ladrillos se mejoran para cumplir con este requisito.

### **5.3. Propuestas y mejoras para resultados óptimos**

Se observó que las propiedades mecánicas de los ladrillos que fueron elaborados con una proporción de mezcla para las materias primas que los constituyen son superiores a los ladrillos elaborados sin una proporción de mezcla. Por lo tanto, se recomienda hacer estudios para determinar qué proporción le da mejores propiedades a los ladrillos e implementarla.

También se observó que la mayoría de muestras presentan demasiada absorción de humedad, siendo esta propiedad la que más perjudica la clasificación o grado estructural de los ladrillos. Por lo tanto, se recomienda investigar de qué manera se puede mejorar esta propiedad, utilizando los métodos de producción y materias primas existentes.

## CONCLUSIONES

1. Para hacer el análisis de los resultados experimentales y compararlas con las especificaciones técnicas, se utilizaron parámetros estadísticos relacionados con medidas de tendencia central y medidas de dispersión.
2. La producción diaria promedio de ladrillos no presenta una variación significativa con los cambios de clima. La producción diaria promedio de las fábricas del municipio es de 472 unidades en época seca y 422 unidades en época lluviosa.
3. La proporción en que se mezclan las materias primas para la producción de ladrillos es variable entre las fábricas, y no todas las fábricas hacen uso de una proporción constante.
4. Los ladrillos analizados se clasifican en el grado 3 según la norma Coguanor NGO 41 022, y pueden ser utilizados en muros de carga baja, expuestos en una cara.
5. Se puede inferir que, con relación al módulo de ruptura, la variación de los resultados obtenidos con respecto a los valores que establece la norma puede estar influenciada por las dimensiones de los ladrillos analizados. Por lo tanto, los resultados del estudio experimental no pueden compararse con los valores que establece la norma, porque se desconocen las dimensiones con las cuales estos parámetros han sido definidos.

6. Con base en los resultados de resistencia a compresión solamente, los ladrillos pueden clasificarse en el grado 2, teniendo un uso recomendado para muros de carga media, expuestos en una cara.
7. La gran variabilidad y la ausencia de una tendencia definida en la relación de la densidad con la resistencia a compresión, se debe posiblemente a factores que afectan la calidad de la materia prima, como un mal tamizaje o la contaminación del barro con otros elementos.
8. Con base en los resultados de absorción máxima de humedad, los ladrillos pueden clasificarse en el grado 3, teniendo un uso recomendado para muros de carga baja expuestos en una cara.
9. No se obtuvieron resultados de características físicas y propiedades mecánicas para baldosas de barro cocido, debido a que no hay homogeneidad en los procesos de fabricación con relación a las dimensiones y algunas fábricas solo se enfocan en producir ladrillos y teja.

## RECOMENDACIONES

1. Hacer uso de procesos de caracterización de las materias primas que se utilizarán para la fabricación de ladrillos, con el fin de obtener una producción más efectiva y mejores resultados.
2. Hacer estudios para determinar qué dosificación de materias primas le da mejores propiedades a los ladrillos.
3. Investigar de qué manera se puede disminuir la absorción de humedad de los ladrillos, utilizando los métodos de producción y materias primas existentes.
4. Investigar valores estándar del módulo de ruptura para los ladrillos de dimensiones nominales que se utilizan en el medio local, con el fin de tener un parámetro de comparación para esta propiedad y que en un futuro se puedan añadir a especificaciones técnicas.
5. Investigar la existencia de una relación de la densidad con la resistencia a compresión de los ladrillos de barro cocido, utilizando una muestra homogénea que haga uso de control de calidad en su producción.
6. Procurar la estandarización de dimensiones nominales de baldosas entre los fabricantes de productos de barro cocido.

7. Organizar a los fabricantes de productos de barro cocido, a manera de buscar mejoras en la capacidad técnica y calidad de los productos, mediante capacitaciones, investigaciones y actividades similares.

## BIBLIOGRAFÍA

1. American Face brick Association. *The story of brick*. Chicago: AFBA, 1922. 55 p.
2. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural de edificios y obras de infraestructura para la República de Guatemala*. Guatemala: Agies, 2010. 75 p.
3. ASTM. Standard Specification for Pedestrian and Light Traffic paving brick. ASTM C 902-04. ASTM, 2004. 4 p.
4. Coguanor. *NGO 41 022. Ladrillos de barro cocido. Especificaciones*. Guatemala, Coguanor 1982. 7 p.
5. JOHNSON, Robert; KUBY, Patricia. *Estadística elemental*. México: Cengage Learning, 2012. 832 p.
6. MINKE, Gernot. *Manual de construcción en tierra*. Montevideo: Nordan-Comunidad, 2001. 222 p. ISBN: 9974-42-078-4
7. Municipalidad de El Tejar. *Historia de El Tejar*. [en línea]. <<http://www.municipalidadeltejar.org/el-tejar/historia/>>. [Consulta: febrero de 2015].

8. The Brick Industry Association. *Technical notes 3 - Overview of building code requirements for masonry structure*. Virginia: BIA, 2002. 212 p.

# ANEXOS

## Anexo 1. Resultados de ensayos de laboratorio

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA			
O.T. No.34718				
INFORME No.252-M				
INTERESADO: RUDY FERNANDO ROJAS FUENTES, CARNE No. 201114653				
PROYECTO: TESIS "INVESTIGACION DE LOS PARAMETROS DE CALIDAD Y ESPCIFICACIONES PARA LADRILLOS MACIZOS Y BALDOSAS DE BARRO COCIDO, ELABORADOS EN EL TEJAR, CHIMALTENANGO, GUATEMALA".				
FECHA: GUATEMALA, 08 DE JUNIO DE 2015.				
<b>Antecedentes</b>				
El estudiante <b>RUDY FERNANDO ROJAS FUENTES</b> de la carrera de Ingeniería Civil solicito a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara, ensayo de flexión y compresión a 32 ladrillos de barro cocido. Los ensayos en cuestión son parte del trabajo de tesis, <b>TESIS "INVESTIGACION DE LOS PARAMETROS DE CALIDAD Y ESPCIFICACIONES PARA LADRILLOS MACIZOS Y BALDOSAS DE BARRO COCIDO, ELABORADOS EN EL TEJAR, CHIMALTENANGO, GUATEMALA"</b> .				
<b>Resultados</b>				
<b>ENSAYOS A COMPRESION</b>				
Identification	1A	JOSE LUIS SANTIAGO MORALES		
MEDIDAS	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.	ESPESOR DE PARED
PROMEDIO	23.07	11.07	5.13	****
MAXIMA	23.3	11.2	5.3	***
MINIMA	22.9	10.9	5	***
DESVIACION				
(+)	0.23	0.13	0.17	***
(-)	0.17	0.17	0.13	***
PERMISIBLE	0.5	0.5	0.5	***
	PESO (kg)	% ABS.	RESISTENCIA A COMPRESION	
VALORES	NATURAL	MAXIMA	kg/cm2	
REALES	2.05	20.49	90.02	
PERMISIBLES	**	25	84	



Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII  
Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2  
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA			
O.T. No.34718				
INFORME No.252-M				
Identification	2A	JF SOCOY	GERVACIO DE	LA CRUZ
MEDIDAS	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.	ESPESOR DE PARED
PROMEDIO	22.80	10.83	5.07	****
MAXIMA	22.8	10.9	5.1	***
MINIMA	22.8	10.8	5	***
DESVIACION				
(+)	0.00	0.07	0.03	***
(-)	0.00	0.03	0.07	***
PERMISIBLE	0.5	0.5	0.5	***
	PESO (kg)	% ABS.	RESISTENCIA A COMPRESION	
VALORES	NATURAL	MAXIMA	kg/cm2	
REALES	1.84	24.46	64.91	
PERMISIBLES	**	25	84	
Identification	3A	NATANAEL	ENRIQUE	SEQUEN
MEDIDAS	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.	ESPESOR DE PARED
PROMEDIO	23.07	11.03	5.47	****
MAXIMA	23.1	11.2	5.6	***
MINIMA	23	10.9	5.4	***
DESVIACION				
(+)	0.03	0.17	0.13	***
(-)	0.07	0.13	0.07	***
PERMISIBLE	0.5	0.5	0.5	***
	PESO (kg)	% ABS.	RESISTENCIA A COMPRESION	
VALORES	NATURAL	MAXIMA	kg/cm2	
REALES	2.08	36.41	83.01	
PERMISIBLES	**	25	84	
Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2 Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595				



Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA			
INFORME No.252-M		O.T. No.34718		
Identificación	4A	CESAR TUBAC		
MEDIDAS	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.	ESPESOR DE PARED
PROMEDIO	23.23	11.37	5.13	****
MAXIMA	23.4	11.5	5.4	***
MINIMA	23.1	11.2	5	***
DESVIACION				
(+)	0.17	0.13	0.27	***
(-)	0.13	0.17	0.13	***
PERMISIBLE	0.5	0.5	0.5	***
	PESO (kg)	% ABS.	RESISTENCIA A COMPRESION	
VALORES	NATURAL	MAXIMA	kg/cm2	
REALES	2.02	23.76	67.73	
PERMISIBLES	**	25	84	
Identificación	5A	FABRICA SAN ANTONIO FRANCISCO MAICA		
MEDIDAS	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.	ESPESOR DE PARED
PROMEDIO	29.73	15.03	4.27	****
MAXIMA	29.9	15.1	4.4	***
MINIMA	29.6	15	4	***
DESVIACION				
(+)	0.17	0.07	0.13	***
(-)	0.13	0.03	0.27	***
PERMISIBLE	0.5	0.5	0.5	***
	PESO (kg)	% ABS.	RESISTENCIA A COMPRESION	
VALORES	NATURAL	MAXIMA	kg/cm2	
REALES	2.78	2.88	196.91	
PERMISIBLES	**	25	84	
Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2 Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595				



Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA			
INFORME No.252-M		O.T. No.34718		
Identificación	6A	LADRILLERA SEQUEN ESTEBAN SEQUEN		
MEDIDAS	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.	ESPESOR DE PARED
PROMEDIO	22.97	11.17	5.13	****
MAXIMA	23.1	11.2	5.3	***
MINIMA	22.9	11.1	5	***
DESVIACION				
(+)	0.13	0.03	0.17	***
(-)	0.07	0.07	0.13	***
PERMISIBLE	0.5	0.5	0.5	***
PESO (kg)	% ABS.	RESISTENCIA A COMPRESION		
VALORES	NATURAL	MAXIMA	kg/cm2	
REALES	1.96	23.47	62.52	
PERMISIBLES	**	25	84	
Identificación	7A	JOSE SIRIACO		
MEDIDAS	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.	ESPESOR DE PARED
PROMEDIO	22.97	11.00	5.20	****
MAXIMA	23	11.1	5.5	***
MINIMA	22.9	10.9	5	***
DESVIACION				
(+)	0.03	0.10	0.30	***
(-)	0.07	0.10	0.20	***
PERMISIBLE	0.5	0.5	0.5	***
PESO (kg)	% ABS.	RESISTENCIA A COMPRESION		
VALORES	NATURAL	MAXIMA	kg/cm2	
REALES	1.99	21.11	96.46	
PERMISIBLES	**	25	84	

Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII  
 Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2  
 Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595



Continuación del anexo 1.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O.T. No.34718

INFORME No.252-M

Identificación	8A	LA FE	RICARDO SANCHEZ
----------------	----	-------	--------------------

MEDIDAS	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.	ESPELOR DE PARED
PROMEDIO	23.03	10.90	4.97	****
MAXIMA	23.1	10.9	5	***
MINIMA	23	10.9	4.9	***
DESVIACION				
(+)	0.07	0.00	0.03	***
(-)	0.03	0.00	0.07	***
PERMISIBLE	0.5	0.5	0.5	***

	PESO (kg)	% ABS.	RESISTENCIA A COMPRESION
VALORES	NATURAL	MAXIMA	kg/cm2
REALES	1.86	23.66	67.55
PERMISIBLES	**	25	84

Identificación	9A	JOSE FARELO
----------------	----	-------------

MEDIDAS	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.	ESPELOR DE PARED
PROMEDIO	22.63	11.00	4.97	****
MAXIMA	22.8	11.1	5	***
MINIMA	22.4	10.9	4.9	***
DESVIACION				
(+)	0.17	0.10	0.03	***
(-)	0.23	0.10	0.07	***
PERMISIBLE	0.5	0.5	0.5	***

	PESO (kg)	% ABS.	RESISTENCIA A COMPRESION
VALORES	NATURAL	MAXIMA	kg/cm2
REALES	1.94	22.68	69.98
PERMISIBLES	**	25	84

Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII  
Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2  
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595



Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA			
INFORME No.252-M				O.T. No.34718
Identificación	10A	SAN MIGUEL	LUIS TORRES	
MEDIDAS	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.	ESPELOR DE PARED
PROMEDIO	22.47	11.30	5.43	****
MAXIMA	22.5	11.4	5.5	***
MINIMA	22.4	11.2	5.4	***
DESVIACION				
(+)	0.03	0.10	0.07	***
(-)	0.07	0.10	0.03	***
PERMISIBLE	0.5	0.5	0.5	***
	PESO (kg)	% ABS.	RESISTENCIA A COMPRESION	
VALORES	NATURAL	MAXIMA	kg/cm2	
REALES	1.98	23.23	52.21	
PERMISIBLES	**	25	84	
Identificación	11A	VISTA VALLE	GUILLERMO TERET	
MEDIDAS	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.	ESPELOR DE PARED
PROMEDIO	22.73	10.97	5.00	****
MAXIMA	22.8	11	5.1	***
MINIMA	22.7	10.9	4.9	***
DESVIACION				
(+)	0.07	0.03	0.10	***
(-)	0.03	0.07	0.10	***
PERMISIBLE	0.5	0.5	0.5	***
	PESO (kg)	% ABS.	RESISTENCIA A COMPRESION	
VALORES	NATURAL	MAXIMA	kg/cm2	
REALES	1.91	22.51	94.03	
PERMISIBLES	**	25	84	

Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII  
 Ciudad Universitaria, Zona 12, Edificio T5, Nivel 2  
 Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Continuación del anexo 1.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O.T. No.34718

INFORME No.252-M

Identificación	12A	LADRILLERA	MORAZAN	FRANCISCO TERET
----------------	-----	------------	---------	-----------------

MEDIDAS	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.	ESPESOR DE PARED
PROMEDIO	22.90	11.07	5.10	****
MAXIMA	23	11.1	5.2	***
MINIMA	22.8	11	5	***
DESVIACION				
(+)	0.10	0.03	0.10	***
(-)	0.10	0.07	0.10	***
PERMISIBLE	0.5	0.5	0.5	***

	PESO (kg)	% ABS.	RESISTENCIA A COMPRESION
VALORES	NATURAL	MAXIMA	kg/cm2
REALES	1.93	24.35	83.37
PERMISIBLES	**	25	84

Identificación	13A	TIERRI	JUAN COLOP
----------------	-----	--------	------------

MEDIDAS	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.	ESPESOR DE PARED
PROMEDIO	23.10	11.20	5.23	****
MAXIMA	23.2	11.3	5.3	***
MINIMA	23	11.1	5.2	***
DESVIACION				
(+)	0.10	0.10	0.07	***
(-)	0.10	0.10	0.03	***
PERMISIBLE	0.5	0.5	0.5	***

	PESO (kg)	% ABS.	RESISTENCIA A COMPRESION
VALORES	NATURAL	MAXIMA	kg/cm2
REALES	2	25.50	74.50
PERMISIBLES	**	25	84



Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII  
Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2  
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA			
INFORME No.252-M		O.T. No.34718		
Identificación	14A	NUEVA LID      OSCAR LUNA		
MEDIDAS	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.	ESPESOR DE PARED
PROMEDIO	22.93	11.17	5.07	****
MAXIMA	23.1	11.2	5.1	***
MINIMA	22.8	11.1	5	***
DESVIACION				
(+)	0.17	0.03	0.03	***
(-)	0.13	0.07	0.07	***
PERMISIBLE	0.5	0.5	0.5	***
	PESO (kg)	% ABS.	RESISTENCIA A COMPRESION	
VALORES	NATURAL	MAXIMA	kg/cm2	
REALES	2.02	20.79	93.35	
PERMISIBLES	**	25	84	
Identificación	15A	MARGARITO PATZAN		
MEDIDAS	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.	ESPESOR DE PARED
PROMEDIO	22.77	10.97	5.20	****
MAXIMA	22.8	11	5.3	***
MINIMA	22.7	10.9	5.1	***
DESVIACION				
(+)	0.03	0.03	0.10	***
(-)	0.07	0.07	0.10	***
PERMISIBLE	0.5	0.5	0.5	***
	PESO (kg)	% ABS.	RESISTENCIA A COMPRESION	
VALORES	NATURAL	MAXIMA	kg/cm2	
REALES	1.98	21.72	66.07	
PERMISIBLES	**	25	84	



Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII  
 Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2  
 Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Continuación del anexo 1.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



---

O.T. No.34718

INFORME No.252-M

Identificación	16A	NICOLAS	BOROR	
----------------	-----	---------	-------	--

MEDIDAS	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.	ESPESOR DE PARED
PROMEDIO	22.90	11.17	5.23	****
MAXIMA	23	11.2	5.3	***
MINIMA	22.8	11.1	5.2	***
DESVIACION				
(+)	0.10	0.03	0.07	***
(-)	0.10	0.07	0.03	***
PERMISIBLE	0.5	0.5	0.5	***

	PESO (kg)	% ABS.	RESISTENCIA A COMPRESION
VALORES	NATURAL	MAXIMA	kg/cm2
REALES	1.98	24.24	80.81
PERMISIBLES	**	25	84

**ENSAYOS A FLEXION**

Identificación	1B	JOSE LUIS	SANTIAGO	MORALES			
LARGO	GROSOR	BASE	PESO NAT	LUZ	CARGA	%ABS	MODULO RUP
cm	cm	cm	kg	cm	kg		kg/cm2
23.17	5.00	11.33	2.05	22.50	52.16	20.49	6.21

Identificación	2B	JF SOCOY	GERVACIO	DE LA CRUZ			
LARGO	GROSOR	BASE	PESO NAT	LUZ	CARGA	%ABS	MODULO RUP
cm	cm	cm	kg	cm	kg		kg/cm2
22.77	5.07	11.00	1.84	22.50	43.49	24.46	5.20

Identificación	3B	NATANAEL	ENRIQUE	SEQUEN			
LARGO	GROSOR	BASE	PESO NAT	LUZ	CARGA	%ABS	MODULO RUP
cm	cm	cm	kg	cm	kg		kg/cm2
23.03	5.00	11.03	2.08	22.50	74.84	34.41	9.16

Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII  
Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2  
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595



Continuación del anexo 1.

		CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA								
INFORME No.252-M								O.T. No.34718		
Identificación	4B	CESAR TUBAC								
LARGO	GROSOR	BASE	PESO NAT	LUZ	CARGA	%ABS	MODULO RUP			
cm	cm	cm	kg	cm	kg		kg/cm2			
23.30	5.17	11.30	2.02	22.50	24.95	23.76	2.79			
Identificación	5B	FABRICA	SAN ANTONIO	FRANCISCO	MAICA					
LARGO	GROSOR	BASE	PESO NAT	LUZ	CARGA	%ABS	MODULO RUP			
cm	cm	cm	kg	cm	kg		kg/cm2			
29.70	4.27	15.03	2.78	22.50	38.56	2.88	4.75			
Identificación	6B	LADRILLERA	SEQUEN	ESTEBAN	SEQUEN					
LARGO	GROSOR	BASE	PESO NAT	LUZ	CARGA	%ABS	MODULO RUP			
cm	cm	cm	kg	cm	kg		kg/cm2			
22.90	5.20	11.07	1.96	22.50	22.68	23.47	2.56			
Identificación	7B	JOSE	SIRIACO							
LARGO	GROSOR	BASE	PESO NAT	LUZ	CARGA	%ABS	MODULO RUP			
cm	cm	cm	kg	cm	kg		kg/cm2			
23.13	5.10	10.93	1.99	22.50	95.26	21.11	11.31			
Identificación	8B	LA FE	RICARDO	SANCHEZ						
LARGO	GROSOR	BASE	PESO NAT	LUZ	CARGA	%ABS	MODULO RUP			
cm	cm	cm	kg	cm	kg		kg/cm2			
23.03	4.83	11.10	1.86	22.50	20.41	23.66	2.66			
										
Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2 Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595										

Continuación del anexo 1.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA						
INFORME No.252-M		O.T. No.34718					
Identificación	9B	JOSE	FARELO				
LARGO	GROSOR	BASE	PESO NAT	LUZ	CARGA	%ABS	MODULO RUP
cm	cm	cm	kg	cm	kg		kg/cm2
15.73	5.00	10.83	1.94	22.50	49.90	22.68	6.22
Identificación	10B	SAN MIGUEL	LUIS TORRES				
LARGO	GROSOR	BASE	PESO NAT	LUZ	CARGA	%ABS	MODULO RUP
cm	cm	cm	kg	cm	kg		kg/cm2
22.87	5.13	11.07	1.98	22.50	34.93	23.23	4.04
Identificación	11B	VISTA VALLE	GUILLERMO TERET				
LARGO	GROSOR	BASE	PESO NAT	LUZ	CARGA	%ABS	MODULO RUP
cm	cm	cm	kg	cm	kg		kg/cm2
22.87	5.07	11.00	1.91	22.50	65.77	22.51	7.86
Identificación	12B	LADRILLERA	MORAZAN FRANCISCO	TERET			
LARGO	GROSOR	BASE	PESO NAT	LUZ	CARGA	%ABS	MODULO RUP
cm	cm	cm	kg	cm	kg		kg/cm2
22.90	5.07	11.07	1.93	22.50	22.68	24.35	2.69
Identificación	13B	TIERRI	JUAN COLOP				
LARGO	GROSOR	BASE	PESO NAT	LUZ	CARGA	%ABS	MODULO RUP
cm	cm	cm	kg	cm	kg		kg/cm2
23.10	5.20	11.17	2.00	22.50	40.82	25.5	4.56
Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2 Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595							

Continuación del anexo 1.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



---

O.T. No.34718

INFORME No.252-M

Identificación	14B	NUEVA LID	OSCAR				
LARGO	GROSOR	BASE	PESO NAT	LUZ	CARGA	%ABS	MODULO RUP
cm	cm	cm	kg	cm	kg		kg/cm2
22.93	5.07	11.13	2.02	22.50	43.09	20.79	5.09

Identificación	15B	MARGARITO	PATZAN				
LARGO	GROSOR	BASE	PESO NAT	LUZ	CARGA	%ABS	MODULO RUP
cm	cm	cm	kg	cm	kg		kg/cm2
22.80	5.10	11.00	1.98	22.50	56.70	21.72	6.69

Identificación	16B	NICOLAS	BOROR				
LARGO	GROSOR	BASE	PESO NAT	LUZ	CARGA	%ABS	MODULO RUP
cm	cm	cm	kg	cm	kg		kg/cm2
22.77	5.13	11.00	1.98	22.50	24.95	24.24	2.90



M.Sc. Ing. Pablo Christian De León Rodríguez  
Jefe Sección Metales y Productos Manufacturados  
/cbr

Atentamente,



Vo.Bo. Ing. Telma Marcela Cano Morales  
Directora C.I.I.

Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII  
Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2  
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, USAC.