



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

**ELABORACIÓN DE LADRILLOS DE BARRO COCIDO
ESTABILIZADOS CON ARENA CUARZO-FELDESPÁTICA**

Nestor Leonardo Ochoa Mendoza

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, julio de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELABORACIÓN DE LADRILLOS DE BARRO COCIDO
ESTABILIZADOS CON ARENA CUARZO-FELDESPÁTICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

NESTOR LEONARDO OCHOA MENDOZA

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2018

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	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ELABORACIÓN DE LADRILLOS DE BARRO COCIDO ESTABILIZADOS CON ARENA CUARZO-FELDESPÁTICA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 29 de septiembre de 2017.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a horizontal line extending to the right, positioned above the printed name.

Nestor Leonardo Ochoa Mendoza



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



Guatemala, 9 de abril de 2018

Ingeniero
José Gabriel Ordoñez Morales
Área de Materiales y Construcciones Civiles
COORDINADOR

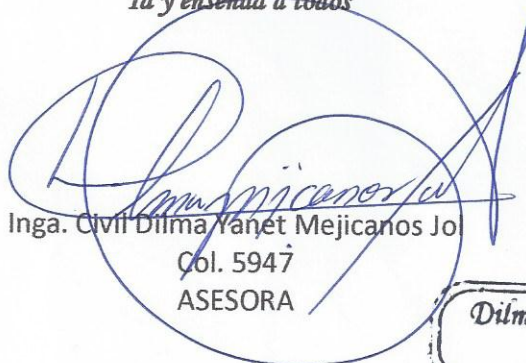
Ingeniero Ordoñez

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación: **ELABORACIÓN DE LADRILLOS DE BARRO COCIDO ESTABILIZADOS CON ARENA CUARZO-FELDESPÁTICA**, elaborado con el estudiante universitario Nestor Leonardo Ochoa Mendoza, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario Ochoa Mendoza, satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"


Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jo
Col. 5947
ASESORA

Dilma Y. Mejicanos Jo!
Ingeniera CIVIL
Col. 5947



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
10 de mayo de 2018

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 **ELABORACIÓN DE LADRILLOS DE BARRO COCIDO ESTABILIZADOS CON ARENA CUARZO-FELDESPÁTICA** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Nestor Leonardo Ochoa Mendoza quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

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
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/mrrm.



Mas de 137 años de Trabajo y Mejora Continua



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Nestor Leonardo Ochoa Mendoza ELABORACIÓN DE LADRILLOS DE BARRO COCIDO ESTABILIZADOS CON ARENA CUARZO-FELDESPÁTICA da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, julio 2018

/mrm.

Mas de 137 años de Trabajo y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
de Guatemala

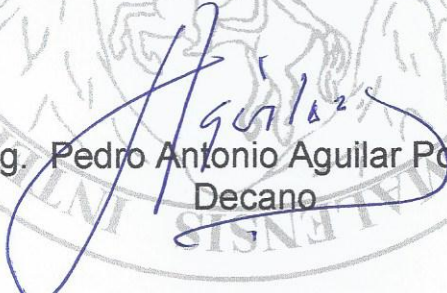


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref.DTG.D.257.2018

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: **ELABORACIÓN DE LADRILLOS DE BARRO COCIDO ESTABILIZADOS CON ARENA CUARZO-FELDESPÁTICA**, presentado por el estudiante universitario: **Nestor Leonardo Ochoa Mendoza**, 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 Polanco
Decano

Guatemala, julio de 2018



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Quien sin importarle mis errores, me ha llenado de bendiciones; bendiciones que he utilizado como herramientas para seguir adelante.
- Mis padres** José Idelfonso Ochoa Moya (QEPD) e Hilda Raquel Mendoza Marroquín, quienes con mucha voluntad siempre me brindan su apoyo. Didier Leonardo y María José, con quienes comparto triunfo que merecen más que nadie.
- Mis hermanos** José, René, Sergio, Jarieth y Rudy.
- Mi esposa** Eneida Zamira Motta Santandrea, por ser una influencia importante en mi carrera.
- Mis hijos** Didier Leonardo y María José, con quienes comparto este triunfo que merecen más que nadie.
- Mis hermanos** José, René, Sergio, Jarieth y Rudy.
- Mis abuelos** Faustino Ochoa (QEPD) y Guadalupe Moya (QEPD).

Mis tíos

María Dolores y Fidencio Ochoa con especial cariño.

Mis amigos

Omar Rodas, Rafael Trujillo, Fernando Uribio, Heber Raúl Álvarez y Susana Arana, Julio César Saavedra, Humberto García, por todo el apoyo que me han brindado.

Asesora de tesis

Ingeniera Dilma Yanet Mejicanos Jol, por todo el apoyo brindado en la realización del presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por abrirme las puertas y darme la oportunidad de estudiar en ella.

Facultad de Ingeniería

Por darme las herramientas necesarias para desarrollarme personal y profesionalmente.

Centro de Investigaciones de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala

Por el apoyo en la realización de ensayos, en especial al ingeniero Julio César Álvarez Guillén, por el tiempo y esfuerzo que me brindó en la realización de los ensayos de laboratorio.

Ingeniera Dilma Mejicanos

Por su dedicación y apoyo en esta investigación.

Ingeniero Julio Luna

Por el apoyo brindado en la investigación de la arena cuarzo – feldespática

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1. Trabajos realizados en Guatemala sobre ladrillos de barro cocido.....	1
1.1.1. Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales.....	1
1.1.1.1. Resultados.....	1
1.1.1.2. Conclusiones.....	2
1.1.1.3. Recomendaciones.....	3
1.1.2. Uso de escoria de mata de níquel en la fabricación de ladrillo tayuyo en Uso de escoria forma artesanal.....	3
1.1.2.1. Resultados.....	3
1.1.2.2. Conclusiones.....	4
1.1.2.3. Recomendaciones.....	5
1.1.3. Investigación de los parámetros de calidad y especificaciones para ladrillos macizos y baldosas de barro cocido,	

	elaborados en El Tejar, Chimaltenango, Guatemala.....	6
	1.1.3.1. Resultados.....	6
	1.1.3.2. Conclusiones.....	7
	1.1.3.3. Recomendaciones.....	8
1.2.	Caracterización geológica del municipio de Pochuta, Chimaltenango.....	9
	1.2.1. Geología del área de la cantera.....	12
2.	ARENA CUARZO-FELDESPÁTICA.....	17
2.1.	¿Qué es?	17
2.2.	Composición química.	17
	2.2.1. Cuarzo.	18
	2.2.2. Feldespato.....	18
	2.2.3. Granito.....	19
2.3.	Procedencia.....	19
2.4.	Caracterización física.	22
3.	ARCILLAS Y SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN.....	25
3.1.	Origen de los silicatos.	25
3.2.	Origen de las arcillas.	26
3.3.	Clasificación de las arcillas según su origen.....	29
	3.3.1. Clasificación de las arcillas según su empleo en la construcción.....	30
	3.3.1.1. Ladrillos.....	31
	3.3.1.2. Refractarios.....	31
	3.3.1.3. Gres.....	32
	3.3.1.4. Porcelana.....	33
	3.3.1.5. Azulejo.....	33

3.4.	Ladrillo.....	33
3.4.1.	Historia.....	33
3.4.2.	Partes de un ladrillo.....	34
3.4.3.	Clases de ladrillo.....	36
3.4.3.1.	Ladrillo macizo.....	37
3.4.3.2.	Ladrillo perforado.....	38
3.4.3.3.	Ladrillos tubulares.....	38
3.4.3.4.	Ladrillos especiales.....	38
3.4.4.	Proceso de fabricación del ladrillo.....	38
3.4.4.1.	Proceso de fabricación artesanal.....	38
3.4.4.2.	Proceso de fabricación industrial.....	41
3.4.5.	Mampostería del ladrillo de barro cocido...	45
3.4.5.1.	Características físicas.....	45
3.4.5.2.	Propiedades mecánicas.....	47
3.5.	Ensayos de laboratorio.....	50
3.5.1.	Determinación de las dimensiones y forma, Norma Coguanor 41 024 h1.....	50
3.5.1.1.	Determinación de las dimensiones.....	51
3.5.1.2.	Comprobación de la forma.....	52
3.5.2.	Determinación de la resistencia a la compresión, Norma Coguanor NGO 41024 h2.....	53
3.5.2.1.	Preparación y conservación de las muestras.....	54
3.5.3.	Determinación de la absorción de agua, Norma Coguanor NGO 41024 h4.....	56

3.5.4.	Determinación de la razón inicial de absorción (succión), Norma Coguanor NGO 41024 h5.....	58
3.5.5.	Resistencia a la flexión (módulo de ruptura), Norma ASTM C 674-88.....	63
4.	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	67
4.1.	Equipo y material utilizado.	67
4.2.	Desarrollo.....	69
4.3.	Caracterización física de la arcilla y ladrillo.....	71
4.4.	Ensayos de laboratorio para la arcilla y ladrillo.....	72
4.4.1.	Análisis granulométrico.....	72
4.4.1.1.	Método del hidrómetro, Norma ASTM D-422 y AASTHO T-88.....	72
4.4.1.2.	Análisis granulométrico con tamices y lavado previo, Norma ASTM D 6913-04.....	73
4.4.2.	Ensayo de límite líquido y plástico, Norma ASTM D-43185 y AASHTO T-89-68 y T-90-70.	74
4.4.3.	Gravedad específica, Norma ASTM D-854 y AASHTO T-100.	74
4.4.4.	Determinación de la resistencia a la compresión, Norma Coguanor NGO 41024 h2.....	76
4.4.5.	Determinación de la absorción de agua, Norma Coguanor NGO 41024 h4.....	80
4.4.6.	Determinación de la razón inicial de	

absorción (succión), Coguanor NGO 41 024 h5.....	83
4.4.7. Determinar la resistencia a la flexión, Norma ASTM C 674-88.....	86
4.5. Presentación de resultados.....	89
4.6. Comparación y análisis de resultados.....	91
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES.....	95
BIBLIOGRAFÍA.	97
ANEXOS.	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Tipos de suelos en el municipio de Pochuta, Chimaltenango.....	10
2	Distribución geográfica de las distintas clases de suelo en el municipio de Pochuta, Chimaltenango.....	11
3	Mapa geológico de la cantera Pochuta.....	13
4	Localización de cantera Pochuta.....	20
5	Ubicación geográfica cantera Pochuta.....	21
6	Mapa topográfico del área de la cantera Pochuta.....	21
7	Denominación de las aristas del ladrillo.....	35
8	Denominación de las caras del ladrillo.....	35
9	Puntos de medición de las dimensiones.	51
10	Comprobación de la forma de ladrillos.....	53
11	Diagrama de corte y momento para flexión.....	64
12	Arena cuarzo–feldespática.....	67
13	Arcilla.....	68
14	Arena cuarzo - feldespática, arcilla y molde para elaboración de ladrillos.....	68
15	Fabricación de muestras de ladrillos.....	69
16	Fabricación de muestras de ladrillos, bajo proporciones.....	70
17	Horno, fábrica de ladrillos, El Porvenir, El Tejar Chimaltenango.....	70
18	Banco de arcilla en el municipio de El Tejar, Chimaltenango.....	71
19	Secado de ladrillos en horno.....	76
20	Corte de ladrillos.....	77
21	Nivelación de las caras de compresión con azufre.....	77

22	Ladrillos nivelados en su cara de compresión con azufre.....	77
23	Ensayo de compresión.....	78
24	Peso de ladrillos secos.....	81
25	Peso de ladrillos húmedos.....	81
26	Equipo para ensayo de succión.....	84
27	Succión de agua en ladrillo.....	84
28	Ensayo de flexión en ladrillo.....	87

TABLAS

I	Presentación comparativa de los ensayos mecánicos de cada fábrica artesanal.....	2
II	Resultados de las propiedades mecánicas en ladrillos de barro cocido, adicionando escoria de níquel.....	4
III	Resultados de los ensayos de laboratorio obtenidos en los ladrillos de barro cocido, elaborados en El Tejar, Chimaltenango.....	6
IV	Tipos de suelo, municipio de Pochuta, Chimaltenango.....	9
V	Contenido porcentual de la arena cuarzo–feldespática.....	18
VI	Colindancias generales del área del proyecto.....	19
VII	Resultados del ensayo razón de soporte california.....	22
VIII	Resultados del análisis granulométrico con tamices y lavado previo.....	23
IX	Clasificación de arcillas según su origen.....	29
X	Clasificación, designación y usos de los ladrillos de barro cocido.....	36
XI	Dimensiones nominales de los ladrillos de barro cocido, cualquiera	

	sea su tipo, grado o clase.....	37
XII	Requisitos para la elaboración del ladrillo de barro cocido tayuyo, perforado y tubular, Instituto de Fomento de Hipotecas aseguradas, (FHA)	48
XIII	Requisitos para la elaboración del ladrillo de barro cocido tayuyo, perforado y tubular, Norma Coguanor 41022.....	49
XIV	Análisis granulométrico por sedimentación.....	72
XV	Análisis granulométrico con tamices y lavado previo.....	73
XVI	Límites de Attenberg para la muestra de arcilla analizada.....	74
XVII	Ensayo de gravedad específica de los sólidos del suelo en la muestra de arcilla analizada.	75
XVIII	Resultados de compresión, para las unidades de ladrillos.....	79
XIX	Resultados del promedio de compresión para las diferentes proporciones de mezclas.	80
XX	Resultados de absorción de agua, para las unidades de ladrillos.....	82
XXI	Resultados del promedio de absorción de agua para las diferentes proporciones de mezclas.....	83
XXII	Resultados de succión de agua, para las unidades de ladrillos.....	85
XXIII	Resultados del promedio de succión de agua, para las diferentes proporciones de mezclas.....	86
XXIV	Resultados de flexión, para las unidades de ladrillos.....	88
XXV	Resultados del promedio de flexión, para las diferentes proporciones de mezclas.....	89
XVIII	Resultados del promedio de los ensayos, para las diferentes proporciones de mezclas.....	90
XXVI	Resultados de los ensayos en probetas de ladrillo de barro cocido, para las diferentes proporciones de mezclas.....	91

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
NaAlSi₃O₈	Albita
CaAlSi₃O₈	Anortita
G	Arena gris o arena triturada
cm	Centímetros
cm³	Centímetros cúbicos
F	Feldespato
°C	Grados Celsius
g	Gramos
kg/m³	Kilogramos por metro cúbico
PSI	Libras por pulgada cuadrada
±	Más/menos
>	Mayor que
Mpa	Mega pascales
<	Menor que
m/h	Metros por hora
μ m	Micrómetros
ml	Mililitros
mm	Milímetros
KAlSi₃O₈	Ortosa
Al₂O₃	Óxido de aluminio
Fe₂O₃	Óxido de hierro
K₂O	Óxido de potasio
SiO₂	Óxido de silicio

Na₂O
%

Óxido de sodio
Porcentaje

GLOSARIO

Absorción	Aumento de peso, generalmente expresado en porcentaje, que experimenta una probeta de un material después de su inmersión en un fluido en condiciones prefijadas.
Adherencia	Resistencia que se opone al deslizamiento o a la separación en la superficie de contacto de dos materiales.
Alfarería	Arte de fabricar piezas de suelo arcilloso que son sometidas a la cocción.
Amasar	Proceso ejecutado con las manos para homogenizar el suelo arcilloso con el agua con el fin de darle la consistencia deseada y eliminar burbujas de aire.
Arcilla	Suelo finamente dividido, constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados que procede de la descomposición de minerales de aluminio. Es de color blanco cuando es pura y con coloraciones diversas según las impurezas que contiene.
Área bruta	Es el área total de la cara del ladrillo perpendicular a los agujeros; es decir, es el producto del largo por el ancho del ladrillo.

Área neta	Es el área de la cara del ladrillo perpendicular a los agujeros descontando el área transversal de ellos; es decir, es el área bruta menos el área de los agujeros.
Arista	Línea de intersección de dos planos.
Artesano	Persona con habilidades para transformar la materia en piezas ornamentales o herramientas.
ASTM	American Society of Testing and Materials Sociedad Americana para el Ensayo e Inspección de los Materiales.
Batán	Máquina generalmente hidráulica, compuesta de gruesos mazos de madera movidos por un eje que sirven para golpear.
Batanado	Operación consistente en tratar pieles en el batán.
Caolín	Arcilla pura, blanda y blanca con plasticidad variable, en general baja, retiene su color blanco durante la cocción. Su fórmula química es $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.
Caolinizados	Proceso de transformación de los silicatos y feldespatos de las rocas en productos que tienen caolinita.
Coguanor	Comisión Guatemalteca de Normas.

Compresión	Presión que tiende a causar una reducción de volumen.
Contracción	Durante el secado, debido a la pérdida de humedad, las piezas de arcilla sin quemar sufren un encogimiento que puede llegar hasta el 20 % de su tamaño original; posteriormente, en la quema se reducirán un porcentaje más y a esta acción se le conoce como contracción.
Crudo	Estado de los ladrillos crudos que ya han perdido la mayor parte del agua física y que se reconoce porque ya no obedecen a la presión de los dedos y su consistencia es rígida.
Densidad	Relación entre el volumen bruto y la masa, peso de una unidad o espécimen.
Durabilidad	Habilidad de un material para resistir la acción de la intemperie, el ataque químico, la abrasión y otras condiciones de servicio.
Epidotización	Diversos procesos naturales que alteran un mineral, composición química o cristalografía
Ensayo	Procedimiento al que se somete un espécimen para evaluar alguna característica de éste.

Espécimen	Unidad, o parte de esta, o porción de mortero que hacen parte de la muestra y que se somete a ensayo.
Fisura	Hendidura más o menos irregular que afecta a la totalidad del espesor de una pared de ladrillo.
Granulometría	Es la distribución del tamaño de las partículas de una muestra de agregado, determinada por separación mediante una serie de tamices estandarizados.
Horno	Construido con ladrillos refractarios y provisto de un equipo de calentamiento alimentado por leña como combustible y al alcanzar muy altas temperaturas, hace posible el horneado o quema de las piezas.
Ladrillos refractarios	Resisten la acción del fuego sin cambiar de estado ni descomponerse.
Mampostería	Tipo de estructura que utiliza la combinación de resistencia entre bloque y mortero como parámetro fundamental de diseño.
Mezcla	Agregación o incorporación de varias sustancias o cuerpo que no tienen entre sí acción química.
Molde	Elemento generalmente de madera, que contiene una forma hueca, el negativo de una forma, que será

llenada con pasta en forma de suspensión líquida espesa, con lo que se obtendrá la forma positiva.

Mortero

Es una mezcla consistente en material cementante, agregado fino, agua, con o sin admixturas; el cual es utilizado como recubrimiento, acabado o para unir bloques de mampostería.

Pasta

Mezcla de arcillas y otros materiales susceptibles de ser quemados que sirve para fabricar los ladrillos.

Plasticidad

Característica de la arcilla que le permite ser moldeada y retener la forma sin deformarse.

Sílice

Óxido de silicio (SiO_2). Se encuentra en la naturaleza como pedernal o cuarzo. Junto con la alúmina es el componente que forma la base de las arcillas.

Succión

Es la diferencia absoluta entre la presión ambiente y la presión subatmosférica, expresada en pulgadas o milímetros de agua; es decir, la capacidad de imbibición de agua por capilaridad mediante la inmersión parcial del ladrillo en un período corto de tiempo.

Trabajabilidad

Característica plástica de un mortero en cuanto a su facilidad para ser colocado o extendido dentro de una cimbra o molde.

Vaciado

Equivalente ha moldeado. Proceso para la confección de piezas de ladrillos, que se realiza vertiendo una pasta espesa en moldes de madera. Este proceso toma unos pocos minutos, dependiendo de la humedad y consistencia de la pasta para ser manipulada.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar el uso de la arena cuarzo-feldespática como estabilizador de la arcilla en la elaboración de ladrillos de barro cocido en forma artesanal.

La arena cuarzo-feldespática es el material de desecho resultante de la explotación de la cantera ubicada en el municipio de San Miguel Pochuta, Chimaltenango, donde se realiza la extracción de sílice, feldespato y minerales que yacen sobre la Cantera Pochuta.

Se fabricaron ladrillos de barro cocido utilizando distintas proporciones volumétricas de materiales desde 85 % – 15 % hasta 60 % - 40 % de arcilla y arena cuarzo-feldespática.

En el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala se llevó a cabo la investigación de utilización de la arena cuarzo-feldespática como estabilizador de la arcilla en el proceso de fabricar ladrillos sólidos de barro cocido para determinar si estos cumplen con la Norma Coganor 41022.

De acuerdo a los resultados sobre el análisis de las características físicas de la arena cuarzo-feldespática y las propiedades mecánicas de los ladrillos fabricados artesanalmente, se determina que este material posee las características para ser usado como estabilizador de la arcilla en la fabricación de ladrillos con una proporción volumétrica de 60 % de arcilla y 40 % de arena cuarzo-feldespática.

OBJETIVOS

General

Evaluar el comportamiento de las características físicas y propiedades mecánicas de los ladrillos de barro cocido estabilizados con arena cuarzo-feldespática por medio de ensayos de laboratorio.

Específicos

1. Elaborar probetas en forma de ladrillos con barro cocido estabilizados con arena cuarzo-feldespática.
2. Evaluar las características físicas de la arcilla a utilizar.
3. Medir las características físicas de las probetas elaboradas.
4. Medir las propiedades mecánicas de las probetas elaboradas.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala existe una problemática sobre el uso de los desechos producidos en la explotación minera, tal es el caso de la mina ubicada en el municipio de Pochuta, Chimaltenango, en donde se ha dado con el transcurso del tiempo una gran acumulación de desecho minero de arena cuarzo-feldespática de granulometría variada. El feldespato mineral, utilizado en la fabricación de vidrio y cerámica obtenido en la industria minera en Guatemala y exportado a Centro América y México, por sus propiedades de dureza e inocuidad, se analiza como estabilizador de la arcilla, utilizada en la fabricación de ladrillos de barro cocido y se evalúan las características físicas y propiedades mecánicas del producto obtenido.

Para la realización del trabajo de investigación se hizo la adquisición de una bolsa de arena cuarzo-feldespática de desecho en la Mina Pochuta, ubicada en el municipio de Pochuta, Chimaltenango, así como de arcilla utilizada en la fabricación de ladrillos de barro cocido en el municipio de El Tejar, Chimaltenango.

Se presenta una descripción de la caracterización de la arena cuarzo-feldespática, también, la arcilla utilizada en la mezcla con la que se fabricaron ladrillos con diferentes proporciones volumétricas desde 85 % – 15 % hasta 60 % - 40 de arcilla y arena cuarzo-feldespática; esto con el objetivo de realizar la evaluación de las características físicas y propiedades mecánicas del ladrillo obtenido, utilizando diferentes proporciones de estos materiales.

La finalidad de los estudios es comparar los datos que se obtengan con los parámetros de las normas de fabricación de ladrillos (Coguanor NGO 41024 H1, Coguanor NGO 41024 h2 y Coguanor NGO 41024 h4) y concluir sobre el uso de la arena cuarzo-feldespática como agente estabilizador de la arcilla, sin alterar las características y propiedades de los ladrillos de barro cocido fabricados artesanalmente, sin adición de este material.

1. ANTECEDENTES

En Guatemala se han llevado a cabo una serie de estudios sobre la fabricación del ladrillo, en forma artesanal como industrial; la materia prima utilizada (arcilla) y las características físicas y propiedades mecánicas del ladrillo; a continuación, se enlista una serie de estudios realizados, conclusiones de los trabajos y recomendaciones dadas en su momento.

1.1. Trabajos realizados en Guatemala sobre el ladrillo de barro cocido

Los estudios sobre los ladrillos de barro cocido en Guatemala se han limitado únicamente a los realizados por estudiantes en trabajos de investigación en el proceso de graduación sobre el proceso de fabricación, la calidad del producto y la fabricación de nuevos productos de barro cocido adicionando componentes distintos a la arcilla.

1.1.1. Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales

Zea Osorio, Norma Lissette, *Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales*, Tesis de Ingeniería Civil, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005.

1.1.1.1. Resultados

Los estudios realizados en distintas ladrilleras en el municipio de El Tejar, departamento de Chimaltenango consistieron en % de absorción de agua y

resistencia a la compresión de ladrillos tayuyos de barro cocido, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla I.

Tabla I. Presentación comparativa de los ensayos mecánicos de cada fábrica artesanal

Características del ladrillo como producto final			
Fábrica	% Absorción	Resistencia kg/cm²	
		Primera	Máxima
Ladrillera Mazateca	22,77	39,16	48,57
Ladrillera Morazán	22,45	43,15	61,75
Ladrillera Sánchez	21,93	36,38	46,30
Ladrillera Tikal	21,00	38,80	49,46

Fuente: ZEA OSORIO, Norma Lissette *Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales* p. 17.

1.1.1.2. Conclusiones

- No puede determinarse por simple inspección visual si el tipo de arcilla que se extrae de los bancos de materiales es el adecuado para formar parte de la mezcla con la que se fabrica el ladrillo artesanal; debe someterse a una serie de ensayos físicos, ensayos mecánicos y análisis químico para determinar sus características y propiedades.
- La relación existente entre el límite líquido y el índice plástico ofrece una gran información acerca de la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla.

- Cuanto más pequeña es la partícula y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

1.1.1.3. Recomendaciones

- Realizar ensayos físicos y mecánicos a los suelos que se extraen de los distintos bancos de materiales para determinar sus características y, de esta forma, establecer una mezcla con porcentajes ideales para la producción de ladrillo cocido.
- Es necesario realizar un análisis químico para establecer los porcentajes y clases de minerales que contengan las arcillas utilizadas en la mezcla que conforman el ladrillo para determinar su reacción al ser sometidos a la cocción.

1.1.2. Uso de escoria de mata de níquel en la fabricación de ladrillo tayuyo en forma artesanal

Chamalé Boror, Luis Arturo, *Uso de escoria de mata de níquel en la fabricación de ladrillo tayuyo en forma artesanal*. Tesis de Ingeniería Civil Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011.

1.1.2.1. Resultados

En la figura 1 se presentan los resultados obtenidos en el estudio de las propiedades mecánicas de ladrillos de barro cocido fabricados adicionando escoria de mata de níquel en diferentes proporciones.

Tabla II. Resultados de las propiedades mecánicas en ladrillos de barro cocido, adicionando escoria de mata de níquel

id (ladrillo)	largo (cm)	ancho (cm)	alto (cm)	%	Compre		carga (kg)	carga (kg)	sión	
					sión	área (cm ²)			área (cm ²)	σ (kg/cm ²)
0%-1	23,27	11,03	5,10	21,11	256,668	56,253	27 215,82	60,00	106,035	483,811
0%-2	23,03	11,10	4,93	20,74	255,633	54,723	24 947,84	55,00	97,592	455,893
0%-3	23,30	10,93	5,17	15,32	254,669	56,508	18 143,88	40,00	71,245	321,085
20%-1	23,23	11,47	5,03	18,02	266,448	57,694	29 483,81	65,00	110,655	511,036
20%-2	23,17	11,43	5,03	18,22	264,833	57,493	26 308,63	58,00	99,340	457,598
20%-3	23,23	11,37	5,03	18,22	264,125	57,191	24 040,64	53,00	91,020	420,356
40%-1	23,57	11,63	5,03	15,92	274,119	58,499	13 607,91	30,00	49,642	232,618
40%-2	23,43	11,67	5,07	15,94	273,428	59,166	19 958,27	44,00	72,993	337,321
40%-3	23,07	11,43	5,13	17,09	263,690	58,636	28 123,02	62,00	106,652	479,621
50%-1	23,50	10,43	5,17	15,32	245,105	53,923	18 143,88	40,00	74,025	336,477
50%-2	23,93	11,83	5,03	14,37	283,092	59,505	14 515,10	32,00	51,273	243,931
50%-3	23,60	10,60	4,97	15,31	250,160	52,682	22 679,85	50,00	90,661	430,505

Fuente: CHAMALÉ BOROR, Luis Arturo. *Uso de escoria de mata de níquel en la fabricación de ladrillo tayuyo en forma artesanal*. p. 93.

1.1.2.2. Conclusiones

- El ensayo de límites de Attenberg permite conocer el comportamiento, naturaleza y la calidad de la arcilla, lo que llevó a concluir la clasificación correcta de la materia prima como arena limosa con ligera presencia de arcilla.
- Con el uso de escoria de mata de níquel en forma de arena y al combinarla en un 20 % con arena limosa, se obtuvieron mejores resultados que los ladrillos convencionales, esto en ensayos de piezas individuales, lo que permite concluir que dicha combinación mejora las

características mecánicas; también, presenta una linealidad en el porcentaje de absorción.

- Los ensayos de los prismas de mampostería sometidos a compresión, corte y adherencia presentaron resultados con variabilidad; sin embargo, se presentaron satisfactorios, por lo que se ha llegado a concluir que los factores: materia prima, tipo de horno, velocidad y dirección del viento influyen en la uniformidad y calidad del producto terminado.

1.1.2.3. Recomendaciones

- Se recomiendan controles de calidad en todo el proceso de producción para obtener un producto competitivo dentro del campo de la construcción, al realizar ensayos físicos y mecánicos a los suelos que se extraen de los distintos bancos de materiales para determinar sus características para de esta forma, establecer una mezcla con porcentajes ideales para la producción del ladrillo cocido.
- Es necesario realizar un análisis químico para establecer los porcentajes y las clases de minerales que contengan las arcillas utilizadas en la mezcla que conforman el ladrillo para determinar su reacción al ser sometidos a la cocción.
- Mejoras en la construcción de hornos; propone la construcción de hornos de ciclos continuos que mejorarán los resultados del producto terminado. Se recomienda el uso alternativo de productos para la quema del ladrillo, en la sustitución de la leña por cascarilla de arroz, cascarilla de café o caña molida, con lo cual se reducirá la deforestación en la región.

1.1.3. Investigación de los parámetros de calidad y especificaciones para ladrillos macizos y baldosas de barro cocido, elaborados en El Tejar, Chimaltenango, Guatemala

Rojas Fuentes, Rudy Fernando, *Investigación de los parámetros de calidad y especificaciones para ladrillos macizos y baldosas de barro cocido, elaborados en El Tejar, Chimaltenango, Guatemala*, Tesis Ingeniería Civil, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2016.

1.1.3.1. Resultados

En la figura 2 se presentan los resultados obtenidos en el estudio de las propiedades mecánicas de ladrillos de barro cocido elaborados en El Tejar, Chimaltenango.

Tabla III. Resultados de los ensayos de laboratorio obtenidos en ladrillos de barro cocido, elaborados en el Tejar, Chimaltenango

Núm. fabrica	Resistencia a compresión		Resistencia a flexión módulo de ruptura		Absorción máxima (%)
	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²	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	23,73
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

Continuación de la tabla III.

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: ROJAS FUENTES, Rudy Fernando. *Investigación de los parámetros de calidad y especificaciones para ladrillos macizos y baldosas de barro cocido, elaborados en el Tejar, Chimaltenango, Guatemala.* p. 29.

1.1.3.2. Conclusiones

- La proporción con que se mezclan las materias primas para la producción de ladrillos es variable entre las fábricas y no todas hacen uso de una proporción constante.
- 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.

- 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.
- 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.
- 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.

1.1.3.3. Recomendaciones

- 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.
- Hacer estudios para determinar qué dosificación de materias primas le da mejores propiedades a los ladrillos.
- Investigar de qué manera se puede disminuir la absorción de humedad de los ladrillos, utilizando los métodos de producción y materias primas existentes.
- Investigar los 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.

- 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.

1.2 Caracterización geológica del municipio de Pochuta, Chimaltenango

El terrero en el municipio de Pochuta está conformado por suelo meteorizado de origen volcánico, con una base de pómez en espesores de más de 15 metros, procedentes de la caldera de Atitlán.

Tabla IV. **Tipos de suelo, municipio de Pochuta, Chimaltenango**

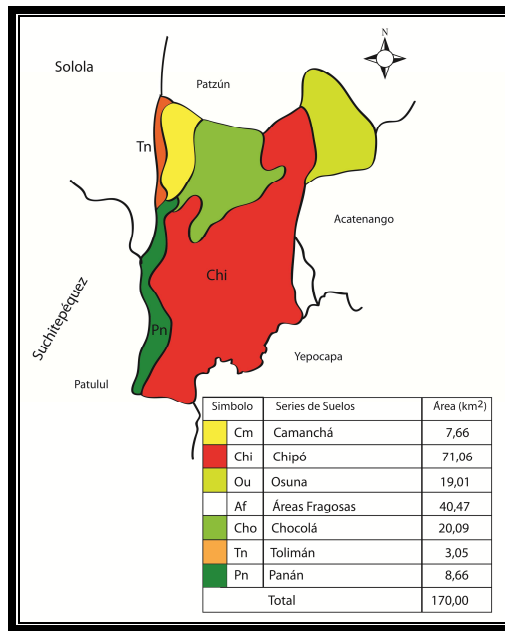
Símbolo	Series	Área en km²
Chi	Chipó	71,06
Cho	Chocolá	20,09
Cm	Camanchá	7,66
Ou	Osuna	19,01
Pn	Panán	8,66
Tn	Tolimán	3,05
Af	Áreas frágiles	40,47
Total		170,00

Fuente: TEPEU JOLOMNÁ, Julio Roberto. *Diagnóstico y pronóstico socioeconómico*. p. 26.

En la figura 1 se muestra la distribución geográfica de la serie de suelos en el municipio; es importante observar que en Pochuta las tierras fértiles para los

cultivos abarcan una mayor cantidad de la extensión territorial, lo cual se manifiesta en las grandes extensiones de tierra que se dedican al cultivo del café, el banano y la caña de azúcar.

Figura 1. Tipos de suelos en el municipio de Pochuta, Chimaltenango



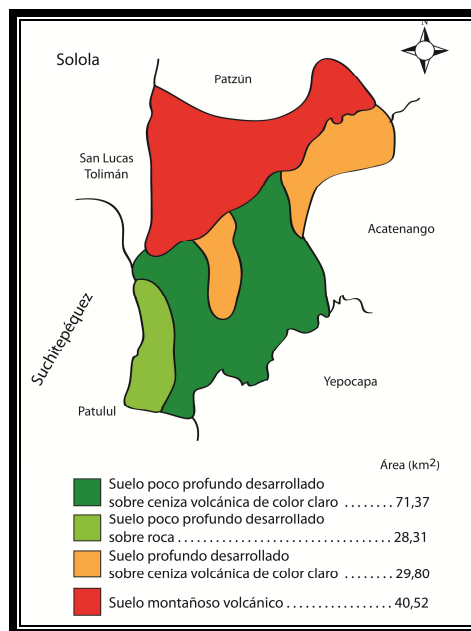
Fuente: TEPEU JOLOMNÁ, Julio Roberto. *Diagnóstico y pronóstico socioeconómico*. p. 25.

Se observa que los tipos de suelo que mayor área en kilómetros cuadrados abarcan son la serie Chipó, de origen de ceniza volcánica cementada o granito descompuesto, relieve inclinado, con buen drenaje, color café muy oscuro, textura franca y franca arenosa, friable, espesor de 15 a 30 centímetros, subsuelo de textura franca friable con drenaje rápido; este tipo de suelo presenta un riesgo de erosión alto; hasta cierto punto, se usa para cultivo de café, pero gran parte del área está bajo bosques; Chocolá, de origen de ceniza volcánica pomácea de color claro, relieve suavemente inclinado, buen drenaje, textura arcillosa a semifranco; Panán, de tipo ceniza cementada, (máfica), de

color oscuro, relieve inclinado, buen drenaje interno, color café oscuro; Camancha, ceniza volcánica pomácea, de color muy oscuro, de relieve ondulado a fuertemente ondulado, buen drenaje y, por último, la serie de suelos Tolimán, de origen ceniza volcánica de color café oscuro.

En la figura 2 se presenta la distribución geográfica de las distintas clases de suelos que comprende el municipio de Pochuta, en cuanto a su profundidad, su composición y su color; esta clasificación difiere de la del tipo de suelo a la que se hace mención en la tabla IV, ya que no se clasifica por nombre y por volumen, sino que se generaliza en cuanto a su composición orgánica y la dureza del subsuelo. Por su composición se encuentran expuestos a un alto riesgo de erosión.

Figura 2. Distribución geográfica de las distintas clases de suelo en el municipio de Pochuta, Chimaltenango



Fuente: TEPEU JOLOMNÁ, Julio Roberto. *Diagnóstico y pronóstico socioeconómico*. p. 28.

1.2.1. Geología del área de la cantera

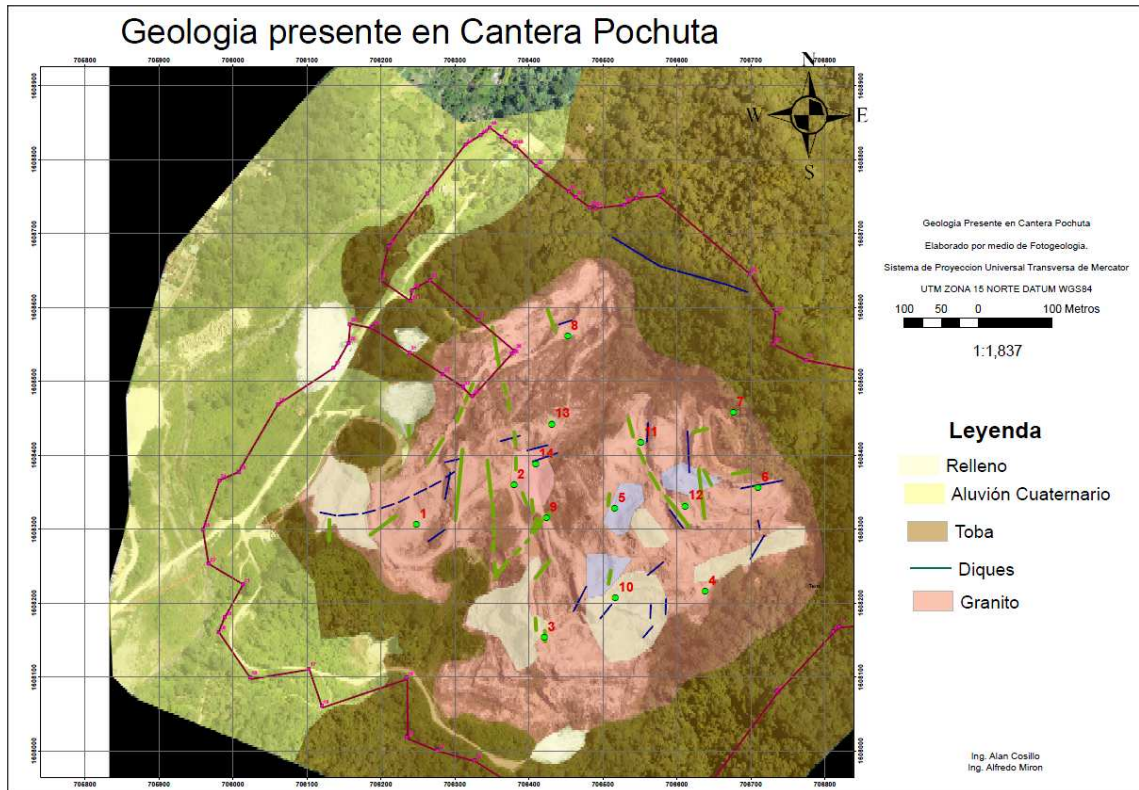
En los recorridos por la cantera se han detectado cuatro unidades geológicas. Al momento se han interpretado las unidades geológicas, falta revisar las alteraciones hidrotermales y agregar más mediciones de fracturamiento.

Las unidades geológicas reconocidas se cartografiaron a nivel de geología de la cantera y se denominaron de más reciente a más antiguo como:

- Relleno: materiales de relleno de descapote y remoción de materiales de la cantera sin valor económico.
- Aluvión: bancos de terrazas aluviales que rodea el proyecto son productos de depósitos cuaternarios de sedimentos que son acarreados por los ríos y quebradas que circunda el proyecto. El mayor depósito de materiales de aluvión lo deja el río Nicán.
- Piroclastos (toba): cuaternario que consiste en materiales piroclásticos no consolidados, por lo que pueden ser denominados tefras o tobas.
- Granito: un intrusivo de material granítico con diferentes intensidades de meteorización y alteración química.

En la figura 3 se muestra un mapa de la geología presente en el área de la cantera Pochuta.

Figura 3. Mapa geológico de la cantera Pochuta



Fuente: LUNA AROCHE, Julio Roberto. *Resumen técnico de las operaciones mineras efectuadas en el año 2015*. p. 26.

Descripción detallada de las unidades de rocas y de las estructuras presentes en el área en estudio, de acuerdo al mapa Geológico anterior:

- Aluviones

En sector cercano al río Nicán, se encuentran plataformas de inundación que han formado planicies cortadas por el río. Las planicies se extienden a lo largo del río y representan materiales cuaternarios de diferentes granulometrías.

También, se han formado varios rellenos provenientes de materiales de la cantera, los cuales se han cartografiado por aparte en el mapa geológico.

- Toba

Estos son los materiales que recubrían la cantera y han sido removidos, aún queda material que es considerado descapote al norte y sur de la cantera. Estos materiales se caracterizan por ser limo-arenosos, y en algunos niveles se observan suelos muy meteorizados. Los piroclastos son de edad cuaternaria y están relacionados con las explosiones freato-magmáticas de los volcanes cercanos, muy probablemente del volcán Atitlán.

El espesor de estos materiales es variable, hacia el sur de la cantera pueden observarse espesores de entre dos a seis metros. Sin embargo, al norte en la parte más alta de la cantera, este material tiene espesores de 20 a 30 metros. Por lo que se sugiere un sondeo en este sitio de forma vertical para determinar un espesor promedio y determinar si vale la pena ampliar la cantera hacia el sector norte.

- Diques

Se determinaron dos tipos de diques, a los cuales se les ha dado el nombre de diques aplíticos. La aplita es una roca ígnea de composición simple, como el granito, que está compuesto solamente de feldespato alcalino, mica moscovita y cuarzo. En un significado más preciso, son aquellas rocas ígneas de una peculiar textura fina uniforme (de menos de 2 mm) y de color tenue.

A diferencia de la pegmatita, la cual es similar, pero de granulado más áspero, las aplitas se encuentran en pequeños grupos que rara vez contienen partes de otros minerales.

Ambas rocas pueden hallarse juntas y se asume que se han formado al mismo tiempo a partir de magmas semejantes.

En algunos casos, el material que entra como dique dentro del granito tiene una coloración verdosa, la cual se cree se produce por una incipiente cloritización. La cloritización es un tipo de alteración de la roca producida por fluidos hidrotermales.

La cloritización es la alteración de la augita hasta el grupo de las cloritas y dioritas. La epidotización ocurre también en rocas de este grupo y consiste en el desarrollo de epidotita desde biotita, hornblenda, augita o plagioclasas de feldespato.

Las formas de los diques de aplita, básicamente, son lentes, que generalmente tienen espesores de no más de 30 cm en la parte superficial; puede que en profundidad sean más anchos.

- Granito

El granito determinado en la cantera es bastante uniforme en composición mineralógica, sin embargo, se encuentran variaciones locales provocadas por la alteración hidrotermal y meteorización.

La edad del granito se puede considerar como contemporánea con rocas volcánicas de edad terciaria. El granito ha estado expuesto a la meteorización durante mucho tiempo y se estima que previo a que fuera cubierto por piroclastos la meteorización afectó al granito hasta degradar los feldespatos.

Producto de la meteorización se han encontrado niveles bastante limpios, abundancia de cuarzo y arcillas provenientes de la caolinización de los

feldespatos. La meteorización del feldespato (o caolinización) se produce en ambientes húmedos y cargados de CO_2 . El CO_2 se convierte en CO_3 para unirse con el potasio, calcio o sodio, formando carbonatos; en el caso del calcio se denomina calcita.

Por su parte, los silicatos dobles forman silicatos alumínicos hidratados y caolín. En los niveles superiores de la cantera se encuentra más abundancia de cuarzo y feldespatos sumamente caolinizados.

Una característica detectada en los caminamientos geológicos es que cerca de los diques de aplita ha habido un enriquecimiento de magnesio, por lo que se encuentran minerales de clorita.

2. ARENA CUARZO-FELDESPÁTICA

2.1 ¿Qué es?

Es el material de desecho resultante de la explotación de la cantera ubicada en el municipio de San Miguel Pochuta, Chimaltenango, donde se realiza la extracción de sílice, feldespato y minerales asociados a partir del intrusivo granítico que yace sobre la Cantera Pochuta; es el minado superficial a cielo abierto. La razón primordial para usar este método de minado es que el granito se encuentra expuesto en la superficie de la tierra, por lo que no es necesario abrir túneles para extraer el recurso deseado. Debido a la dureza y fragilidad del granito, actualmente se está extrayendo por medio de perforación y voladuras, para luego transportar el material a los patios de acopio. Las condiciones de micro fisuramiento, alteración hidrotermal y meteorización que presenta el domo granítico han generado características particulares que han permitido la liberación física de los minerales de cuarzo y feldespato, así como la alteración de micas biotitas, que facilitan la separación de las partículas minerales en el proceso de producción dentro de la planta.

2.2. Composición química

La arena cuarzo-feldespática es un material formado principalmente de la mezcla de cuarzo y feldespato y otros componentes en menor proporción, resultado de la explotación de sílice en la mina de San Miguel Pochuta.

El material llamado arena cuarzo-feldespática tiene la siguiente composición química.

Tabla V. **Contenido porcentual de la arena cuarzo – feldespática**

Componente	Porcentaje
Óxido de silicio	74,23 %
Óxido de aluminio	15,07 %
Óxido de sodio	6,45 %
Óxido de potasio	3,73 %
Óxido de magnesio	0,24 %
Óxido de calcio	0,23 %
Hierro y otros	0,04 %

Fuente: LUNA AROCHE, Julio Roberto. *Resumen técnico de las operaciones mineras efectuadas en el año 2015*. p. 22.

2.2.1. Cuarzo

Es un mineral compuesto de sílice (SiO_2). Tras el feldespato es el mineral más común de la corteza terrestre, está presente en una gran cantidad de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Destaca por su dureza y resistencia a la meteorización en la superficie terrestre. Es un mineral de color blanco, transparente. Según variación también puede ser rosa, rojizo o negro. Posee una dureza de 7 en la escala de Mohs, de tenacidad quebradizo, con un punto de fusión de $1713\text{ }^\circ\text{C}$ y una densidad de $2,65\text{ gr/cm}^3$.

2.2.2. Feldespato

Son un grupo de minerales tecto y aluminosilicatos que corresponden en volumen, a tanto como el 60 % de la corteza terrestre. Su fórmula química genérica del grupo es $(\text{K,Na,Ca,Ba,NH}_4)(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$. Su color es variado y con una dureza de 4,5 en la escala de Mohs. La composición de feldespatos

constituyentes de rocas corresponde a un sistema ternario compuesto de ortoclasa (KAlSi_3O_8), albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) y anortita ($\text{CaAlSi}_3\text{O}_8$). Feldespatos con una composición química entre anortita y albita se llaman plagioclasas, en cambio los feldespatos con una composición entre albita y ortoclasa se llaman feldespatos alcalinos.

El feldespato es un componente esencial de muchas rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, de tal modo que muchas de estas rocas se clasifican según su contenido de feldespato.

2.2.3. Granito

Es una roca ígnea plutónica formada esencialmente por cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasa y mica, su color varía entre rojo claro y gris.

2.3. Procedencia

El área del proyecto se encuentra influenciada por la orografía del municipio de San Miguel Pochuta; se puede considerar como un terreno montañoso, ya que dentro del área yacen imponentes cerros y lomas, los cuales han dado lugar a la cantera. En la tabla VI se presentan las colindancias generales del proyecto.

Tabla VI. **Colindancias generales del área del proyecto**

Orientación	Colindancia
Norte	Fincas: Las Brisas, Nueva California, río Nicán, Ceilán y carretera pavimentada

Continuación de la tabla VI.

Sur	Fincas: Bacherana, río La Torre, El Pacayal
Este	Carretera de terracería
Oeste	San Miguel Pochuta, río Nicán, río Madre Vieja y fincas San Rafael, Santa Anita.

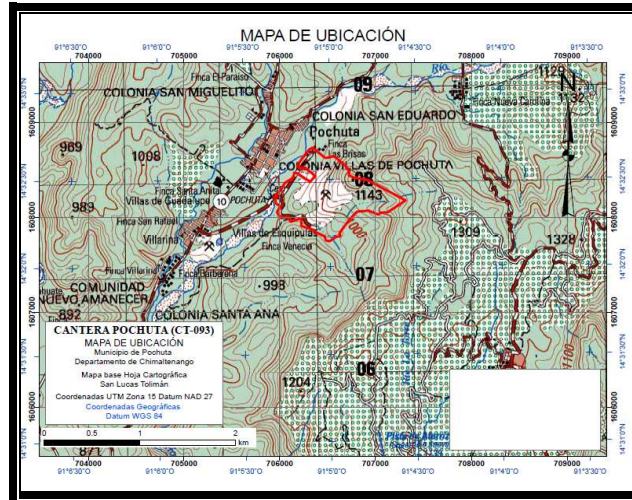
Fuente: LUNA AROCHE, Julio Roberto. *Resumen técnico de las operaciones mineras efectuadas en el año 2015*. p. 8.

Figura 4. **Localización de cantera Pochuta**



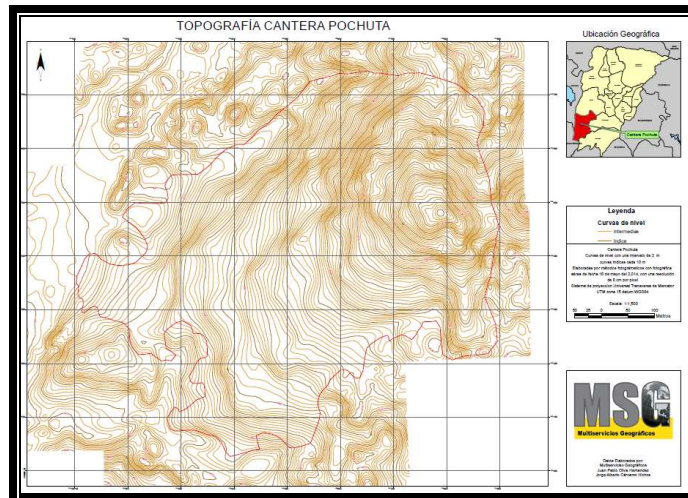
Fuente: LUNA AROCHE, Julio Roberto. *Resumen técnico de las operaciones mineras efectuadas en el año 2015*. p. 26.

Figura 5. **Ubicación geográfica de la cantera Pochuta**



Fuente: LUNA AROCHE, Julio Roberto. *Resumen técnico de las operaciones mineras efectuadas en el año 2015*. p. 9.

Figura 6. **Mapa topográfico del área de la cantera Pochuta**



Fuente: LUNA AROCHE, Julio Roberto. *Resumen técnico de las operaciones mineras efectuadas en el año 2015*. p. 12.

2.4. Caracterización física

De acuerdo al análisis realizado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el material llamado arena cuarzo-feldespática tiene la siguiente caracterización física al realizar los ensayos:

- Límites de Attenberg, Norma AASHTO T-89 y T-90
 - Límite líquido (%): No presentó
 - Índice plástico (%): No presentó
 - Clasificación: SP
 - Descripción del suelo: arena color beige

- Razón de soporte california (C.B.R.), Norma AASHTO T-193

Tabla VII. **Resultados del ensayo razón de soporte california**

Probeta No.	Golpes	A la compactación		C (%)	Expansión (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	Lb/pie ³			
1	10	11,50	102,79	90,2	0,00	19,33
2	30	11,50	107,53	94,3	0,00	22,00
3	65	11,50	112,80	99,0	0,00	63,33

Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Fecha: 25 de agosto de 2017.

- Compactación, Norma AASHTO T-180
 - Densidad seca máxima 1 826,28 kg/m³
 - Humedad optima: 11,50 %

- Análisis granulométrico con tamices y lavado previo. Norma ASTM D6913 – 04

Tabla VIII. **Resultados del análisis granulométrico con tamices y lavado previo**

Tamiz	Abertura(mm)	% que pasa	Tamiz	Abertura	% que pasa
3"	75,00	100,00	10	2,00 mm	99,76
2"	50,00	100,00	20	850 µm	95,18
1 ½"	37,50	100,00	40	425 µm	71,07
1"	25,00	100,00	60	250 µm	46,25
¾"	19,00	100,00	100	150 µm	23,00
3/8"	9,50	100,00	140	106 µm	9,90
¼"	4,75	99,99	200	75 µm	2,13

Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Fecha: 25 de agosto de 2017.

3. ARCILLAS Y SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN

3.1. Origen de los silicatos

Aún con las técnicas modernas disponibles hoy en día, el conocimiento que se tiene de la corteza terrestre es muy limitado, ya que sólo se ha explorado una pequeña porción del casco superficial, aproximadamente, los primeros cuatro kilómetros a partir de la superficie. Sin embargo, mediante métodos indirectos, como los sismológicos, se ha logrado poner en evidencia que la estructura interna de la Tierra está formada por capas que tienen una composición más o menos definida así: hacia el interior de la superficie se encuentra la capa llamada SIAL, situada entre 40 y 100 kilómetros de profundidad, que es rica en sílice (SiO_2) y aluminio, es de tipo ácido y con una densidad media de 2,7. Más hacia el interior se encuentra la capa denominada SIMA, rica en hierro y magnesio, pero con algunas porciones de sílice, aluminio y otros elementos, de carácter básico, más caliente y fluido que la capa SIAL.

La capa SIMA es considerada la madre directa de todas las formaciones minerales que afloraron en la superficie, es muy probable que las primeras rocas superficiales se hayan formado por el enfriamiento y cristalización posterior de las corrientes de magma provenientes de la capa SIMA, acarreadas por las erupciones volcánicas y enfriadas en la superficie, dando origen a las rocas.

Las segregaciones del magma caliente, su migración y compactación posteriores, dieron origen a diversos materiales: cromitas, magnitas, corindón, sienitas, mármoles y cuarcitas, entre otros.

La acción de los vapores y de los gases calientes sobre las primeras rocas condujo a su alteración y a la consecuente formación de mezclas finas de minerales. Estas últimas permanecieron en forma de residuos o bien fueron transportadas y depositadas en los lechos de los ríos y en los fondos marinos. El arrastre y depósito de esas mezclas finas pudo efectuarlo por vía fluvial, es decir, por acción de los ríos o bien por medio de los glaciares y los vientos. El resultado fue el depósito en los lechos lacustres y marinos, lo cual produjo los yacimientos más importantes.

Por lo anterior, es fácil aceptar que el 95 % de la corteza terrestre está formada por silicatos. La corteza tiene una densidad media de 2,7, mientras que la densidad media de la Tierra es de 5,5, o sea que en el interior se concentran los elementos más pesados, hierro, níquel y otros.

3.2. Origen de las arcillas

La arcilla es un silicoaluminato hidratado, es decir, desde el punto de vista químico, está compuesta de silicio (Si), aluminio (Al), oxígeno (O) e hidrógeno (H). Los silicatos forman el árbol genealógico de las arcillas.

La familia de los silicatos comprende la mayoría de los minerales de la corteza terrestre, su composición y estructura están relacionados directamente con la historia geológica de la Tierra; es decir, que dependen de la naturaleza de la roca madre que les dio origen, así como del ambiente a que fueron sometidos durante la etapa de arrastre o deposición. Las arcillas son una rama de los silicatos y su formación obedeció a tres mecanismos principales:

- Por herencia
- Por neoformación

- Por transformación

El primer mecanismo indica que el material arcilloso fue derivado directamente de una roca madre, este tipo de arcillas es el que predomina en los sedimentos de lagos y mares.

Otros mecanismos implicaron una reacción química entre varios componentes a partir de la arcilla original, por lo que este tipo de formación requirió de mayor energía y de ciertas condiciones hidrotérmicas. Estos mecanismos están relacionados con la latitud de la Tierra, de modo que se encuentra que el primer mecanismo fue más común en las regiones árticas, mientras que la neo formación y la transformación dominantes en los trópicos húmedos.

A continuación se presenta la denominación de nombres más comunes de algunas arcillas:

- Arcilla figulina: es aquella que contiene impurezas como arena, caliza y óxidos de hierro.
- Arcilla refractaria: es rica en óxidos metálicos y tiene la propiedad de ser muy resistente al calor.
- Arcilla roja: esta clase la integra generalmente un depósito de tipo marino formado por los restos de materiales calcáreos y ferrígenos, polvo volcánico, restos de esponjas silíceas, dientes de tiburón. El color rojizo proviene por lo común de sus componentes férricos. Se ha encontrado que estos depósitos son muy extensos y cubren hasta el 60 % de la superficie marina.

- Arcilla ferruginosa: contiene en su composición diferentes cantidades y tipos de óxido de hierro y puede ser de color amarillo, ocre e inclusive negra (tierras de Siena) debido al óxido de hierro hidratado; mientras que las arcillas rojas contienen, por lo general, un óxido conocido como hematita. Esta particularidad de las arcillas explica por qué en algunas regiones el barro es negro o rojizo, lo cual incide en los colores de la cerámica que se fabrica a partir de estos materiales. Es bueno recordar en este punto al barro negro de Oaxaca, tan distinto de la cerámica ocre o rojiza de la zona central del valle de México.
- Arcilla magra y arcilla grasa: estos materiales contienen cierto grado de impurezas, lo que afecta sus propiedades plásticas; es decir, a mayor contenido de impurezas se obtiene una pasta menos plástica (arcilla magra) al amasarla con agua.
- Arcilla de batán: llamadas también tierra de batán, debido al uso que tuvieron en el batanado de las telas y de las fibras vegetales como el algodón. Este proceso consistía en limpiar las fibras formadas en la máquina (batán) eliminando la materia grasa mediante la adición de arcilla, por lo general del tipo esmectita, cuyo nombre proviene del griego smektikós: que limpia.
- Arcilla marga: es un material impermeable y frágil con un contenido de caliza de entre 20 % y 60 %, aproximadamente.
- Arcillas de esquisto o pizarra: las constituyen formaciones antiguas que se presentan en forma de estratos o de plaquetas paralelas que se han dividido por la presión del suelo.

- Arcilla atapulgita: también conocida como tierra de Florida o floridrín, aunque algunas veces se la llamó tierra de Fuller. El último apelativo se empleó también para denominar a las sepiolitas. Actualmente, la atapulgita es llamada paligorskita.
- Arcilla bentonita: nombre comercial de las arcillas tipo montmorillonita, las que, tratadas con compuestos químicos aminados (p. ej., dodecilamonio) se vuelven repelentes al agua (hidrofóbicas), aunque mantienen gran afinidad por las especies orgánicas, en particular, los aceites, las grasas y los colorantes o pigmentos naturales.

3.3. Clasificación de las arcillas según su origen

Las arcillas, como su definición, varían según el campo de aplicación o estudio. Se presenta la clasificación de las arcillas según su origen:

Tabla IX. **Clasificación de arcillas según su origen**

Clasificación de arcillas según su origen					
Arcillas	Materia residual	Sin movimiento durante la formación	Productos de meteorización ordinaria	De rocas cristalinas	Arcilla residual impura Caolín primario
				De rocas sedimentarias	Arcilla caolinítica
			Productos de meteorización ordinaria más acción química	De rocas cristalinas	Bauxita
				De rocas sedimentarias	Bauxita diásporo

Continuación de la tabla IX.

Arcillas	Materia transportada	Depositado en aguas sin o poca acción de corrientes, en lagos, mares, pantanos, etc.	Productos de meteorización ordinaria	Lutita argilacia Limo argilaceo
			Productos de meteorización ordinaria más intensa acción química adicional	Caolín sedimentario Arcilla bola Algunas bauxitas Arcillas bituminosas Diásporo
		Depositado por agua de suave movimiento, arroyos, estuarios, etc.	Productos de trituración algo meteorizados	Lutita silicea Limo siliceo
		Depositado por acción glacial	Productos de abrasión más ligera meteorizados	Arcilla glacial o till
		Depositado por vientos	Productos de abrasión más ligera meteorizados	Loess

Fuente: ZEA OSORIO, Norma Lissette. *Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales*. p. 19.

3.3.1. Clasificación de las arcillas según su empleo en la construcción

Los minerales arcillosos que tienen importancia en la fabricación de materiales para la construcción son tres: caolinita, montmorillonita y illita, todos con estructura hojosa; no se encuentran puros, sino mezclados, aunque predomine un material determinado.

- Las arcillas caillínicas tienen gran porcentaje de alúmina y elevado punto de fusión con propiedades refractarias notables después de la cocción, por lo que se emplean para la fabricación de loza.

- Las ílticas son las más utilizadas por ser las más comunes, entre estas se encuentran las arcillas muchacheas, son abundantes y empleadas en la fabricación de ladrillos.
- La montmorillonita es poco empleada.

Según el proceso de coción y el tipo de componentes, los materiales de arcillas se clasifican en: ladrillos, refractarios, gres porcelanas y azulejos.

Cada uno de estos tipos tienen características especiales y son objeto de aplicaciones diversas en la construcción; se pueden emplear como elementos de separación, decoración y múltiples usos más.

3.3.1.1. Ladrillos

Son materiales de arcilla cocida, empleados en la construcción y para revestimientos decorativos. Los ladrillos tienen un costo bastante bajo, resisten la humedad y el calor. Su color varia dependiendo de las arcillas empleadas en la mezcla y por el contenido de ciertos minerales compuestos de hierro o formas, dependiendo el uso al que será destinado.

3.3.1.2. Refractarios

Son materiales capaces de resistir temperaturas superiores a 1 500 grados Celcius, sin resblandecerse ni sufrir cambios de volúmenes apreciables; deben resistir la abrasión en caliente y tener una conductividad térmica baja.

Clasificación de las arcillas refractarias:

- Clasificación primaria, conforme a carácter físico
 - Arcillas refractarias plásticas.
 - Arcillas refractarias semipedernal: estas arcillas análogas a las anteriores, pero desarrollan plasticidad solamente después de trabajadas y son más refractarias.
 - Arcillas refractarias de pedernal: estas arcillas son duras, se rompen con fractura concoidal y son auténticamente refractarias.
 - Arcillas refractarias de pedernal modulares: los yacimientos de estas arcillas son escasos. Son las más refractarias.

- Clasificación de acuerdo con la fusibilidad
 - Arcillas altamente refractarias
 - Arcillas refractarias
 - Arcillas semirefractarias
 - Arcillas de baja refractariedad

3.3.1.3. Gres

Es un material cerámico cuya masa es compacta y no porosa, se obtiene por la mezcla de arcillas seleccionadas, capaces de vitrificar a bajas temperaturas, obteniéndose una gran impermeabilidad, dureza y durabilidad.

3.3.1.4. Porcelana

La porcelana tiene como materias básicas, el caolín 50 %, feldespato 30 % y el cuarzo 20 %; todas deben ser de primera calidad y estar molida finísimamente. Sufre una primera cocción a una temperatura de 1 100 a 1 200 grados Celsius, seguidamente del esmaltado una segunda cocción a una temperatura que puede llegar a los 1 500 grados Celsius. Solo puede llamarse porcelanas a los productos que han sufrido estas dos cocciones.

3.3.1.5. Azulejo

Es una pieza cuya mezcla es de poco espesor, recubierta por una capa de esmalte que le proporciona impermeabilidad y resistencia al desgaste. La parte estructural del azulejo recibe el nombre de galleta y está formada por arcillas seleccionadas, plásticas, ricas en cuarzo y caolín y en hierro.

3.4. Ladrillo

Es la unidad fabricada básicamente de barro o arcilla, con o sin adición de otros materiales, moldeada o extruida en forma rectangular, con o sin agujeros, cavidades, perforaciones y endurecidas por medio de fuego hasta fusión incipiente, se usa en la construcción de muros, paredes, pilares y otros.

3.4.1. Historia

El ladrillo es el material de construcción más antiguo, fabricado por el hombre. En los primeros tiempos se comenzó elaborándolo en su forma cruda que es el adobe. Su difusión se debió a que el hombre le dio tamaño que se

acomodaba a su mano y para hacerlo recurrió a materias primas accesibles, que se pueden encontrar casi en cualquier parte.

Una de las necesidades primarias que tuvo el hombre desde sus inicios y conforme a su desarrollo y evolución fue la de contar con recintos cerrados que lo protegieran de las inclemencias del medio que lo rodeaba.

Los ladrillos son utilizados como elemento para la construcción desde hace unos 11 000 años. Los primeros en utilizarlos fueron los agricultores del período neolítico pre cerámico del Levante mediterráneo hacia 9 500 años antes de Cristo, ya que en las áreas donde levantaron sus ciudades apenas existía la madera y la piedra. Los sumerios y babilonios secaban sus ladrillos al sol; sin embargo, para reforzar sus muros y murallas, en las partes externas, los recubrían con ladrillos cocidos, por ser estos más resistentes. En ocasiones también los cubrían con esmaltes para conseguir efectos decorativos. Las dimensiones fueron cambiando en el tiempo.

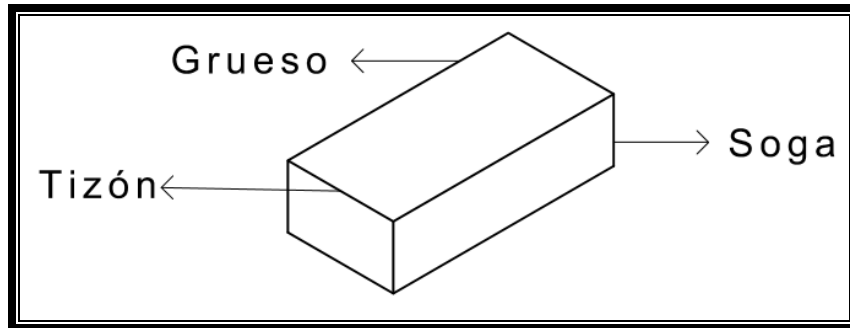
Es así como durante la evolución humana, la técnica de fabricación del ladrillo también sufrió cambios, desde la producción de adobes, secados al sol, y posteriormente del ladrillo sometido a la cocción.

3.4.2. Partes de un ladrillo

Las aristas de un ladrillo reciben la siguiente denominación:

- Soga: arista mayor
- Tizón: arista media
- Grueso: arista menor

Figura 7. **Denominación de las aristas del ladrillo**

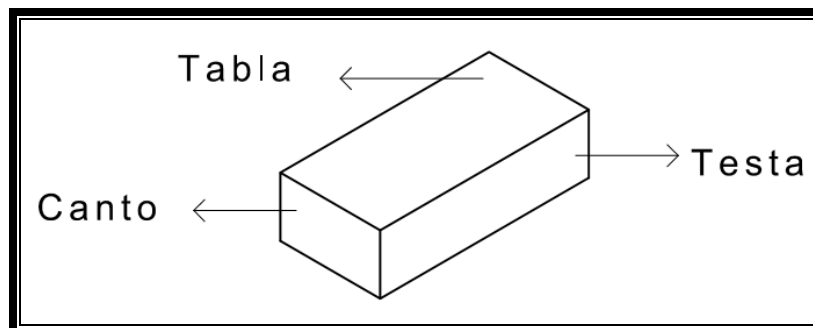


Fuente: BOROR CHAMALÉ, Luis Arturo. *Uso de escoria de mata de níquel en la fabricación de ladrillo tayuyo en forma artesanal*. p. 47.

Las caras de un ladrillo reciben la siguiente denominación:

- Tabla: cara mayor (soga – tizón)
- Canto: cara media (soga – grueso)
- Testa: cara menor (tizón – grueso)

Figura 8. **Denominación de las caras del ladrillo**



Fuente: BOROR CHAMALÉ, Luis Arturo. *Uso de escoria de mata de níquel en la fabricación de ladrillo tayuyo en forma artesanal*. p. 46.

3.4.3. Clases de ladrillo

Las clases de ladrillos se clasificarán de acuerdo a su uso, en tipos, grados y clases, según se indica en la tabla X.

Tabla X. **Clasificación, designación y usos de los ladrillos de barro cocido**

Tipos	Grados	Clases	Uso recomendado
Tipo MQ: ladrillos hechos a máquina	1	Clase M, o macizo Clase P, o perforado	Muros con carga elevada, expuestos en sus dos caras
	2	Clase M, o macizo Clase P, o perforado Clase T, o tubular	Muros con carga moderada, expuestas en una cara
	3	Clase M, o macizo Clase P, o perforado Clase T, o tubular	Muros con carga baja, expuestas en una cara
Tipo MA: ladrillos hechos a mano	1	Clase M, o macizo	Muros con carga elevada, expuestos en sus dos caras
	2	Clase M, o macizo	Muros con carga moderada, expuestas en una cara
	3	Clase M, o macizo	Muros con carga baja, expuestas en una cara

Fuente: Coguanor. *Norma Coguanor 41022. Ladrillos de barro cocido. Especificaciones.* p. 2.

Para propósitos de la *Norma Coguanor NGO 41022*, la clasificación de los muros se realiza de la siguiente manera:

- Muros con carga elevada: significa que la carga distribuida sobre el muro, con valores comprendidos entre más de 2,4 y 3,6 MPa (348 y 522 psi).

- Muros con carga moderada: significa que la carga distribuida sobre el muro, con valores comprendidos entre más de 1,35 y 2,4 MPa (195 y 348 psi).
- Muros con carga baja: significa que la carga distribuida sobre el muro, con valores comprendidos entre más de 1,05 y 1,35 MPa (152 y 195 psi).

Tabla XI. **Dimensiones nominales de los ladrillos de barro cocido, cualquiera sea su tipo, grado o clase.**

Largo (soga) cm	Ancho (tizón) cm	Espesor (grueso) cm
23	11	6,5
23	14	6,5
29	11	6,5
29	14	6,5
29	11	9
29	14	9
29	14	10
23	11	10
29	14	14
23	23	11

Fuente: Coguanor. *Norma Coguanor 41022. Ladrillos de barro cocido. Especificaciones.* p. 2.

La designación de los ladrillos se hace por su nombre, seguido de sus medidas principales en centímetros, el tipo, el grado y la clase.

3.4.3.1. Ladrillo macizo

Son ladrillos hechos a máquina o a mano y compactos en toda su masa, sin ninguna perforación.

3.4.3.2. Ladrillo perforado

Son ladrillos hechos a máquina, con perforaciones perpendiculares a las caras que soportan la carga, y cuya área neta en esas caras sea mayor al 75 % de área bruta.

3.4.3.3. Ladrillos tubulares

Son ladrillos hechos a máquina, con perforaciones perpendiculares a las caras que soportan la carga y cuya área neta en esas caras esté entre 60 % y 75 % del área bruta.

3.4.3.4. Ladrillos especiales

Además de los tipos fundamentales mencionados anteriormente, se frabrican otros tipos de ladrillos con formas y dimensiones especiales. Cuando tienen forma geométrica distinta al ladrillo macizo, perforado o tubular recibe nombre de ladrillo aplantillado. Cuando son de poco espesor, reciben el nombre de rasillas y baldosas.

3.4.4. Proceso de fabricación del ladrillo

El proceso de fabricación de los ladrillos consta de varias fases fundamentales, según sea su proceso de fabricación, artesanal o industrial.

3.4.4.1. Proceso de fabricación artesanal

Ladrillo fabricado con procedimientos predominantemente manuales. El amasado o moldeado es hecho a mano. El ladrillo producido artesanalmente se

caracteriza por variaciones de unidad a unidad. El proceso de fabricación está conformado de las siguientes fases:

- Extracción del material

La extracción de la arcilla es la primera fase del proceso de fabricación. Es extraída de los depósitos de arcilla, que se encuentran al pie de colinas o en tierras agrícolas cercanas a ríos, haciendo uso de piochas, azadón o pala; transportada en camión o pick up a las fábricas artesanales. La excavación manual en plantas de pequeña y mediana escala generalmente se realiza a una profundidad menor de dos metros. Los criterios para seleccionar una localización adecuada son la calidad de la arcilla, disponibilidad a nivel superficial y la cercanía de una vía transitable, ya que estos factores inciden en el costo del ladrillo como producto final.

- Tratamiento del material

Antes de incorporar la arcilla al ciclo de producción hay que someterla a ciertos tratamientos de trituración, homogeneización y reposo al aire libre, con la finalidad de obtener una adecuada consistencia, secado tangente y uniformidad de las características físicas y químicas deseadas.

El reposo a la intemperie tiene la finalidad de facilitar el desmenuzamiento de los terrones y la disolución de los nódulos para impedir las aglomeraciones de partículas arcillosas. La exposición a la acción atmosférica (aire, lluvia, sol, etc.) favorece además la descomposición de la materia orgánica que pueda estar presente y permite la purificación química y

biológica del material. De esta manera se obtiene un material completamente inerte y poco dado a posteriores transformaciones mecánicas o químicas.

- Amasado

Es la parte del proceso donde se coloca la materia prima (arcilla y arena limosa) humedecida en una superficie espaciosa al aire libre, donde el artesano la somete a un amasado utilizando los pies y manos, con el fin de eliminar cuerpos extraños que son detectados y dotar de flexibilidad y homogeneidad a la mezcla.

- Reposado o madurado

El propósito de esta fase del proceso, es que la mezcla pierda agua de manera natural y presente mejor trabajabilidad, para lograr esto se deja la mezcla en reposo cubriéndola con un plástico en un período aproximado de 12 a 15 horas.

- Moldeado

Los artesanos primero colocan una fina capa de arena sobre la superficie del suelo para evitar que el ladrillo se pegue, seguido toman un volumen de la mezcla y la vierten en un molde (generalmente de aluminio para mayor duración) paralelepípedo con cuatro espacios para producir igual cantidad de ladrillos en cada tanda, luego precionan con el puño la mezcla en el molde para eliminar los vacíos y eliminan con la mano o una pieza de madera la mezcla sobrante y se levanta el molde, teniendo cuidado de no deshacer los ladrillos fabricados.

- Secado

Una vez que el ladrillo ha sido moldeado, el agua adicionada para alcanzar la plasticidad apropiada, debe ser removida completamente antes del proceso de cocción, esto debe hacerse en un lugar fresco y aireado, alejado de las fuentes de calor y las corrientes de aire. El tiempo de secado es variado, puede tomar de una a tres semanas según las condiciones del clima.

- Cocción

Constituye la última fase del proceso de fabricación de ladrillos, mediante la cual se somete al fuego la arcilla moldeada y seca a una temperatura que oscila entre los 900 y 1 000 grados Celsius, para producir una sinterización intensa de la arcilla, y una vitrificación adecuada. La cocción se realiza en hornos discontinuos, estos estarán fríos cuando se coloquen los productos a cocer, a continuación se eleva la temperatura progresivamente hasta obtener el punto óptimo previsto para cada pasta, y luego se va enfriando lentamente.

3.4.4.2. Proceso de fabricación industrial

En este proceso se cuenta con el equipo necesario y adecuado para la producción de mayores cantidades de ladrillos con un estricto control de calidad en todas las fases de producción.

- Extracción del material

Los métodos de explotación de las materias primas dependen de la naturaleza de los yacimientos, así como de la capacidad de producción de la planta.

- Tratamiento del material

La calidad de los productos está directamente relacionada al grado de preparación de las materias primas, por lo que esta debe efectuarse de tal forma que se obtenga una mezcla suficientemente homogénea. Primero, los componentes indeseables (raíces, piedras, etc.) en la arcilla deben ser removidos; seguidamente, se tritura, se muele y se adiciona el agua requerida que previamente mediante ensayos se ha determinado. Cuando la plasticidad es muy alta esta puede modificarse adicionando otra arcilla menos plástica o arena, de acuerdo a las evaluaciones tecnológicas realizadas en los laboratorios. Cualquiera que sea la mezcla debe ser uniforme y homogénea de tal forma que se logre una buena trabajabilidad que facilite el moldeo de los productos.

- Modelado

El moldeo es el nombre dado al proceso formado de la pasta mediante la aplicación de presión, con lo cual se obtienen productos de diferentes formas.

El moldeo en forma mecanizada puede efectuarse por cualquiera de los siguientes métodos:

- Extrusión en húmedo
- Prensado en semiseco
- Prensado en seco

El método más empleado para niveles intermedios de producción es el de extrusión en húmedo, mediante el cual se elaboran productos de diferentes formas y de una alta calidad.

- Secado

Una vez que el artículo ha sido formado, el agua adicionada para alcanzar la plasticidad apropiada debe ser removida completamente antes del proceso de cocción. Para realizar esta etapa del proceso, existe gran variedad de secaderos y la utilización de uno dependerá del análisis de factores como: combustible, tiempo, costos, etc., que vienen a definir su eficiencia.

- Cocción

El objetivo fundamental al quemar un artículo cerámico es obtener un producto duro y resistente; independientemente, del tipo de horno que se emplee, se deben cumplir las siguientes etapas:

- Secado
- Pre calentamiento
- Fuego máximo
- Acabado
- Enfriamiento

La etapa de secado es el período durante el cual los artículos se calientan a una temperatura cercana a los 300 hasta los 800 grados Celsius y en el intervalo se presentan cambios físicos y químicos. Es en este rango donde la arcilla se descompone parcialmente y se libera el agua de constitución.

La etapa de fuego máximo se inicia a aquella temperatura a la cual el horno se puede calentar tan rápido como sea posible, sin ningún riesgo de daño

a los productos. Se inicia aproximadamente a los 800 grados Celsius y va hasta la temperatura máxima de cocción predeterminada mediante ensayos tecnológicos.

La etapa de acabado es aquella durante la cual se mantiene la temperatura máxima de control para que se realicen las reacciones y se den por terminados algunos cambios internos en el cuerpo del producto que permitan alcanzar ciertas propiedades deseadas. En esta fase, la temperatura permanece constante durante un intervalo de tiempo definido y que es específico para cada producto y aún para cada pasta.

El enfriamiento se inicia desde el momento en que se suspende el suministro de combustible, por lo cual la temperatura comienza a descender hasta un valor al cual los productos pueden retirarse del horno.

Esta etapa debe realizarse, así como la elevación de temperatura, de acuerdo a una curva de cocción que se debe determinar previamente y que igualmente es característica para cada pasta y tipo de producto.

Referente a los hornos donde se efectúa el quemado de los artículos, existen diferentes clases y variedades que bien pueden clasificarse así:

- Hornos intermitentes
 - Tiraje vertical
 - Tiraje horizontal
 - Tiraje invertido o de llama invertida

- Hornos continuos o de carga fija y fuego móvil

- Hoffmann
 - Zig – Zag
 - Galerías paralelas
- Hornos continuos de carga móvil y fuego fijo

3.4.5. Mampostería del ladrillo de barro cocido

Está conformada por muros construidos con piezas prismáticas macizas o con celdas, unidas con mortero aglutinante.

Las unidades de mampostería están hechas básicamente de barro o arcilla, pudiéndoseles adicionar otros materiales; están moldeados o extruidos con forma rectangular y endurecidos a altas temperaturas hasta su fusión incipiente; los ladrillos pueden ser elaborados de diferentes maneras.

Se consideran ladrillos fuera de norma ladrillos con un área neta menor de 60 % con respecto al área bruta.

3.4.5.1. Características físicas

Se hace notar que las características físicas del producto final están en función básicamente de los siguientes factores.

- Tipo y calidad de las materias primas (arcillas, esquistos, pizarras)
- Método de fabricación

- Grado de cocción

- Los ladrillos serán de forma rectangular, caras planas, aristas rectas y ángulos exteriores a escuadra.

- El espesor de las paredes del ladrillo, medido en los puntos más delgados deberá ser:
 - Para ladrillos perforados, no menor de 19 mm de cualquier borde del ladrillo.

 - Para ladrillos tubulares, no menor de 15 mm de cualquier borde del ladrillo.

- El espesor de los tabiques, medido en los puntos más delgados, deberá ser.
 - Para ladrillos perforados, no menor de 6 mm.

 - Para ladrillos tubulares, no menor de 13 mm entre agujeros circulares, ni menor de 9 mm entre un agujero circular y un agujero rectangular.

Los requisitos de forma y dimensiones se comprobarán de acuerdo con la Norma Coguanor NGO 41 024 h1.

Los ladrillos producirán un sonido claro de timbre metálico al ser golpeados con un objeto de metal estando suspendidos en el aire. Un sonido

opaco o apagado podrá significar defectos en la consistencia del ladrillo que puedan afectar su resistencia a la compresión, adherencia o durabilidad.

3.4.5.2. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas que se llevan a cabo en la mampostería del ladrillo de barro cocido son:

- Resistencia a la compresión: que se determinará de acuerdo a la Norma Coguanor NGO 41 024 h2.
- Adherencia: la adherencia mínima de los ladrillos se determinará de acuerdo con la Norma Coguanor NGO 41 024 h3.
- Absorción de agua: la absorción de agua máxima de los ladrillos será determinada de acuerdo a la Norma Coguanor NGO 41 024 h4.
- Razón inicial de absorción de los ladrillos: se determinará de acuerdo a la Norma Coguanor NGO 41 024 h5. Si los ladrillos tienen una succión mayor que $0,15 \text{ g / cm}^2\text{-min}$ no se pueden obtener buenas juntas entre el mortero y el ladrillo, a menos que se humedezcan por inmersión en agua antes de ser colocados, y de preferencia con 3 a 24 horas de anticipación, para que el agua se distribuya bien por todo el ladrillo.
- Resistencia a la flexión (módulo de ruptura): se determina de acuerdo a la Norma ASTM C 674 – 88, se considera esta norma para ensayar ladrillos de barro cocido, ya que para la norma Coguanor no es considerado.

En la tabla XII se presentan los requisitos que tienen que cumplir los ladrillos de barro cocido para ser aceptados en la construcción de acuerdo al Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas (FHA).

Tabla XII. **Requisitos para la elaboración del ladrillo de barro cocido tayuyo, perforado y tubular, Instituto de Fomento de Hipotecas aseguradas, (FHA).**

Tipo	Apariencia	Tolerancia en dimensiones	% de absorción a las 24 h. (b)	Succión gr/cm ² -min	Resistencia (c)		Usos
					Flexión	Compresión	
					kg/cm ²	kg/cm ²	
A	(a)	Máx. 4 mm.	25	0 a 0.5	14 o mayor	84 o mayor	Paredes de carga
B	(a)	Máx. 5 mm.	25	0 a 0.5	11 o mayor	56 o mayor	Muros sin carga
C	(a)	Máx. 5 mm.	25	0 a 0.5	9 o mayor	42 o mayor	

Fuente: FHA. *Normas de planificación y construcción para casos proyectados*. p. 102.

Donde:

- (a): ladrillo limpio, compacto, libre de rajaduras, reventaduras, combas, aristas, caras a escuadra, dimensiones parejas, color uniforme. Libre de partículas mayores de 0,32 cm, especialmente carbonato de calcio.
- (b): este requisito no servirá de base para rechazar un ladrillo que en otros aspectos sea tolerable; sin embargo, se prefieren ladrillos de menor absorción.

- (c): siempre se va a preferir ladrillo de mayor resistencia, entre varios que cumplan con los requisitos de la tabla XII.

Tabla XIII. Requisitos para la elaboración del ladrillo de barro cocido tayuyo, perforado y tubular, Norma Coguanor 41022

Requisito	Tipo MQ, ladrillos hechos a máquina					Tipo MA, ladrillos hechos a mano		
	Clase M, o macizo Clase P, o perforado			Clase T o tubular		Clase M o macizo		
	G1	G2	G3	G2	G3	G1	G2	G3
Resistencia a la compresión (Mpa)								
- Promedio de 5 unidades	12	8	4,5	8	4.5	12	8	4,5
- Individual	9	6	3,5	6	3.5	9	6	3,5
Adherencia mínima (Mpa)								
-Promedio de 3 especímenes	0.4	0.4	0.25	0.4	0.25	0.4	0.4	0.25
- Individual	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2
Tolerancia individual máx. en mm								
- En las dimensiones	± 4	± 5	± 5	± 5	± 5	± 5	± 5	± 5
- En la planicidad	4	4	4	4	4	4	4	4
- En la rectitud de las aristas	5	5	5	5	5	5	5	5
- En la desviación del ángulo recto	5	5	5	5	5	5	5	5
Razón inicial de absorción (succión) gr/cm ² -min, máximo Para cada espécimen individual	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
% máx. de absorción de agua En 24 horas								
- Promedio de 5 unidades	12	14	18	14	18	14	16	20
- Individual	14	16	20	16	20	16	18	24

Fuente: Coguanor. *Norma Coguanor 41022. Ladrillos de barro cocido. Especificaciones.* p. 5.

3.5. Ensayos de laboratorio

Determinar las propiedades mecánicas de los ladrillos fabricados; es de suma importancia para obtener un cuadro comparativo de los resultados obtenidos en cada ensayo y así determinar la proporción ideal para fabricar ladrillos de barro cocido estabilizados con arena cuarzo – feldespática.

3.5.1. Determinación de la forma y dimensiones (NGO 41 024 h1)

El objeto de la presente norma consiste en establecer los métodos para determinar las dimensiones reales y los requisitos de forma de los ladrillos cerámicos.

- Comprobación de la forma: consiste en evidenciar la planicidad de las caras, la rectitud de las aristas y la desviación de los ángulos exteriores con respecto al ángulo recto.
- Comprobación de las dimensiones: consiste en efectuar la medición individual de las caras para determinar el largo, el ancho, y el espesor real de los ladrillos, mediante un promedio aritmético en cada una de las medidas.
- Nota: las características físicas y funcionales de los elementos inspeccionados no justifican un grado de precisión de las dimensiones mayor que, la aproximación a 1 mm.
- Procedimiento: se utilizan 10 ladrillos enteros y secos tal y como se reciben, los cuales deben ser representativos del lote y ser muestreados de acuerdo con la Norma NGO 41 0 23.

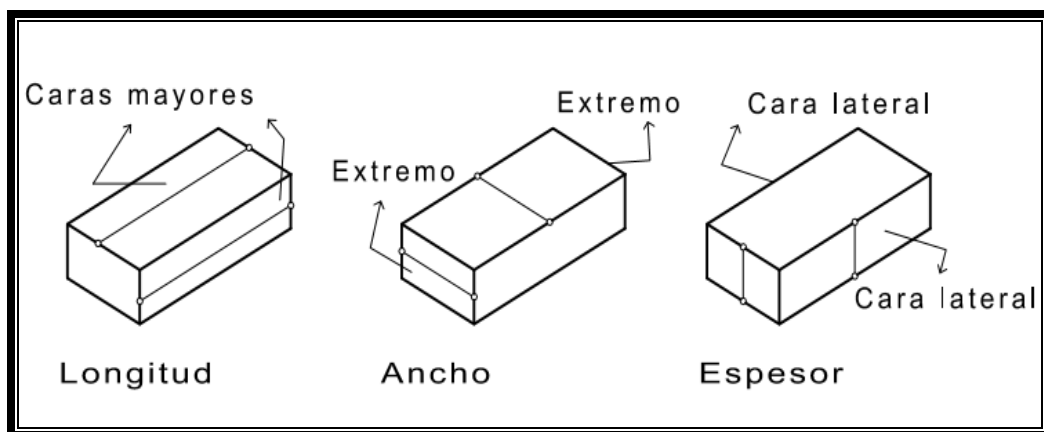
3.5.1.1. Determinación de las dimensiones

Se mide la longitud de las caras mayores y de las caras laterales en los puntos medios de cada arista; se anotan los 4 valores, redondeados al milímetro más cercano. El promedio de estos valores se anota como el largo del ladrillo (figura 9).

De igual manera, se mide la longitud de los 2 extremos y el ancho de las 2 caras mayores del ladrillo en el punto medio de cada arista; se anotan los valores de las lecturas redondeadas al milímetro más cercano. El promedio de estos valores se anota como el ancho del ladrillo (figura 9).

El espesor se mide en los puntos medios de las aristas de las caras laterales y los extremos y se anotan los 4 valores de las lecturas redondeadas al milímetro más cercano. El promedio de estos valores se anota como el espesor del ladrillo (figura 9).

Figura 9. Puntos de medición de las dimensiones



Fuente: Coguanor. *Norma Coguanor 41 024 h1. Ladrillos de barro cocido, determinación de la forma y dimensiones.* p. 3.

3.5.1.2 Comprobación de la forma

- Planicidad: cuando la combadura de la cara es cóncava, se coloca la regla metálica diagonalmente o a lo largo de la superficie a ser medida y se selecciona el punto que se aparte más de la recta. Se introduce entonces la cuña metálica y se mide la combadura cóncava redondeada al milímetro más cercano. Cuando la combadura es convexa, se coloca la superficie convexa del ladrillo sobre la superficie plana y con las esquinas aproximadamente equidistantes del plano. Se toma una medida con la cuña metálica en cada una de las esquinas del ladrillo y el promedio de las 4 medidas se anota como la combadura convexa.
- Rectitud de las aristas: Si la desviación de las aristas es cóncava, se coloca la regla metálica sobre la arista y se introduce la cuña metálica en el punto de mayor desviación. Si la arista es convexa se coloca la regla apoyada sobre el punto aparentemente más alto de la arista, tratando de que el borde inferior de la regla quede en ambos extremos, a distancias aproximadamente a las caras del ladrillo. Se introduce entonces la cuña metálica en los extremos y el promedio de ambas medidas se anota como la desviación real de la arista respecto a la línea recta.
- Desviación del ángulo recto de los ángulos que forman entre sí las caras del ladrillo: se apoya un cateto de la escuadra sobre el eje mayor de cada cara del ladrillo. Se introduce entonces la cuna metálica en el punto que presente mayor desviación y se registra esta redondeada al milímetro más cercano como la desviación del ángulo recto.

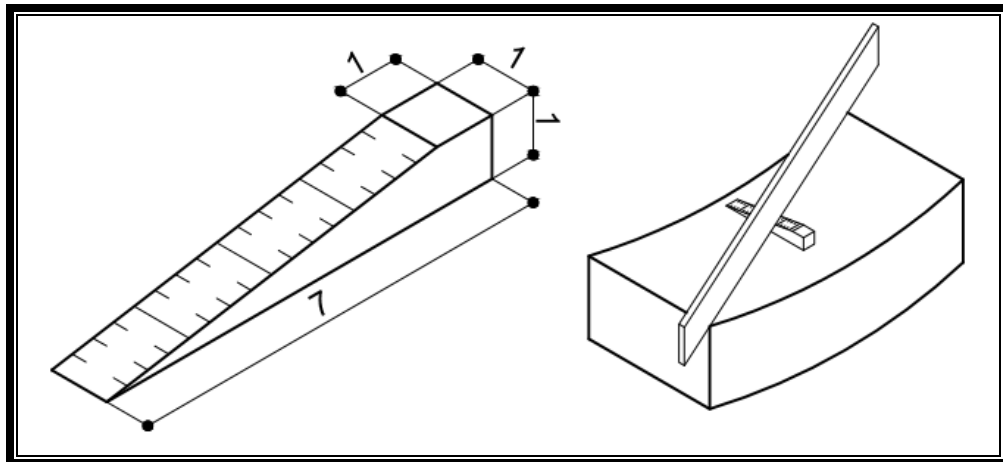
Nota: las mediciones indicadas anteriormente se realizan en cada uno de los 10 ladrillos.

En el informe de los ensayos deben indicarse los métodos usados y los valores obtenidos en cada ensayo para cada uno de los 10 especímenes, así como los promedios aritméticos.

En este caso se tomaron en consideración las siguientes normas:

- *ASTM C67-73 (American National Standard A 82.1-1974) standard methods of sampling and testign bricks and structural clay tile.*
- *Norma Chilena NCh 167.of54. Ensayos de ladrillos arcillosos.*

Figura 10. **Comprobación de la forma de ladrillos**



Fuente: BLANCO, Fernando. *Propiedades y ensayos*. Uniovi.es/usr/fblanco/lección9. Consulta: 12 de febrero de 2018.

3.5.2. Determinación de la resistencia a la compresión (NGO 41 024 h2)

Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar la resistencia a la compresión de los ladrillos de barro cocido.

Los métodos que establece la presente norma se aplican a ladrillos de barro cocido, macizo, perforado y tubular que serán empleados en la construcción.

- Especímenes de ensayo: son trozos de ladrillos secados al horno, que tienen un largo aproximadamente igual al ancho con una tolerancia de ± 25 mm, y cuya altura corresponde al espesor del ladrillo.
- Recubrimiento o nivelación de especímenes: es el proceso por medio del cual las dos caras de los especímenes de ensayo que van a soportar la carga; se recubren con una capa de material que fragüe sobre ellas y que permita lograr caras paralelas.
- Aparatos: se utiliza una máquina para producir y medir un esfuerzo de compresión adecuado.

3.5.2.1. Preparación y conservación de las muestras

- Secado y enfriamiento de los ladrillos

Los especímenes se secan a una temperatura de 110 °C a 115 °C, durante un tiempo menor a 24 horas; seguidamente, se enfrían a una temperatura entre 16 °C y 32 °C hasta que no se sientan calientes al tacto, se deben preparar 5 ladrillos.

Seguidamente, se cortan los ladrillos de manera que no se produzcan astilladuras o fracturas, en trozos cuyas medidas deben tener un largo aproximadamente igual al ancho con una tolerancia de ± 25 mm; los extremos deben ser aproximadamente planos y paralelos. Además, si la superficie que

soportará la compresión durante el ensayo tiene hendiduras, se debe llenar con un mortero compuesto por una parte en masa de cemento de fraguado rápido que cumpla con los requisitos del tipo III según la Norma Coguanor 41 005, y 2 partes en masa de arena.

Seguidamente, los especímenes de ensayo son nivelados con un recubrimiento de azufre o un recubrimiento de yeso en las dos superficies opuestas que van a soportar la carga, (esto con el fin de que la carga sea uniforme sobre el espécimen) el espesor de las dos cubiertas debe ser aproximadamente el mismo debe ser 6 mm.

- Procedimiento
 - Se aplica la carga al espécimen, hasta la mitad de la máxima carga esperada, a cualquier velocidad conveniente.
 - Se ajustan los controles de la máquina de manera que la carga restante se aplique a una velocidad uniforme en no menos de 1 minuto, pero no más de 2 minutos.
- Expresión de los resultados

La resistencia se expresa en megapascales (Mpa) que se obtienen de la siguiente ecuación:

$$R = F / A_b$$

Donde:

- R = resistencia a la compresión del espécimen, en Mpa.

- F = carga máxima indicada por la máquina de ensayo, en Newton.
- Ab = promedio de las áreas brutas de las superficies de carga superior e inferior, en milímetros cuadrados.

En el informe de los ensayos deben indicarse los métodos usados y los valores obtenidos en cada ensayo para cada uno de los 5 especímenes, así como sus promedios aritméticos.

En este caso se tomo en consideración la siguiente norma:

ASTM C 67-73 (American National Standard A 82.1-1974) Standard Methods of Sampling and Testing Bricks and Structural Clay Tile.

3.5.3. Determinación de la absorción de agua (NGO 41 024 h4)

La presente norma tiene como objeto establecer el método para determinar la absorción de agua de los ladrillos de barro cocido, se aplica a ladrillos de barro cocido a ser empleados con la Norma COGUANOR 41 022, en lo que se refiere a la absorción de agua.

- Principio del método: consiste en sumergir los ladrillos en agua pura, durante 24 horas, los cuales han sido previamente secados.
- Equipo
 - Estufa con corriente de aire, regulada entre 110 y 115 °C.

- Balanza: la balanza que se utilizara debe contar con una capacidad no menor de 2 000 .g y con una aproximación de $\pm 0,5$ g.
- Preparación y conservación de las muestras
 - Especímenes de ensayo: cinco ladrillos previamente secados y enfriados se cortan en dos partes iguales, a lo ancho de las caras mayores. Cada mitad constituye un espécimen de ensayo y la otra mitad se guarda como referencia.
- Procedimiento
 - Cada espécimen preparado, se pesa y anota el dato.
 - Se sumergen en agua limpia (desmineralizada, destilada o de lluvia), con una temperatura entre 15 °C y 30 °C, durante 24 horas.
 - El espécimen se retira del agua y se elimina el exceso de agua de la superficie con un paño húmedo y se pesa.
- Expresión de los resultados

La absorción de cada espécimen se expresa en kilogramos de agua absorbida por cada 100 kilogramos de ladrillo completamente seco, y se calcula como sigue.

$$\text{Absorción, en porcentaje (m/m)} = \frac{m_b - m_s}{m_s} \times 100$$

Donde:

- m_s = masa del espécimen completamente seco, en kilogramos.
- m_h . = masa del espécimen completamente húmedo, en kilogramos.

La masa de cada espécimen se toma con una aproximación de $\pm 0,5$ g y el porcentaje se calcula y anota con una aproximación de ± 1 %.

En el informe de los ensayos deben indicarse los métodos usados y los valores obtenidos en cada ensayo para cada uno de los 3 especímenes así como sus promedios aritméticos.

En este caso se tomo en consideración la siguiente norma de la American Society for Testing and Materials: *ASTM C 67-80a standard methods of sampling and testing brick and structural clay tile*, y de la *american state highway and transportation officials standard AASHTO No. T 32 – 70* con las cuales coincide.

3.5.4. Determinación de la razón inicial de absorción (succión), Norma Coguanor NGO 41 024 h5

La presente norma tiene como objeto establecer el método para determinar la razón inicial de absorción de agua en los ladrillos de barro cocido; aplica a ladrillos de barro cocido, a ser empleados en la construcción para verificar si cumplen con las especificaciones de la Norma Coguanor 41 022, en lo que se refiere a la razón inicial de absorción.

- Principio del método:

Consiste en sumergir dentro de agua una porción del ladrillo, durante un tiempo fijo, para determinar la cantidad de agua que se absorbe por capilaridad.

- Equipo
 - Bandejas: recipientes a prueba de fugas de agua, que tienen una profundidad interna no menor de 13 mm y un ancho y largo, de manera que el área de la superficie de agua sea aproximadamente de 2 000 cm². El fondo debe ser plano y horizontal, de manera que al menos un área de 200 mm de largo por 150 mm de ancho este a nivel cuando se pruebe con un nivel de burbuja.
 - Soportes para ladrillos: se utilizan dos barras de metal resistente a la corrosión, entre 130 mm y 150 mm de largo, con una sección transversal triangular, de manera que su espesor sea aproximadamente 6 mm y no debe diferir en más de 0.03 mm de la otra barra.
 - Balanza: la balanza que se utilizará debe contar con una capacidad mínima de 3 000 g y contar con una aproximación de ± 0.5 g.
 - Cuarto de temperatura constante: debe ser un cuarto cerrado, libre de corrientes de aire y mantenido a una temperatura de $21 \pm 1,4$ °C.
 - Cronometro electrónico: este debe contar con una precisión de 0,00 segundos.
- Procedimiento

- Medios para mantener constante el nivel de agua: disponer un medio apropiado de controlar el nivel de agua sobre los soportes del ladrillo, con una precisión de $\pm 0,25$ mm, incluye medios para agregar agua a la bandeja a una velocidad correspondiente a la velocidad con que la remueve el ladrillo. Para establecer y fijar el nivel de agua se debe utilizar un ladrillo o medio ladrillo cuyo desplazamiento de agua sea equivalente al del espécimen saturado previamente por inmersión en agua durante no menos de 3 horas.
- Nota 1. Un medio apropiado de obtener precisión en el control del nivel de agua consiste en fijar dos trozos de alambre rígido a uno de los extremos de las barras de soporte, de tal forma que se proyecten hacia arriba. Los extremos que van a sobresalir del nivel del agua, se doblan hacia abajo de manera que la punta de uno de ellos quede a una distancia de $3,2 - 0,25$ mm del borde superior de la barra, y la punta del otro quede a $3,2 + 0,25$ mm.
- Cuando el nivel del agua se ajusta de manera que la punta inferior haga un hoyuelo en el agua cuando se ve con luz reflejada, y la punta superior no toque el agua, el nivel está dentro de los límites especificados.
- Nota 2. Un tubo de hule que venga de un sifón o de un recipiente elevado cerrado con una prensa manual de resorte proporciona una forma adecuada de agregar agua. Los aparatos llamados alimentadores de pollos no tienen suficiente sensibilidad y, por lo mismo, no operan con los pequeños cambios de nivel de agua permitidos en este ensayo.

- El ancho y largo del espécimen de ensayo se determina con una precisión de ± 1 mm, y se pesa con una precisión de $\pm 0,5$ g.
- Se ajusta la posición de la bandeja de manera que esté a nivel y se coloca sobre los soportes el ladrillo saturado con agua. Se agrega agua hasta que el nivel este a $3,2 \pm 0,25$ mm sobre el borde superior de los soportes.
- Se remueve el ladrillo saturado y se coloca el espécimen en posición, con una de las caras mayores sobre los soportes; el cronometro se hace andar en el momento que el ladrillo hace contacto con el agua. Se deja el espécimen sobre los soportes durante 60 ± 1 segundo, manteniendo el agua al nivel prescrito, agregando para tal fin la que sea necesaria. El espécimen se retira del agua, se limpia la superficie con un trapo húmedo y se pesa el ladrillo con una precisión de $\pm 0,5$ g. El limpiado se debe hacer en 10 s y la pesada debe estar completa en no más de 2 minutos desde el momento en que el ladrillo se retira del agua.
- Nota: el ladrillo se coloca rápidamente en el agua, pero sin producir salpicaduras, por medio de un movimiento rotatorio, para evitar que la superficie inferior arrastre aire. Los ladrillos con canales, hundimientos o depresiones se deben ensayar usando una de las caras planas.
- Expresión de los resultados
 - La diferencia en gramos entre la masa inicial y final es la masa de agua absorbida por el ladrillo en 1 min.

- Se calcula el área seccional en cm^2 a través de la cual ha ocurrido la absorción de agua a partir del ancho y el largo del ladrillo determinados.
- Se calcula la razón inicial de absorción dividiendo la masa de agua absorbida entre el área seccional.

$$R = \frac{m_f - m_i}{A \cdot t}$$

Donde:

- R = razón inicial de absorción, en $\text{g}/\text{cm}^2\text{min}$
- m_f = masa final del espécimen en gramos
- m_i = masa inicial del espécimen en gramos
- A = área del espécimen en cm^2
- t = 1 minuto

Si el ladrillo es perforado o tubular, se calcula el área neta y se sustituye por A en la ecuación anterior.

En el informe de los ensayos deben indicarse los métodos usados y los valores obtenidos en cada ensayo para cada uno de los 5 especímenes y sus promedios aritméticos.

En este caso se tomó en consideración la siguiente norma de la *american society for testing and materials ASTM C 67-80a standard methods of sampling and testing brick and structural clay tile*, y de la *american state*

highway and transportation officials standard AASHTO No. T 32 – 70 con las cuales coincide.

3.5.5. Resistencia a la flexión (módulo de ruptura), Norma ASTM C 674 – 88

Este método de ensayo cubre la determinación del módulo de ruptura de ladrillos de barro cocido, formados por cualquier método de fabricación.

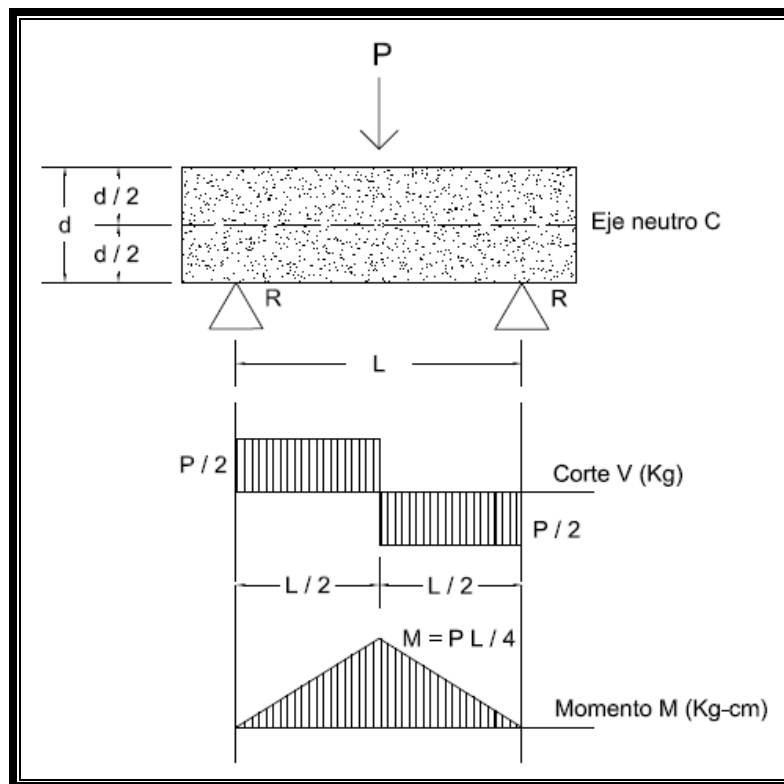
La *Norma ASTM C 674 - 88* especifica que deben seleccionarse no menos de 5 ladrillos secos a temperatura ambiente.

- Procedimiento
 - La muestra de ensayo se debe apoyar en su cara más ancha sobre una luz de 7" y cargada a media luz. Si las muestras tienen agujeros o depresiones, se deben colocar en el lado de compresión. La carga debe ser aplicada sobre la superficie de la muestra a través de una plancha de 1 pulgada de espesor y 1 pulgada de ancho y de un largo igual al ancho de la muestra. La dirección de la carga debe ser perpendicular a la superficie cargada de la muestra.
 - Los soportes para el ensayo de la muestra deben estar libres de rotación en la dirección longitudinal y transversal de la muestra.
 - Debe aplicarse la carga uniformemente a razón de 1 000 ± 150 lb/min (454 ± 68 kg/min).

- Colocar el espécimen de la prueba rectangular en los bordes productivos, espaciar 4,0 pulgadas (102 mm) entre los centros, los extremos estarán por lo menos a cada 0,25 pulgadas. (6,4 mm).

El esfuerzo de flexión (módulo de ruptura) de cada muestra se calculará a partir de:

Figura 11. Diagrama de corte y momento para flexión



Fuente: elaboración propia.

Donde:

- MR = modulo ruptura
- P = carga de falla en kg

- L = distancia entre apoyos en cm
- b = ancho de la muestra en cm
- d = espesor de la muestra en cm

$$\text{Módulo de ruptura} = \text{momento} \times \text{eje neutro} / \text{Inercia} \quad (\text{ec. 1})$$

$$\text{Inercia} = 1 / 12 b d^3 \quad (\text{ec. 2})$$

$$\text{Eje neutro } C = d / 2 \quad (\text{ec. 3})$$

$$\text{Suma de fuerzas} = 0$$

$$P - 2R = 0$$

$$R = P / 2$$

$$\text{Momento} = P / 2 \times L / 2$$

$$\text{Momento} = P L / 4 \quad (\text{ec. 4})$$

Sustituyendo ecuaciones 2, 3 y 4 en ecuación 1:

$$\text{Módulo de ruptura} = \frac{P L / 4 \times d / 2}{1 / 12 b d^3}$$

Simplificando:

$$\text{Módulo de ruptura} = \frac{P L / 8}{1 / 12 b d^2}$$

$$\text{Módulo de ruptura} = \frac{3 P L}{2 b d^2}$$

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1. Equipo y material utilizado

Para la fabricación de los ladrillos de barro cocido, se utilizaron los siguientes materiales y equipo que cumplan con requerimientos específicos y logren la misma sin inconvenientes.

- Materiales
 - Arena cuarzo – feldespática
 - Arcilla
 - Agua

Figura 12. **Arena cuarzo – feldespática**



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Arcilla**



Fuente: elaboración propia.

- Equipo
 - Molde de madera
 - Recipiente para amasar materiales
 - Horno

Figura 14. **Arena cuarzo-feldespática, arcilla y molde para elaboración de ladrillos**



Fuente: elaboración propia.

4.2. Desarrollo

En el municipio de El Tejar, Chimaltenango se obtuvo una muestra de arcilla proveniente de los bancos situados camino a San Martín Jilotepeque del mismo departamento; la arena cuarzo-feldespática proveniente de una mina del municipio de San Miguel Pochuta fue proporcionada por el Ingeniero Julio Luna con lo que se procedió a manufacturar probetas de ladrillo de barro cocido. Estas fueron llevadas al Centro de Investigaciones de Ingeniería para practicar los ensayos de absorción y succión de agua, compresión y flexión, con el objetivo de realizar una comparación respecto a la propuesta de utilizar la arena cuarzo-feldespática como material de estabilización de la arcilla.

Figura 15. **Fabricación de muestras de ladrillos**



Fuente: elaboración propia.

Para el análisis, a través de ensayos utilizando la arena cuarzo-feldespática y arcilla, se propusieron las siguientes proporciones de mezcla de arcilla, para fabricar probetas de ladrillo tayuyo:

- Elementos A: 85 % arcilla - 15 % arena cuarzo-feldespática
- Elementos B: 80 % arcilla - 20 % arena cuarzo-feldespática
- Elementos C: 70 % arcilla - 30 % arena cuarzo-feldespática
- Elementos D: 60 % arcilla - 40 % arena cuarzo-feldespática

Figura 16. **Fabricación de muestras de ladrillos, bajo proporciones**



Fuente: elaboración propia

Figura 17. **Horno, fábrica de ladrillos El Porvenir, El Tejar, Chimaltenango**



Fuente: elaboración propia.

4.3. Caracterización física de la arcilla y ladrillo

Las características físicas de la arcilla utilizada en la fabricación de ladrillos de barro cocido de forma artesanal deben ser consideradas ya que esto mejora la calidad del producto final.

Las muestras de arcilla utilizada fueron obtenidas en un banco de materiales en el municipio de El Tejar, Chimaltenango y llevadas en forma natural al Laboratorio de Mecánica de Suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde se realizaron los ensayos de límites de Attenberg (límite líquido y límite plástico), gravedad específica y granulometría por sedimentación y tamices, con el propósito de caracterizar la arcilla utilizada en la mezcla para la fabricación de ladrillos de barro cocido estabilizados con arena cuarzo – feldespática.

Figura 18. **Banco de arcilla, municipio de El Tejar, Chimaltenango**



Fuente: elaboración propia

4.4. Ensayos de laboratorio para la arcilla y ladrillo

En el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala en la Sección de Agregados, Concretos y Morteros y la Sección de Mecánica de Suelos se llevaron a cabo los ensayos para determinar las características físicas y propiedades mecánicas de los ladrillos de barro cocido; también, de la arcilla utilizada para su fabricación.

4.4.1. Análisis granulométrico

La medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria para determinar las proporciones relativas de las partículas presentes en el suelo.

4.4.1.1. Método del hidrómetro, Norma ASTM D-422 y AASTHO T-88

Es el método utilizado para obtener la estimación de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran desde el tamiz No. 200 (0,075 mm) hasta 0,001 mm. El objetivo de este ensayo es obtener el porcentaje de arcilla que pasa a través del tamiz No. 200. El análisis se basa en la relación entre la velocidad de caída de partículas en un fluido, el diámetro de las partículas, la viscosidad del fluido y el peso específico, tanto de las partículas como del fluido

Tabla XIV. **Análisis granulométrico por sedimentación**

% de grava	0,00
% de arena	46,23

Continuación de la tabla XIII.

% de finos	53,77		
Tamaño de partícula		ASSHTO	ASTM
		0,05 – 0,002	0,075 – 0,005
		< 0,002	< 0,005
Descripción del material	Arcilla arenosa color café		
G 20°C	2,64		

Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Fecha: 19 de enero de 2018.

4.4.1.2. Análisis granulométrico con tamices y lavado previo, Norma ASTM D6913-04

Es un procedimiento mecánico que consiste en separar las partículas del suelo por medio de tamices dentro de un rango por tamaño.

Tabla XV. Análisis granulométrico con tamices y lavado previo

Descripción del suelo		Arcilla arenosa color café
Clasificación	S.C.U.	CL
	P.R.A.	A-4
% grava		0,35
% arena		49,62
% finos		50,03
D₁₀		Diámetro efectivo no aplica
D₃₀		Diámetro efectivo no aplica
D₆₀		0,16 mm

Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Fecha: 19 de enero de 2018.

4.4.2. Ensayo de límite líquido y plástico, Norma ASTM D-43185 y AASHTO T-89-68 y T-90-70

El límite líquido se define como el contenido de humedad con respecto al peso seco de la muestra, y el límite plástico es el contenido de humedad con respecto al peso seco de la muestra secada al horno. El resultado de la diferencia entre estos dos límites, es llamado índice plástico, por medio del cual se determina el grado de plasticidad del material.

Tabla XVI. Límites de Attenberg para la muestra de arcilla analizada

Límite líquido	28,8 %
Índice de plasticidad	9,0
Clasificación	CL: arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media
Descripción del suelo	Arcilla arenosa color café

Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Fecha: 19 de enero de 2018.

4.4.3. Gravedad específica, Norma ASTM D-854 y AASHTO T-100

Es otra forma de caracterizar las arcillas, para conocer su porosidad, capacidad de hinchamiento, permeabilidad o impermeabilidad; ensayo utilizado para calcular la relación de vacíos en el suelo

Tabla XVII. Ensayo de gravedad específica de los sólidos del suelo en la muestra de arcilla analizada

Ensayo	Muestra	Gravedad Específica (20 °C)	Descripción
1	1	2,64	Arcilla arenosa, color café

Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Fecha: 19 de enero de 2018.

En la tabla XIV (análisis granulométrico por sedimentación) y tabla XIII (análisis granulométrico con tamices y lavado previo) el porcentaje de finos que ha pasado por el tamiz No. 200 es mayor al 50 %; ese valor clasifica el material como un suelo de grano fino. En la tabla XVI (límites de Attenberg para la muestra de arcilla analizada) el límite líquido es 28,8 % y índice de plasticidad de 9,0, el material tiene una clasificación de CL (arcilla inorgánica de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas); así mismo, en la tabla XIV (análisis granulométrico por sedimentación) y tabla XV más de la mitad de la fracción gruesa paso por el tamiz No. 4; con esto la clasificación final del material, como arcilla arenosa de plasticidad baja a media de color café con una gravedad específica de 2,64 a una temperatura de ensayo de 20 grados Celsius.

Las arcillas de acuerdo al grado de plasticidad se clasifican en magras y grasas. Las arcillas grasas son las que poseen una gran plasticidad, incluso para pequeñas humedades. Presentan en su constitución una gran concentración de minerales arcillosos y una baja concentración en arenas silíceas. Se moldean con facilidad, pero su gran adherencia impide el desmoldeo correcto del producto moldeado.

Por su parte, las arcillas magras son las poseen una baja plasticidad. Son quebradizas y arenosas. Esta plasticidad se puede aumentar con hidróxido, carbonato o silicato sódico, con cal, oxalato y humus o con arena cuarzo-feldespática como fue realizado en el presente trabajo de investigación.

En el análisis granulométrico se presenta una arcilla arenosa con un porcentaje de finos 53,77 %, al tener otra arcilla con mayor contenido de finos, esto aumentaría el contenido de material arcilloso y daría una mayor área superficial y por lo tanto una mayor plasticidad; un mayor tamaño de partícula (46,23 % de arena) está relacionado con un mayor contenido de material desgrasante y, por lo tanto, menor plasticidad.

4.4.4. Determinación de la resistencia a la compresión, Norma Coguanor NGO 41024 h2

Con las probetas de ladrillo de barro cocido en distintas proporciones se realizaron los ensayos de compresión previamente secadas y cortadas las unidades; medición de dimensiones y nivelación de las caras de compresión utilizando azufre como lo indica la norma.

Figura 19. **Secado de ladrillos en horno**



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Corte de ladrillos**



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Nivelación de las caras de compresión con azufre**



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Ladrillos nivelados en su cara de compresión con azufre**



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Ensayo de compresión



Fuente: elaboración propia.

Cálculo del esfuerzo último en probetas de ladrillo de barro cocido:

$$R = F / A_b$$

Donde:

- R = resistencia a la compresión del espécimen.
- F = carga máxima indicada por la máquina de ensayo.
- A_b = promedio de las áreas brutas de las superficies de carga superior e inferior.

$$R = \frac{21\,000 \text{ libras} \times (1 \text{ kilogramo} / 2,20462 \text{ libras})}{10,7 \text{ cm} \times 11,0 \text{ cm}}$$

$$R = \frac{9\,525,451 \text{ kilogramos}}{117,70 \text{ cm}^2}$$

$$R = 80,90 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

La designación dada a las muestras en su identificación se realizó en base al contenido porcentual de los componentes utilizados en la fabricación de ladrillo, siendo de la siguiente forma:

- Muestra A: 85 % arcilla - 15 % arena cuarzo – feldespática
- Muestra B: 80 % arcilla - 20 % arena cuarzo – feldespática
- Muestra C: 70 % arcilla - 30 % arena cuarzo – feldespática
- Muestra D: 60 % arcilla - 40 % arena cuarzo – feldespática

Tabla XVIII. **Resultados de compresión, para las unidades de ladrillos**

Elemento	Base 1 cm.	Base 2 cm.	Carga última libras	Área cm ²	Esfuerzo kg/cm ²
A1	10,7	11,0	21 000	117,70	80,90
A2	10,8	10,8	24 500	116,64	95,30
A3	11,2	10,8	21 400	120,96	80,30
A4	11,1	10,8	21 800	119,88	82,50
A5	10,9	10,9	21 200	118,81	81,00
B1	11,2	10,8	19 400	120,96	72,80
B2	9,9	11,0	17 100	108,90	71,20
B3	10,8	10,9	18 700	117,72	72,00
B4	11,0	10,8	20 500	118,80	78,30
B5	10,9	11,2	21 500	122,08	79,90
C1	10,2	11,0	24 000	112,20	97,00
C2	11,0	11,1	24 700	122,10	91,80
C3	10,8	10,8	21 600	116,64	84,00
C4	11,4	11,3	21 800	128,82	76,80
C5	10,9	11,3	27 600	123,17	101,60
D1	10,2	10,5	20 400	107,10	86,40
D2	10,2	10,1	21 000	103,20	92,30
D3	10,3	10,5	23 800	108,15	99,80
D4	10,4	10,5	21 300	109,20	88,40
D5	10,3	10,4	27 500	107,12	116,40

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Resultados del promedio de compresión para las diferentes proporciones de mezclas**

Promedio de muestra	Resistencia kg/cm ²
A	84,00
B	75,00
C	90,00
D	97,00

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la tabla XIII (requisitos para la elaboración del ladrillo de barro cocido tayuyo, perforado y tubular, Norma Coguanor 41022), las muestras de ladrillo que se sometieron al ensayo de compresión y son clasificadas entre el grado de ladrillos G2 (ladrillos macizos recomendados para paredes que soportan cargas moderadas expuestos a una cara) son aquellas que se designan como las muestras A, C y D; donde los resultados muestran una carga mayor a 80 kg/cm²; la muestra D es la que presenta una mayor resistencia a la compresión; mientras que los ladrillos con designación B se encontrarían clasificados dentro del grupo G3 (ladrillos macizos recomendados para paredes con cargas bajas, expuestos a una cara).

4.4.5. Determinación de la absorción de agua, Norma Coguanor NGO 41024 h4

De acuerdo a la norma, las unidades manufacturadas de ladrillo se secaron en el horno por 24 horas; se enfriaron en otras 24 horas y enseguida se procedió a cortar aproximadamente a la mitad, pesar cada una y luego

sumergirlas en agua durante 24 horas para luego secar la superficie y volver a obtener su peso húmedo.

Figura 24. **Peso de ladrillos secos**



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Peso de ladrillos húmedos**



Fuente: elaboración propia.

Cálculo de la absorción en probetas de ladrillo de barro cocido:

$$\text{Absorción, en porcentaje (m/m)} = \frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100$$

En la que:

- m_s = masa del espécimen completamente seco, en kilogramos

- m_h . = masa del espécimen completamente húmedo, en kilogramos

$$\text{Absorción, en porcentaje (m/m)} = \frac{1,580 - 1,310}{1,310} \times 100$$

$$\text{Absorción, en porcentaje (m/m)} = 20,61 \%$$

Tabla XX. **Resultados de absorción de agua, para las unidades de ladrillos**

Elemento	Peso seco kg	Peso húmedo kg	% absorción
A1	1,310	1,580	20,61
A2	1,215	1,465	20,58
A3	1,220	1,475	20,90
A4	1,160	1,400	20,69
A5	1,280	1,540	20,31
B1	1,145	1,385	20,96
B2	1,175	1,415	20,43
B3	1,185	1,435	21,10
B4	1,210	1,460	20,66
B5	1,240	1,500	20,97
C1	1,380	1,610	16,67
C2	1,305	1,520	16,48
C3	1,370	1,595	16,42
C4	1,270	1,485	16,93
C5	1,345	1,565	16,36
D1	1,230	1,440	21,14
D2	1,235	1,490	20,65
D3	1,225	1,485	21,22
D4	1,220	1,470	20,49
D5	1,235	1,490	20,65

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Resultados del promedio de absorción de agua para las diferentes proporciones de mezclas**

Promedio de muestras	% absorción
A	20,62
B	20,82
C	16,57
D	20,83

Fuente: elaboración propia.

La Norma Coguanor 41022 (requisitos para la elaboración del ladrillo de barro cocido tayuyo, perforado y tubular), indica que los ladrillos fabricados en forma artesanal deberán tener una absorción máxima de 14 % de agua para ladrillos del grupo G1, 16 % para ladrillos del grupo G2 y 20% para ladrillos del grupo G3 en promedio para 5 unidades; pero este requisito no servirá para rechazar un ladrillo toda vez que este cumpla con las demás especificaciones de compresión, succión de agua, forma y tamaño.

4.4.6. Determinación de la razón inicial de absorción (succión), Norma Coguanor NGO 41 024 h5

Una vez secadas las probetas de ladrillo en el horno durante 24 horas y esperar que se enfriaran, se procedió a medir las dimensiones de la cara del ladrillo, donde se realizaría el ensayo de succión; se pesó la probeta antes de ser sumergida en el agua y luego de un minuto se procedió a secar el exceso de agua en la superficie y pesar nuevamente. Se preparó el equipo como lo indica la norma utilizando bandeja, soportes para los ladrillos y cronometro.

Figura 26. **Equipo para ensayo de succión**



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Succión de agua en ladrillo**



Fuente: elaboración propia.

Cálculo de la razón inicial de absorción (succión) en probetas de ladrillo de barro cocido.

$$R = \frac{m_f - m_i}{A \cdot t}$$

Donde:

- R = razón inicial de absorción, en $\text{g/cm}^2\text{min}$
- m_f = masa final del espécimen en gramos

- m_i = masa inicial del espécimen en gramos
- A = área del espécimen en cm^2
- $t = 1$ minuto

$$R = \frac{(2,585 \text{ kg} - 2,540 \text{ kg}) \times (1\,000 \text{ gr} / 1 \text{ kg})}{6,6 \text{ cm} \times 22,1 \text{ cm} \times 1 \text{ min}}$$

$$R = 45 \text{ gr} / 145,86 \text{ cm}^2\text{-min}$$

$$R = 0,309 \text{ gr/cm}^2\text{-min}$$

Tabla XXII. **Resultados de succión de agua, para las unidades de ladrillos**

Elemento	Ancho b cm.	Largo l cm.	Peso seco kg	Peso húmedo kg	Área cm^2	Succión $\text{gr/cm}^2\text{-min}$
A1	6,6	22,1	2,540	2,585	145,86	0,309
A2	6,5	22,3	2,475	2,510	144,95	0,241
A3	6,5	22,1	2,590	2,615	143,65	0,174
A4	6,5	22,3	2,515	2,550	144,95	0,241
A5	6,7	22,7	2,620	2,645	152,09	0,164
B1	6,4	22,0	2,385	2,420	140,80	0,249
B2	6,5	21,1	2,390	2,420	137,15	0,219
B3	6,3	21,1	2,330	2,365	132,93	0,263
B4	6,5	22,0	2,395	2,430	143,00	0,245
B5	6,6	22,0	2,455	2,490	145,20	0,241
C1	6,6	22,6	2,645	2,675	149,16	0,201
C2	6,5	22,6	2,675	2,700	146,90	0,170
C3	6,8	22,6	2,645	2,675	153,68	0,195
C4	6,5	22,4	2,625	2,655	145,60	0,206
C5	6,1	22,7	2,535	2,570	138,47	0,253
D1	6,5	22,4	2,305	2,330	145,60	0,172
D2	6,8	22,4	2,440	2,470	152,32	0,197
D3	6,6	22,1	2,360	2,390	145,86	0,206
D4	6,5	22,2	2,330	2,360	144,30	0,208
D5	6,7	22,0	2,475	2,505	147,40	0,204

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Resultados del promedio de succión de agua, para las diferentes proporciones de mezclas**

Promedio de muestras	Succión gr/cm ² -min
A	0.226
B	0.243
C	0.205
D	0.197

Fuente: elaboración propia.

La razón inicial de absorción de agua (succión) es una de las especificaciones dadas en la Norma Coguanor 41022 (requisitos para la elaboración del ladrillo de barro cocido tayuyo, perforado y tubular); establece un límite de 0,15 gr/cm²-min para obtener buenas juntas entre el mortero y el ladrillo, a menos que se humedezcan por inmersión de agua antes de ser colocados. En los resultados obtenidos, tanto en las pruebas individuales (tabla XXII) como los promedios de las mezclas A, B, C y D de la tabla XXIII, los valores son mayores al parámetro de la Norma Coguanor 41022 pero se puede considerar la aceptación de cada mezcla en especial la D (60 % de arcilla – 40 % de arena cuarzo-feldespática) que es la que da el menor valor porque la junta mortero ladrillo puede ser mejorada por inmersión de los ladrillos en agua.

4.4.7. Determinar la resistencia a la flexión, Norma ASTM C 674 - 88

Esté método de ensayo se utiliza para determinar el módulo de ruptura de ladrillos de barro cocido, fabricados en forma artesanal o industrial.

La norma especifica que deben seleccionarse no menos de 5 ladrillos secos a temperatura ambiente; las muestras de ensayo se colocarán sobre los soportes libres de rotación a una separación no mayor a 102 mm.

Figura 28. **Ensayo de flexión en ladrillo**



Fuente: elaboración propia.

Cálculo del módulo de ruptura en probetas de ladrillo de barro cocido.

$$MR = \frac{3 P L}{2bd^2}$$

Donde:

- MR = módulo ruptura
- P = carga de falla en kg
- L = distancia entre apoyos en cm
- B = ancho de la muestra en cm
- D = espesor de la muestra en cm

$$MR = \frac{3 \times 800 \text{ libras} \times 12,3825 \text{ cm} \times (1 \text{ kg} / 2,20462 \text{ lb})}{2 \times 10,8 \text{ cm} \times (6,4 \text{ cm})^2}$$

$$MR = 15,24 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Tabla XXIV. **Resultados de flexión, para las unidades de ladrillos**

Elemento	Ancho b cm.	Espesor d cm.	Carga libras	L entre apoyos cm.	Módulo ruptura kg/cm ²
A1	10,8	6,4	800	12,3825	15,24
A2	10,8	6,5	800	12,3825	14,77
A3	10,9	6,5	900	12,3825	16,46
A4	10,9	6,4	900	12,3825	16,98
A5	10,9	6,5	800	12,3825	14,64
B1	10,9	6,3	700	12,3825	13,63
B2	10,9	6,4	800	12,3825	15,10
B3	11,0	6,3	700	12,3825	13,51
B4	10,9	6,3	700	12,3825	13,63
B5	10,9	6,4	900	12,3825	16,98
C1	10,9	6,4	900	12,3825	16,98
C2	11,0	6,3	900	12,3825	17,37
C3	10,9	6,4	1 000	12,3825	18,87
C4	10,9	6,5	1 000	12,3825	18,29
C5	10,9	6,3	800	12,3825	15,58
D1	11,1	6,5	1 000	12,3825	17,80
D2	11,6	6,8	1 000	12,3825	15,71
D3	11,3	6,6	900	12,3825	15,40
D4	11,2	6,5	1 000	12,3825	17,80
D5	11,1	6,7	900	12,3825	15,22

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Resultados del promedio de flexión, para las diferentes proporciones de mezclas**

Promedio de muestras	Módulo ruptura kg/cm²
A	15,62
B	14,57
C	17,42
D	16,39

Fuente: elaboración propia.

La resistencia a la flexión de ladrillos hechos a máquina o a mano, no se encuentra considerada en la Norma Coguanor 41022 (requisitos para la elaboración del ladrillo de barro cocido tayuyo, perforado y tubular) para la aceptación o rechazo de ladrillos, pero siendo una propiedad mecánica de mucha importancia se determinó en los ensayos utilizando la Norma ASTM C 674 - 88 (módulo de ruptura de ladrillos de barro cocido, fabricados en forma artesanal o industrial) y de acuerdo al Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguras (FHA), tabla XII, se establece una flexión mínima de 14 kg/cm² para muros de carga, valor que es mayor en los ensayos realizados para las mezclas A, C y D en forma individual como en promedio de los 5 ladrillos ensayados en cada una.

4.5. Presentación de resultados

En la tabla XXVI se presenta el promedio de los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas de los ladrillos de barro cocido en sus diferentes proporciones de arcilla y estabilizados con arena cuarzo–feldespática.

La muestra D (60 % arcilla – 40 % arena cuarzo–feldespática) presenta la mayor resistencia a la compresión respecto a las otras muestras, también, la razón inicial de absorción (succión) siendo superada en el módulo de flexión en 1,03 kg/cm² por la muestra C (70 % arcilla – 30 % arena cuarzo–feldespática) y el % de absorción que en ambas muestras es superior al parámetro establecido en la Norma Coguanor 41022 (requisitos para la elaboración del ladrillo de barro cocido tayuyo, perforado y tubular) de 16 % para el promedio de 5 unidades de cada muestra en ladrillos grado 2 para paredes de carga moderada expuestos en una cara; pero no es una propiedad que rechace los ladrillos una vez cumpla con las otras propiedades.

Tabla XXVI. **Resultados del promedio de los ensayos, para las diferentes proporciones de mezclas**

Elemento	Relación de mezcla		% absorción	Esfuerzo máximo kg/cm ² Compresión	Succión gr/cm ² -min	Módulo ruptura kg/cm ²
	% arcilla	% arena cuarzo-feldespática				
A	85	15	20,62	83,98	0,226	15,62
B	80	20	20,82	74,84	0,243	14,57
C	70	30	16,57	90,24	0,205	17,42
D	60	40	20,83	96,68	0,197	16,39
Norma aplicada			Coguanor 41 022			FHA
Tipo de ladrillo		G1	máximo 14 %	mínimo 120	máximo 0,15	mínimo 14
		G2	16 %	80	0,15	11
		G3	20 %	45	0,15	9

Fuente: elaboración propia.

4.6. Comparación y análisis de resultados

En la tabla XXVII se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de absorción, compresión, succión y flexión de cada muestra individual ensayada.

Tabla XXVII. **Resultados de los ensayos en probetas de ladrillo de barro cocido, para las diferentes proporciones de mezclas**

Elemento	Relación de mezcla		% absorción	Esfuerzo máximo kg/cm ² Compresión	Succión gr/cm ² -min	Módulo ruptura kg/cm ²
	% arcilla	% arena cuarzo-feldespática				
A1	85	15	20,61	80,93	0,309	15,24
A2	85	15	20,58	95,28	0,241	14,77
A3	85	15	20,90	80,25	0,174	16,46
A4	85	15	20,69	82,49	0,241	16,98
A5	85	15	20,31	80,94	0,164	14,64
B1	80	20	20,96	72,75	0,249	13,63
B2	80	20	20,43	71,23	0,219	15,10
B3	80	20	21,10	72,05	0,263	13,51
B4	80	20	20,66	78,27	0,245	13,63
B5	80	20	20,97	79,88	0,241	16,98
C1	70	30	16,67	97,03	0,201	16,98
C2	70	30	16,48	91,76	0,170	17,37
C3	70	30	16,42	84,00	0,195	18,87
C4	70	30	16,93	76,76	0,206	18,29
C5	70	30	16,36	101,64	0,253	15,58
D1	60	40	21,14	86,40	0,172	17,80
D2	60	40	20,65	92,30	0,197	15,71
D3	60	40	21,22	99,82	0,206	15,40
D4	60	40	20,49	88,44	0,208	17,80
D5	60	40	20,65	116,45	0,206	15,22

Fuente: elaboración propia.

Se observa que las muestras C (70 % de arcilla y 30 % de arena cuarzo-feldespática) muestran los mejores resultados en los ensayos de absorción como de flexión, mayores a los resultados obtenidos en estudios anteriores realizados sobre ladrillos de barro cocido fabricados en forma artesanal (tabla III) y de ladrillos fabricados adicionando escoria de níquel (tabla II). El esfuerzo a compresión de esta muestra es mayor al valor mínimo de compresión de la Norma Coguanor 41022 para ladrillos G2 (ladrillos para muros de carga moderada de 1,35 a 2,4 Mpa) y esfuerzo a flexión es mayor al valor mínimo de 14 kg/cm² que establece el FHA para ladrillos G1 (ladrillos para muros de carga elevada de 2,4 a 3,6 MPa).

Los resultados obtenidos en la muestra D (60 % de arcilla y 40 % de arena cuarzo-feldespática) presentan los mejores resultados en los ensayos de compresión y de succión; los de compresión son mayores a los presentados en las Tablas 2 y 3 así como de la tabla I de estudios anteriores de ladrillos de barro cocido. El esfuerzo a compresión de esta muestra también es mayor al valor mínimo de compresión de la Norma Coguanor 41022 para ladrillos G2 y esfuerzo a flexión que establece el FHA para ladrillos G1.

CONCLUSIONES

1. Se logró evaluar el comportamiento de las características físicas y propiedades mecánicas de los ladrillos de barro cocido; en términos generales, la arena cuarzo-feldespática puede ser utilizada en la fabricación de esos elementos.
2. Mejorando la clasificación de la arcilla utilizada en la fabricación artesanal de los ladrillos de barro cocido, se obtendrán mejores resultados en el producto final, ya que esta se realiza en forma empírica por simple inspección pues la calidad de la arcilla es uno de los factores más importantes que influyen en la calidad del producto terminado.
3. Con el uso de arena cuarzo-feldespática en la estabilización de la arcilla, se obtuvieron mejores resultados en los ensayos de compresión y absorción de agua, que en los ladrillos convencionales (tablas I, II y III); esto en ensayos de piezas individuales como en promedio de las proporciones, lo que permite determinar que dicha combinación mejora las características mecánicas.
4. La mejor proporción volumétrica de la mezcla es la muestra D, compuesta de 60 % de arcilla y 40 % de arena cuarzo-feldespática para lograr su estabilización de la mezcla en la fabricación de ladrillos barro cocido y con ello, la mejora de las características físicas y propiedades mecánicas.

5. Los ladrillos fabricados con la proporción 60 % de arcilla y 40 % de arena cuarzo-feldespática (muestra D) se clasifican de acuerdo a la Norma Coguanor NGO 41 022 como ladrillos de grado 2, que pueden ser utilizados en paredes de carga moderada expuestas en una cara.
6. El uso de la arena cuarzo-feldespática en unidades de mampostería de barro cocido ayuda a mitigar la contaminación que puede provocar este subproducto de desperdicio en la explotación de canteras
7. Los valores de absorción y succión obtenidos son mayores a los establecidos en la Norma Coguanor 41022, esto debido a la compactación de la mezcla en el molde en el momento de la elaboración de los ladrillos ya que esta se hace con la mano dando golpes para la colocación de la mezcla; se pueden reducir estos a valores al ser utilizada una máquina de extrusión en la elaboración de ladrillos.
8. El adecuado proceso de manufactura de los ladrillos es muy importante, ya que en muchas ocasiones la necesidad de producir más ladrillos en un menor tiempo y en un reducido espacio se pasa por alto la etapa de maduración de la mezcla y la estabilización del marial, que en la investigación realizada fue de suma importancia para la elaboración de los ladrillos.

RECOMENDACIONES

1. Masificar la producción de estos materiales de mampostería, utilizando la arena cuarzo-feldespática, con el objetivo de reducir la acumulación de este subproducto de desperdicio, en la cantera.
2. Utilizar la proporción volumétrica 60 % de arcilla y 40 % de arena cuarzo-feldespática en la fabricación de ladrillos ya que esta relación volumétrica mejora las características físicas y propiedades mecánicas de las unidades de mampostería.
3. Mejorar en la etapa de moldeo de los ladrillos la compactación de la materia prima en la colocación de esta en el molde para reducir los valores de absorción y succión en el producto final.
4. Usar los ladrillos de barro cocido estabilizador con arena cuarzo-feldespática en la elaboración de muros perimetrales sin carga, muros para cargas bajas con techos livianos la lámina hasta muros de carga moderada de un nivel con cubierta de concreto o losa semiprefabricada de vigueta y bovedilla
5. En cada lote de fabricación, se debe realizar el control de calidad y cumplimiento de la materia prima.
6. Se debe controlar el proceso de maduración de la arcilla para lograr una mejor trabajabilidad y obtener buenos resultados para el uso de los ladrillos de barro cocido, no importando las adiciones de otros materiales.

7. Se recomienda secar los ladrillos durante los primeros tres días después de su elaboración, en la sombra para evitar que se den grietas en la superficie por deshidratación.
8. Se recomienda tomar en cuenta la contracción que se da en las unidades en la cara mayor del ladrillo para tomarlas en cuenta en la elaboración del molde.
9. Mejorar la construcción de hornos proponiendo la construcción de hornos de ciclos continuos mejorará los resultados del producto terminado al hacer un mejor uso de la energía de combustión de leña. No hacer uso de productos plásticos en la combustión y buscar otras alternativas de combustible como la cascarilla de café, aserrín, etc, haciendo esto se reduciría la deforestación en la zona.
10. Para próximos estudios de este tipo, verificar la estabilidad volumétrica de las piezas de mampostería que se fabriquen.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Arcillas*. [En línea]
<https://previa.uclm.es/users/higueras/yymm/arcillas.htm>
[Consulta: 29 de julio de 2017].
2. CHAMALÉ BOROR, Luis Arturo. *Uso de escoria de mata de níquel en la fabricación de ladrillo tayuyo en forma artesanal*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011 151 p.
3. Coguanor. *Ladrillos de barro cocido. Determinación de la absorción de agua (NGO 41 024 h4)* Guatemala: Coguanor, 1982 2 p.
4. _____. *Ladrillos de barro cocido. Determinación de la forma y dimensiones (NGO 41 024 h1)* Guatemala: Coguanor, 1982 5 p.
5. _____. *Ladrillos de barro cocido. Determinación de la razón inicial de absorción (succión) (NGO 41 024 h5)* Guatemala: Coguanor, 1982 4 p.
6. _____. *Ladrillos de barro cocido. Determinación de la resistencia a la compresión (NGO 41 024 h2)* Guatemala: Coguanor, 1982 5 p.
7. _____. *Ladrillos de barro cocido. Especificaciones (NGO 41 022)* Guatemala: Coguanor, 1982 7 p.

8. _____ . *Ladrillos de barro cocido. Toma de muestras (NGO 41 023)* Guatemala: Coguanor, 1982 3 p.
9. *Ladrillo* [En línea] <https://es.wikipedia.org/wiki/Ladrillo> [Consulta: 29 de julio de 2017].
10. MOLINA THOMAE, Alan. *Barro cocido en la construcción técnicas de fabricación* [En línea] bib.usac.edu.gt/tesislioteca/02/02_0390.pdf [Consulta: 29 de julio de 2017].
11. ROJAS FUENTES, Rudy Fernando. *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 de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2016. 68 p.
12. TEPEU JOLOMNÁ, Julio Roberto. *Diagnóstico y pronóstico socioeconómico*. Ejercicio Profesional Supervisado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Económicas, 2011 237 p.
13. ZEA OSORIO, Norma Lissette. *Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005 139 p.

ANEXOS

Anexo 1. Ensayo de límites de Attenberg, arena cuarzo-feldespática

 **CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA** 

INFORME No. 384 S.S. O.T.: 37,594 No. **09978**

Interesado: Ing. Julio Luna

Proyecto: Materiales Pochuta

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: 00 Avenida 02-31, Zona 16

FECHA: viernes, 25 de agosto de 2017

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	LP. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	N.P.	N.P.	SP	Arena color beige

(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.

Atentamente,


Ing. Omar Enrique Meléndez Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo.Bo. 
Ing. Francisco Javier Quiñones de la Cruz
DIRECTOR CI/USAC

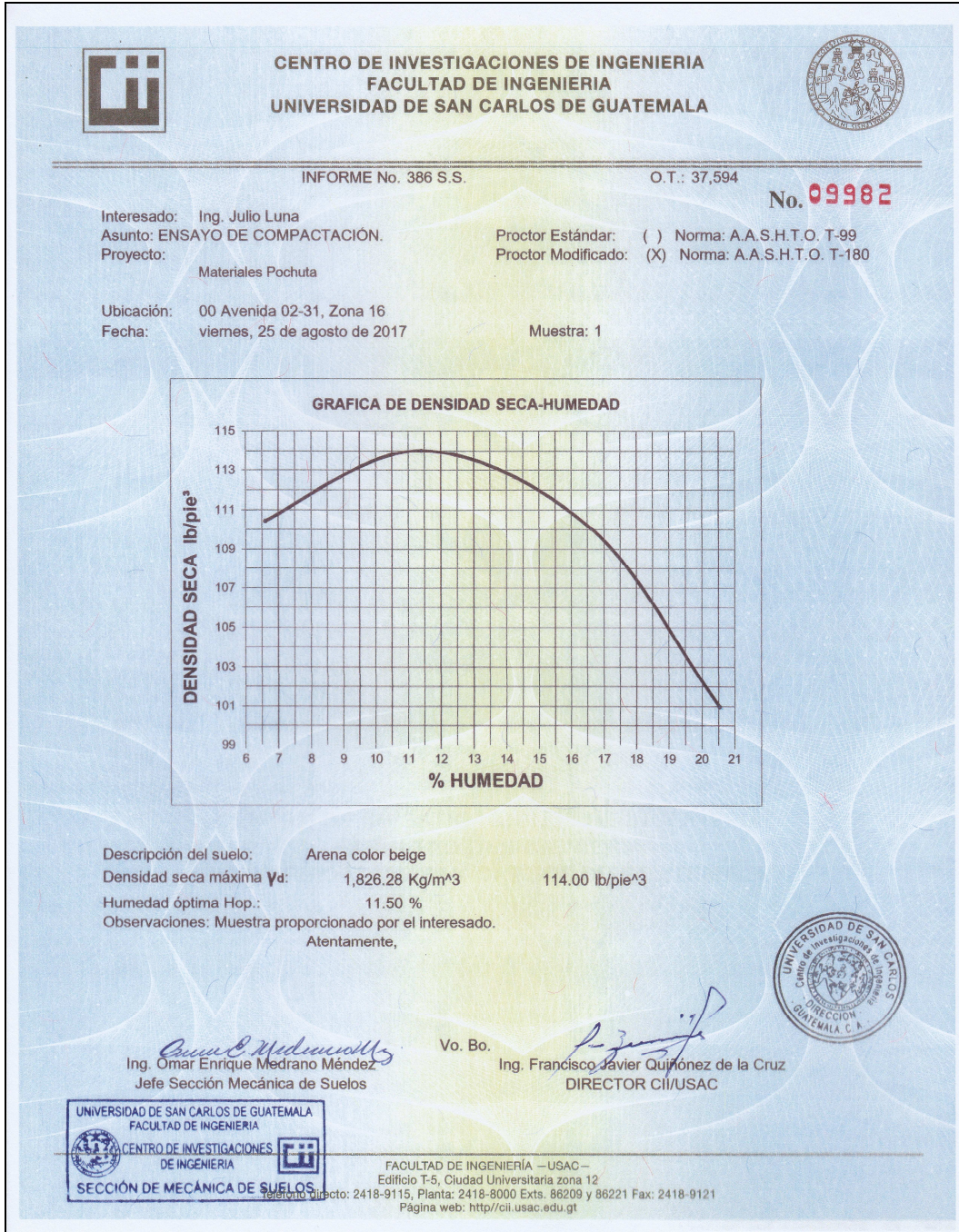



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS

FACULTAD DE INGENIERÍA -- USAC --
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

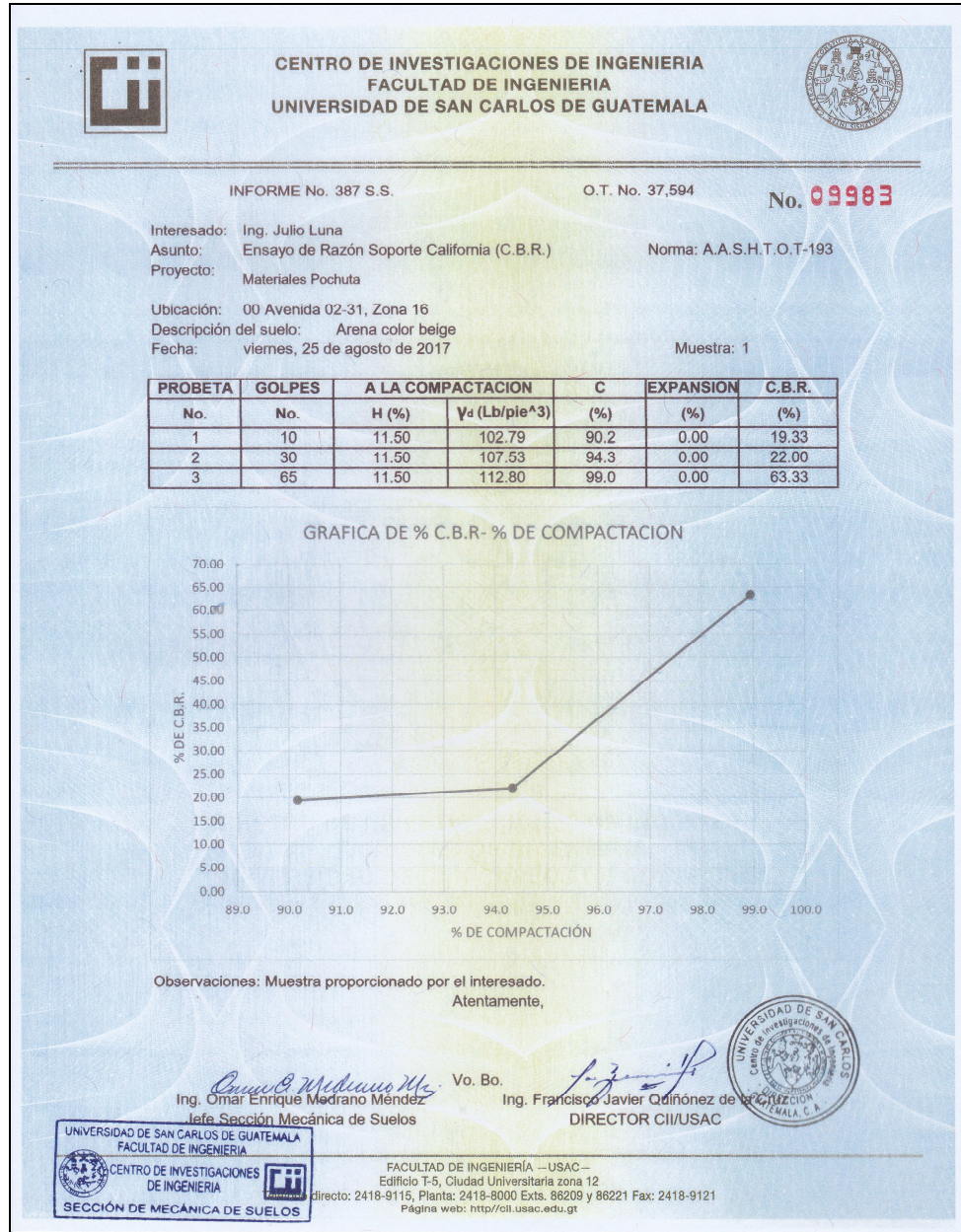
Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Fecha: 25 de agosto de 2017.

.Anexo 2. **Ensayo de compactación, arena cuarzo-feldespática**



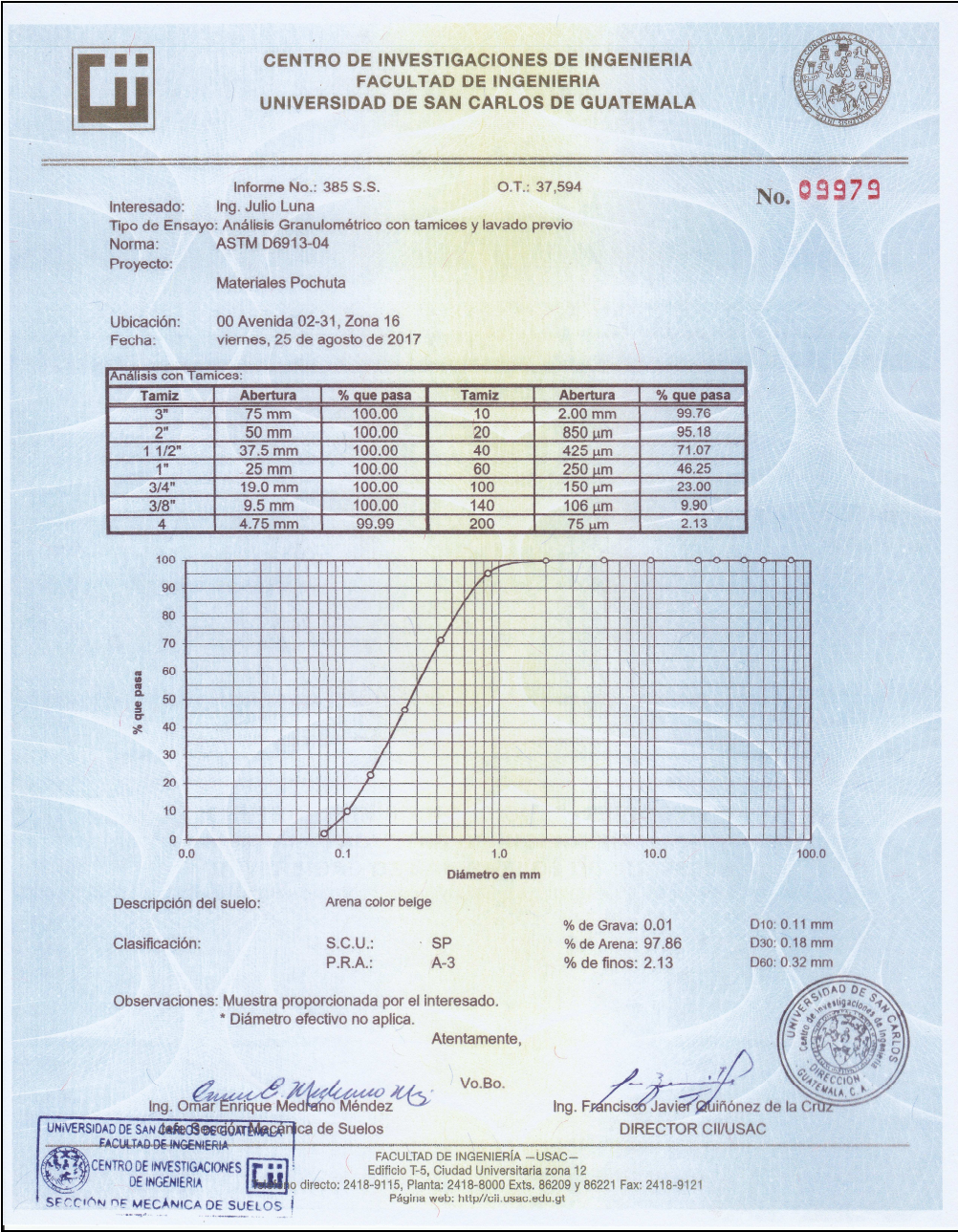
Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Fecha: 25 de agosto de 2017.

Anexo 3. Ensayo de razón de soporte california (C.B.R.), arena cuarzo-feldespática




Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Fecha: 25 de agosto de 2017.

Anexo 4. **Análisis granulométrico con tamices y lavado previo arena cuarzo-feldespática**





Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Fecha: 25 de agosto de 2017.

Anexo 5. Ensayo de límites de Attenberg para la arcilla

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA				
INFORME No. 012 S.S.		O.T.: 37,970			
		No. 13143			
Interesado:	Nestor Leonardo Ochoa Mendoza				
Proyecto:	Trabajo de Graduación "Elaboración de Ladrillos de Barro Cocido Estabilizados con Arena Cuarzo - Feldespática"				
Asunto:	ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG				
Norma:	AASHTO T-89 Y T-90				
Ubicación:	Guatemala				
FECHA:	viernes, 19 de enero de 2018				
RESULTADOS:					
ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	28.8	9.0	CL	Arcilla Arenosa Color Café
(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD					
Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.					
Atentamente,					
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez Jefe Sección Mecánica de Suelos	Vo.Bo.  Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz DIRECTOR CII/USAC				
					
FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC– Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt					

Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Fecha: 19 de enero de 2018.

Anexo 6. Ensayo granulométrico con tamices y lavado previo para la arcilla

		CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA				No. 13145	
Interesado: Nestor Leonardo Ochoa Mendoza							
Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico con tamices y lavado previo							
Norma: ASTM D6913-04							
Proyecto: Trabajo de Graduación "Elaboración de Ladrillos de Barro Cocido Estabilizados con Arena Cuarzo - Feidespática"							
Ubicación: Guatemala							
Fecha: viernes, 19 de enero de 2018							
Análisis con Tamices:							
Tamiz	Abertura	% que pasa	Tamiz	Abertura	% que pasa		
3"	75 mm	100.00	10	2.00 mm	98.53		
2"	50 mm	100.00	20	850 μ m	93.75		
1 1/2"	37.5 mm	100.00	40	425 μ m	81.61		
1"	25 mm	100.00	60	250 μ m	69.17		
3/4"	19.0 mm	100.00	100	150 μ m	59.08		
3/8"	9.5 mm	100.00	140	106 μ m	53.77		
4	4.75 mm	99.65	200	75 μ m	50.03		


Descripción del suelo: Arcilla Arenosa Color Café % de Grava: 0.35 D10: *


Clasificación: S.C.U.: CL % de Arena: 49.62 D30: *


P.R.A.: A-4 % de finos: 50.03 D60: 0.16 mm


Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.
* Diámetro efectivo no aplica.

Atentamente,

Vo.Bo. 
Ing. Francisco Javier Quiñonez de Guzmán
DIRECTOR CII/USAC


Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos







FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Fecha: 19 de enero de 2018.

Anexo 7. **Ensayo de gravedad específica de los sólidos del suelo para la arcilla**



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**




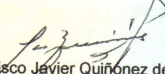
INFORME No. 013 S.S. **O.T.:** 37,970 **No.** 13144


INTERESADO: Nestor Leonardo Ochoa Mendoza
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Elaboración de Ladrillos de Baroo Cocido Estabilizados con Area Cuarzo - Feldespática"
ASUNTO: ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS DEL SUELO
NORMA: ASTM D854-05
UBICACION: Universidad de San Carlos de Guatemala
FECHA: viernes, 19 de enero de 2018
RESULTADOS:


ENSAYO	MUESTRA	GRAVEDAD ESPECÍFICA (20 °C)	DESCRIPCIÓN
1	1	2.64	Arcilla Arenosa Color Café

OBSERVACIONES:
 Muestras proporcionadas por el interesado.
 Atentamente,


 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo. 
 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
 DIRECTOR CII/USAC

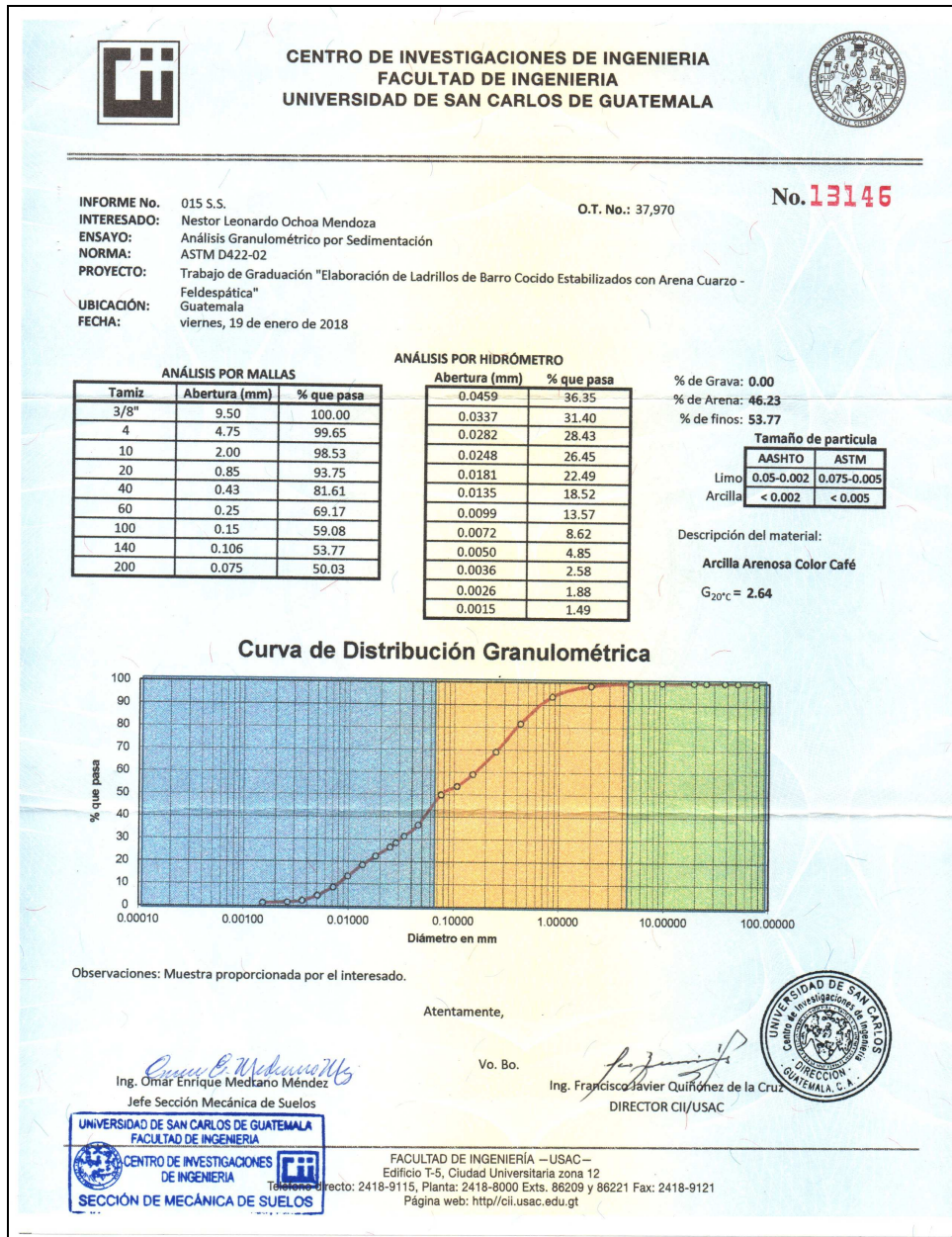




FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Fecha: 19 de enero de 2018.

Anexo 8. **Análisis granulométrico por sedimentación para la arcilla**



Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Fecha: 19 de enero de 2018.