



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

**USO DE ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL EN LA FABRICACIÓN DE  
LADRILLO TAYUYO EN FORMA ARTESANAL**

**Luis Arturo Chamalé Boror**

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, septiembre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**USO DE ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL EN LA FABRICACIÓN DE  
LADRILLO TAYUYO EN FORMA ARTESANAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**LUIS ARTURO CHAMALE BOROR**

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordón
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordoñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Crecencio Benjamín Cifuentes Velásquez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### USO DE ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLO TAYUYO EN FORMA ARTESANAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería civil, con fecha marzo de 2011.



Luis Arturo Chamalé Boror



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



Nº 16946

Guatemala, 25 de mayo de 2011

Ingeniero José Gabriel Ordoñez Morales  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil  
Área de Materiales y Construcciones Civiles  
Coordinador

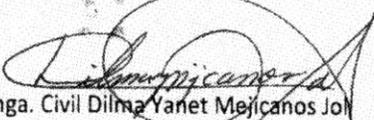
Ingeniero Ordoñez

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación "USO DE ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLO TAYUYO EN FORMA ARTESANAL" elaborado con el estudiante universitario Luis Arturo Chamale Boror, quien conto con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario Chamale Boror 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 Jol

Col. 5947  
ASESORA

*Dilma Y. Mejicanos Jol*  
Ingeniera Civil  
Col. 5947



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,  
3 de junio de 2011

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

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación USO DE ESCORIA DE MATA DE NIQUEL EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLO TAYUYO EN FORMA ARTESANAL, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Luis Arturo Chamalé Boror, quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Chamalé Boror, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
José Gabriel Ordóñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ÁREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES

USAC

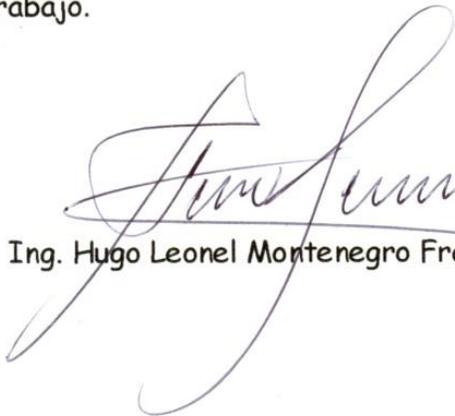
/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Luis Arturo Chamalé Boror, titulado USO DE ESCORIA DE MATA DE NIQUEL EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLO TAYUYO EN FORMA ARTESANAL, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, septiembre de 2011.

/bbdeb.



DTG. 337.2011

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: **USO DE ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLO TAYUYO EN FORMA ARTESANAL**, presentado por el estudiante universitario **Luis Arturo Chamalé Boror**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 8 de septiembre de 2011

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Él me creó, él es el dueño de todo lo que existe y el estar aquí es gracias a su infinita misericordia y bendición.

### **Mis padres**

Tomas Chamalé Chután y Martina Boror de Chamalé, por cada gota de sudor que en sacrificio derramaron como apoyo a mi superación.

### **Mis hermanos**

Felipe Antonio, Juan Alberto y Fredy Augusto por apoyarme, en los momentos difíciles me mostraron su amor.

### **Mi hija y sobrinos**

Ana Victoria, Diego Rodrigo, Barbará Sofía, Eduardo Emanuel, Brandon David, Jennifer Carolina y Pablo Antonio.

### **Mis abuelos**

Porque la mejor herencia que me pudieron dar fue su sabiduría, la humildad, el respeto y el amor al trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por dejarme cumplir una meta más en la vida, a él sea la gloria y la honra.
<b>Inga. Mejicanos</b>	Por su dedicación y apoyo a esta investigación.
<b>Mis amigos</b>	Abel Oliva, Abner Soto, Raúl Fuentes, Reina Hernández, Olguita Rafael, Deisi Ruano, Maynor López, Carlos Estrada, Oscar Flohr, Aurora Gonzalez.
<b>Familias</b>	Oliva del Cid, López García y Abadillo Barrera, por su cariño.
<b>Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.</b>	Por el apoyo en la realización de ensayos. En especial al Ing. Omar Medrano e Ing. Mario Corzo.
<b>Mis primas/os</b>	Olivia, Emiliana, Marina, Luz, Ovidio, Ana Luisa, Aura, Hugo, Delma, Drayza, Mara, Cristina y Aura López
<b>CGN</b>	Por la oportunidad de presentar mi trabajo de graduación



	1.2.1.6.2.	Grupo montmorillonita.....	14
	1.2.1.6.3.	Grupo illita o hidrónica.....	14
	1.2.1.6.4.	Grupo attalpulgita y sepiolita.....	14
	1.2.1.6.5.	Grupo alófana.....	15
1.2.1.7.		Clasificación primaria, de carácter físico.....	15
1.2.1.8.		Clasificación de acuerdo a fusibilidad.....	15
1.2.1.9.		Gres.....	15
1.2.1.10.		Porcelana.....	16
1.2.1.11.		Azulejos.....	16
1.2.1.12.		Propiedades de las arcillas.....	17
	1.2.1.12.1.	Superficie específica.....	17
	1.2.1.12.2.	Capacidad de absorción.....	18
	1.2.1.12.3.	Hidratación e hinchamiento.....	19
	1.2.1.12.4.	Plasticidad.....	20
	1.2.1.12.5.	Tixotropía.....	21
1.2.2.		Características físico-mecánicas de la escoria de mata de níquel.....	21
	1.2.2.1.	Aplicaciones de la escoria de mata de níquel.....	22
	1.2.2.2.	Morteros.....	27
	1.2.2.3.	Tipos y usos de morteros.....	27
	1.2.2.4.	Fabricación de mortero utilizando escoria de mata de níquel como agregado fino.....	28

2.	OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE MATERIA PRIMA.....	31
2.1.	Obtención de muestras.....	31
2.1.1.	Obtención de muestras de arcilla.....	31
2.1.1.1.	Municipio de El Tejar, departamento de Chimaltenango.....	31
2.1.1.2.	Selección de área para muestreo.....	33
2.1.1.3.	Inspección visual y de textura.....	34
2.1.2.	Obtención de muestras de escoria de mata de níquel.....	35
2.1.2.1.	Municipio de El Estor, departamento de Izabal.....	35
3.	ELABORACIÓN DE LADRILLO TAYUYO EN FORMA ARTESANAL.....	37
3.1.	Conceptos básicos.....	37
3.1.1.	Tratamiento de las arcillas en la antigüedad para la fabricación de ladrillo artesanal.....	37
3.1.2.	Clasificación de las arcillas según su empleo en la Construcción.....	38
3.1.3.	Tamaño de partícula.....	38
3.1.4.	Impurezas.....	39
3.1.5.	Contracción.....	39
3.1.6.	Secado Natural.....	40
3.1.7.	Secado artificial.....	41
3.1.8.	Propiedades del secado.....	41
3.1.8.1.	Resistencia mecánica.....	41
3.1.8.2.	Porosidad y permeabilidad.....	42
3.1.8.3.	Vitrificación.....	42
3.1.8.4.	Intercambio de bases.....	43

3.1.8.5.	Cambios termoquímicos.....	43
3.1.9.	Acción del calor sobre las arcillas.....	44
3.1.10.	Coloración.....	45
3.1.10.1.	Color natural.....	45
3.1.10.2.	Color quemado.....	45
3.1.11.	Mampostería.....	46
3.1.12.	Ladrillo.....	46
3.1.13.	Historia del ladrillo.....	46
3.1.14.	Partes del ladrillo.....	47
3.1.15.	Clases de ladrillo.....	48
3.1.15.1.	Ladrillo macizo.....	48
3.1.15.2.	Ladrillo perforado.....	49
3.1.15.3.	Ladrillos huecos.....	49
3.1.15.4.	Ladrillos especiales.....	49
3.1.16.	Condiciones que deben reunir los ladrillos.....	50
3.1.17.	Normas Coguanor.....	50
3.2.	Proceso de fabricación de ladrillo.....	52
3.2.1.	Extracción de materia prima.....	52
3.2.2.	Depuración de la mezcla.....	53
3.2.3.	Amasado.....	53
3.2.4.	Moldeado.....	54
3.2.5.	Secado.....	55
3.2.6.	Cocción.....	55
3.3.	Fabricación de ladrillo tayuyo en forma artesanal en el Municipio de El Tejar, Chimaltenango.....	56
3.3.1.	Proceso de fabricación artesanal.....	56
3.3.2.	Extracción de materia prima.....	56
3.3.3.	Tratamiento de materia prima.....	57
3.3.4.	Amasado.....	57

3.3.5.	Reposo o madurado.....	58
3.3.6.	Moldeado.....	59
3.3.7.	Secado.....	59
3.3.8.	Cocción.....	60
3.3.9.	Transporte.....	61
3.3.10.	Control de calidad en fabricación artesanal.....	62
3.4.	Observación y cálculo de consumo energético en la cocción, como parte del proceso de fabricación.....	63
3.4.1.	Hornos artesanales.....	63
3.4.1.1.	Definición.....	63
3.4.1.2.	Construcción de hornos artesanales.....	63
3.4.1.3.	Desventajas de hornos artesanales.....	65
3.4.1.4.	Colocación de ladrillos dentro del horno.....	65
3.4.1.5.	Cálculo del consumo energético.....	66
3.4.1.6.	Utilización de fuentes alternas de energía.....	67
4.	ENSAYOS APLICADOS A LADRILLO TAYUYO ARTESANAL ARTESANAL.....	69
4.1.	Maquinaria para realizar ensayos.....	70
4.1.1.	Maquinaria y equipo para realizar ensayos de límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico).....	70
4.1.2.	Maquinaria para realizar ensayo equivalente de Arena.....	73
4.1.3.	Maquinaria y equipo para realizar ensayo a compresión de unidades de ladrillo tayuyo artesanal.....	74

4.1.4.	Maquinaria y equipo para realizar ensayo a compresión, corte y adherencia para prismas de ladrillo tayuyo artesanal.....	75
4.2.	Tipos de ensayos.....	77
4.2.1.	Ensayos a muestras de ladrillo tayuyo, tradicionales de barro cencido.....	91
4.2.2.	Ensayos a muestras de ladrillo tayuyo, con escoria de mata de níquel.....	91
4.2.3.	Respuesta de elementos mampostería para la fabricación de muros.....	93
5.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	97
5.1.	Interpretación de resultados.....	97
5.1.1.	Análisis e interpretación de resultados, área de suelos.....	97
5.1.2.	Análisis e interpretación de resultados, área de metales.....	98
5.1.3.	Análisis e interpretación de resultados, prismas de mampostería.....	98
	CONCLUSIONES.....	101
	RECOMENDACIONES.....	103
	BIBLIOGRAFÍA.....	105
	ANEXOS.....	107



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Curva granulométrica de escoria de mata de níquel.....	26
2.	Banco de materia prima ubicado en El tejár, Chimaltenango.....	33
3.	Estrato de suelo para extracción de materia prima.....	34
4.	Vista aérea de Compañía Guatemalteca de Níquel El Estor Izabal.....	36
5.	Partes de un ladrillo (aristas).....	47
6.	Partes de un ladrillo (frontales).....	48
7.	Extracción de materia prima.....	57
8.	Amasado de materia prima.....	58
9.	Reposo o madurado.....	58
10.	Moldeado.....	59
11.	Secado.....	60
12.	Cocción.....	61
13.	Transporte.....	62
14.	Hornos empleados en cocción de ladrillos.....	64
15.	Tamices tipo U.S. estándar.....	70
16.	Copa de casagrande ASTM S4318.....	71
17.	Probeta pipeta para proveer cantidades controladas de agua.....	71
18.	Espátula con hoja flexible para alisar la muestra en la copa.....	72
19.	Equipo para determinación de límite plástico.....	72
20.	Equipo para determinación de equivalente de arena.....	73
21.	Mezclador manual para equivalente de arena.....	73

22.	Balanza con capacidad mínima de 200 g, y aprox. De $\pm 0,5$ g.....	74
23.	Máquina con sistema para compresión de bloques de concreto.....	74
24.	Máquina universal con sistema para compresión de prismas de mampostería.....	75
25.	Gato hidráulico modelo Rc 102, de 10 toneladas.....	76
26.	Gato hidráulico ocuatona Rc 1010, de 10 toneladas.....	76
27.	Análisis químico.....	81
28.	Ensayo límites de Atterberg (límite líquido).....	82
29.	Ensayo límites de Atterberg (límite plástico).....	83
30.	Ensayo equivalente de arena.....	85
31.	Ensayo unidades de ladrillo a compresión.....	86
32.	Dimensiones de prismas.....	87
33.	Prismas a compresión.....	88
34.	Prismas a corte.....	89
35.	Fabricación de muestras de ladrillo bajo proporciones.....	92
36.	Fabricación de prismas de ladrillos.....	94

## TABLAS

I.	Clasificación de arcillas según su origen.....	10
II.	Clasificación de las arcillas en base a datos estructurales y composición.....	13
III.	Superficies específicas de las arcillas.....	18
IV.	Características físicas de la escoria de mata de níquel.....	24
V.	Granulometría de la escoria de mata de níquel.....	25
VI.	Porcentaje de escoria de mata de níquel que pasa en cada tamiz.....	26
VII.	Caracterización física de la escoria de mata de níquel.....	28
VIII.	Ensayos a compresión y tensión de morteros, con escoria de mata de níquel como agregado fino.....	29

IX.	Período de cocción.....	44
X.	Clasificación, designación y usos de los ladrillos de barro cocido.....	51
XI.	Dimensiones nominales de los ladrillos de barro cocido.....	52
XII.	Rangos de índice plástico.....	83
XIII.	Fórmulas para calcular los límites de Atterberg.....	84
XIV.	Resultados de área de metales, para las unidades de ladrillos.....	93
XV.	Datos de ensayos a compresión de prismas.....	95
XVI.	Datos de ensayos a corte de prismas.....	95
XVII.	Resultados de ensayos de laboratorio, aplicados a unidades de ladrillo y a prismas de mampostería.....	96
XVIII.	Resultados de ensayos de laboratorios, aplicados a unidades de ladrillos, y a prismas de mampostería.....	100



## GLOSARIO

<b>Adherencia</b>	Adhesión y enlace entre los morteros de pega y mampostería, el refuerzo y los conectores. Es un indicativo de la capacidad de los morteros para atender esfuerzos normales y tangenciales a las superficies con las cuales se une.
<b>Aglomerante</b>	Cualquier material utilizado para elaborar mortero que no sea agua, agregado o aglomerante
<b>Agregado</b>	Material granular inerte tal como la arena natural, arena artificial, grava y roca triturada que se utilizan para elabora concreto o mortero.
<b>Agregado fino</b>	Material inerte, producto de la naturaleza, trituración o escorias de altos hornos, con granulometría a menor a utilizado como material de construcción.
<b>Agua</b>	Componente que se utiliza para generar reacciones químicas en lo cementantes del concreto hidráulico o del mortero de cemento Portland. Puede ser potable, es decir que sus características químicas y físicas, útil para el consumo humano.
<b>Alfarería</b>	Arte de fabricar piezas de suelo arcilloso, que son sometidas a la cocción.

<b>Amasar</b>	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.
<b>Arcilla</b>	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.
<b>Artesano</b>	Persona con habilidades para transformar la materia en piezas ornamentales o herramientas.
<b>ASTM</b>	American Society of Testing and Materials ó Sociedad Americana para el Ensayo e Inspección de los Materiales.
<b>Calcinación</b>	Consiste en quemar una mezcla, a una temperatura moderada con el fin de extraer el agua química o el bióxido de carbono.
<b>Caolín</b>	Arcilla pura, blanda y blanca con plasticidad variable, en general baja, retiene su color blanco durante la cocción. Su fórmula química ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ).
<b>Coguanor</b>	Comisión Guatemalteca de Normas.
<b>Color</b>	El color resultante se puede cambiar o forzar en forma dramática, según si las piezas se queman en atmósfera oxidante o reductora.

<b>Contracción</b>	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 % más y a esta acción se le conoce como contracción.
<b>Crudo</b>	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.
<b>Densidad</b>	Relación entre el volumen bruto y la masa, peso, de una unidad o espécimen.
<b>Durabilidad</b>	Habilidad de un material para resistir la acción de la intemperie, el ataque químico, la abrasión y otras condiciones de servicio.
<b>Ensayo</b>	Procedimiento al que se somete un espécimen para evaluar alguna característica de éste.
<b>Especimen</b>	Unidad, -o parte de esta-, o porción de mortero que hacen parte de la muestra y que se somete a ensayo.
<b>Estiba</b>	El modo en que se acomodan o apilan los ladrillos dentro del horno, en preparación para una quema, las piezas pueden encimarse unas sobre otras.

<b>Fraguado</b>	Es el cambio del estado plástico al estado endurecido de una mezcla; la cual puede ser una pasta, mortero o concreto.
<b>Granulometría</b>	Es la distribución del tamaño de las partículas de una muestra de agregado, determinada por separación mediante una serie de tamices estandarizados.
<b>Horno</b>	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.
<b>Mampostería</b>	Tipo de estructura que utiliza la combinación de resistencia entre bloque y mortero como parámetro fundamental de diseño.
<b>Mezcla</b>	Agregación o incorporación de varias sustancias o cuerpo que no tienen entre sí acción química.
<b>Molde</b>	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.
<b>Mortero</b>	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.

<b>Pasta</b>	Mezcla de arcillas y otros ingredientes susceptibles de ser quemados que sirve para fabricar los ladrillos.
<b>Plasticidad</b>	Característica de la arcilla que le permite ser moldeada y retener la forma, sin deformarse.
<b>Prisma de mampostería</b>	Muestra representativa de la mampostería de un muro.
<b>Sílice</b>	Óxido de silicio (SiO <sub>2</sub> ). Lo encontramos en la naturaleza, como pedernal o cuarzo. Junto con la alúmina es el componente que forma la base de las arcillas.
<b>Trabajabilidad</b>	Característica plástica de un mortero en cuanto a su facilidad para ser colocado o extendido dentro de una cimbra o molde.
<b>Vaciado</b>	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 se basa en la utilización de la escoria de mata de níquel, como un agregado fino en la fabricación de elementos de mampostería, en este caso para la fabricación de ladrillos tayuyos en forma artesanal.

La escoria de mata de níquel es el resultado de la producción de níquel. Materia prima para producción del acero inoxidable.

La compañía Guatemalteca del Níquel (CGN), en busca de aplicaciones para el material que se produce como excedente derivado de la producción de su principal material que es el níquel, se avoca al Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para que bajo el apoyo profesional supervisado, se lleven a cabo las investigaciones de utilización de escoria de mata de níquel como de agregado fino.

Después de obtenidos estos resultados sobre el análisis de propiedades físico-mecánicas de la escoria de mata de níquel y teniendo en el mercado una diversidad de materiales para la construcción; como lo es la mampostería se propone la utilización de este subproducto como agregado fino en la fabricación de elementos de mampostería.

Al investigar sobre el proceso de fabricación de ladrillo tayuyo, en forma artesanal, en el municipio de El Tejar, Chimaltenango. Se concluye que la escoria de mata de níquel posee las características físico-mecánicas para ser combinada con la arcilla para la fabricación de ladrillo tayuyo.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Mezclar la escoria de mata de níquel con arcilla como agregado fino, para la fabricación de ladrillos tayuyo en forma artesanal.

### **Específicos**

1. Conocer el proceso de fabricación del ladrillo tayuyo en forma artesanal, analizando la importancia de cada etapa de fabricación y su importancia en resultado de un producto terminado.
2. Conocer las características físicas y mecánicas de las arcillas extraídas de los bancos de arcillas del municipio de El Tejar, Chimaltenango,
3. Características físico mecánicas, aplicando ensayos bajo normas, American Society for Testing and Materials (ASTM) y la Comisión Guatemalteca de Normas (Coguanor) a ladrillos usando escoria de mata de níquel.
4. Determinar los factores que determinan la calidad del ladrillo tayuyo, elaborado de forma artesanal en el municipio de el Tejar, Chimaltenango
5. Determinar la proporción en porcentaje de escoria de mata de níquel, con la cual se mejoran las características mecánicas del ladrillo



## INTRODUCCIÓN

El ladrillo tayuyo es un bloque prismático de barro cocido, es utilizado como elemento de mampostería, fabricado a base de arcillas. En Guatemala la metodología para su fabricación es variada, siendo estas de forma industrial y artesanal. Puede obtener elementos de diferentes dimensiones y formas en su fabricación.

La fabricación de ladrillos de forma artesanal, se localiza principalmente en el altiplano central guatemalteco como en el municipio de El Tejar, Chimaltenango. Utilizando una técnica tradicional en su elaboración, estos artesanos elaboran principalmente ladrillos en forma prismática llamados ladrillos tayuyo, con dimensiones de 0,115 x 0,235 x 0,055 m, dicha producción se deriva de la abundancia de materiales locales para su elaboración.

La importancia de los materiales usados en la ingeniería civil, es ampliamente reconocida, pero sólo en los últimos años ha tenido énfasis para la aplicación de sus propiedades. Actualmente la minería guatemalteca provee al mercado de diferentes tipos de agregados para materiales de construcción, tales como pétreos y metálicos.

Teniendo el recurso de la minería guatemalteca, se selecciona la escoria de mata de níquel, por sus propiedades físico-mecánicas, para combinarla con la arcilla, con el objetivo de fabricar ladrillo tayuyo en forma artesanal, se encuentran bases teóricas y científicas, estas aplicadas a la experimentación. Se encuentran resultados que mejoren sus propiedades, se verá como un producto mejorado y de aprovechamiento nacional.



# **1. CONCEPTOS BÁSICOS DE MATERIAS PRIMAS**

## **1.1. Conceptos básicos**

### **1.1.1. Generalidades de las arcillas**

Las arcillas son partículas sólidas de origen sedimentario, con diámetro menor de 0,005 mm que al ser mezcladas con agua tienen la propiedad de volverse plásticas, dúctiles y maleables. Las formas que se le confieren cuando está húmeda se conserva tras la desaparición del agua. Se endurece permanentemente cuando se cuece o calcina y desaparecen la materia orgánica contenida en la materia prima.

Químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en algunas ocasiones contiene silicatos de hierro o de magnesio hidratados.

Las arcillas se componen de un grupo de metales y no metales, su origen es mineral de alúmino-silicatos formados por la meteorización de rocas feldespáticas, como el granito. El grano es de tamaño microscópico y con forma de escamas, esto hace que la superficie de agregación sea mucho mayor que su espesor, lo que permite un gran almacenamiento de agua por adherencia, dando plasticidad a la arcilla y provocando la hinchazón de algunas variedades.

La abundancia de la arcilla en la naturaleza, su relativa facilidad de tratamiento y la resistencia e impermeabilidad de este elemento lo convirtieron en un material profusamente utilizado por las sociedades antiguas.

El papel que desempeñó en las grandes civilizaciones del mundo antiguo es crucial tanto para la comprensión de dichas sociedades como para el mejor conocimiento de nuestra propia cultura que, en gran parte, es heredera de aquellas comunidades.

La arcilla como material constructivo pasó por un largo proceso evolutivo encaminado a mejorar su calidad, proyectado a ser material de edificación.

#### **1.1.1.1. Aplicación de las arcillas en Guatemala**

El principal uso de las arcillas comunes se da en el campo de la cerámica de construcción; son tejas, ladrillos, tubos, baldosas, etc, alfarería tradicional, lozas y azulejos. Prácticamente todas las arcillas son aptas para estos usos, prevaleciendo las consideraciones económicas. Así mismo, son utilizadas en la manufactura de cementos, como fuente de alúmina y sílice, y en la producción de áridos ligeros (arcillas expandidas).

Dependiendo de su contenido mineralógico, también se utilizan en la fabricación de papel, fabricación de materiales cerámicos como porcelana, gres, loza sanitaria o de mesa, electrocerámica, y de refractarios, aislantes térmicos y cementos, carga de abonos, pesticidas y alimentos para animales. La industria química consume cantidades importantes en la fabricación de sulfato, fosfato y cloruro de aluminio, así como para la fabricación de zeolitas sintéticas.

También se utiliza para la obtención de catalizadores y fibras de vidrio. La industria farmacéutica utiliza caolín como elemento inerte en cosméticos y como elemento activo en absorbentes estomacales. Estas se denominan arcillas especiales; son arcillas constituidas fundamentalmente por un sólo tipo de mineral, y sus propiedades dependen esencialmente de las características

de ese mineral. Estas, a pesar de ser mucho menos importantes en volumen, suponen más del 70% del valor de las arcillas comerciales, y son objeto de comercio internacional.

### **1.1.2. Níquel**

- Clasificación: Material Básico
- Elemento Atómico: No. 28
- Símbolo: Ni

El níquel es el quinto elemento más común sobre la tierra, después del hierro, oxígeno, silicio y manganeso. La corteza de la tierra contiene 75 partes de níquel por millón y en el agua está presente en una cantidad de 0.3 por millón. Este mineral es parte importante del metabolismo de los seres vivos, incluidos los seres humanos.

#### **1.1.2.1. Proceso de transformación**

Se encuentra en los yacimientos de El Estor, Izabal. Llamado pirometalurgia y se logra a través de calor, no de químicos reactivos. También es importante mencionar que este proceso no utiliza explosivos, ni cianuro. El agua que se utilizara será reticulada a través de torres de enfriamiento y el único producto de desecho que resultara es un residuo (escoria) cuyo impacto es benigno y podría considerarse un agregado para la industria de la construcción.

### **1.1.2.2. Definición de escoria**

La escoria es un residuo o desecho inerte, formado fundamentalmente por (serpentina, magnetita y goethita) hierro, silicio, aluminio y magnesio, que aparece en el proceso de producción de la combinación de hierro y níquel y que al fundirse como metal desecha una escoria granulada de diversidad de tamaños.

### **1.1.2.3. Tipos de escoria**

El proceso de transformación de la materia en especial para conseguir metales puros particularmente metales, se desecha cierto tipo de materiales acompañantes en grandes cantidades, conocidas como escorias; entre las cuales se encuentran:

- Escoria granulada de altos hornos, método para producir mata de níquel de alta calidad y escoria, en una combinación de horno fundidor de suspensiones y algún otro horno pirometalurgico.

Para producir mata de níquel de alta calidad y escoria, en una combinación de horno fundidor de suspensiones y algún otro horno sin conversión del tipo de carga, de modo que al menos parte del concentrado y/o mena cargado(s) en el proceso primero se refina pirometalurgicamente hasta mata de níquel que luego se carga en el horno fundidor.

Para la producción de mata de níquel de alto grado a partir de materiales crudos que contienen níquel, cuando menos parcialmente refinados en forma pirometalurgico.

Para producir escoria y mata de níquel de alto grado en una combinación de un horno fusor de suspensión y algún otro horno pirometalurgico, sin una conversación separada de tipo por carga, de manera que cuando menos parte del concentrado y/o mena alimentada dentro del proceso es primero refinada.

## **1.2. Características físicas y mecánicas**

### **1.2.1. Características físicas y mecánicas de las arcillas**

Las arcillas se emplean como materiales de ingeniería debido a su resistencia mecánica, dureza, resistencia al calor y a la corrosión elevada, así como a sus propiedades eléctricas, magnéticas y ópticas deseables. El conocimiento de la estructura de un material de construcción, como es el caso de la arcilla, es indispensable para comprender sus propiedades y, en definitiva, para resolver el problema práctico de dónde y cómo utilizarlo a fin de lograr el mayor efecto técnico-económico.

Una gran ventaja de las arcillas es que con frecuencia son resistentes al ataque químico por gases, líquidos e incluso materiales fundidos a elevada temperatura. Ello combinado con su extraordinaria resistencia a la alta temperatura, las hace adecuadas para aplicaciones como recubrimientos resistentes a la temperatura para hornos (refractarios).

#### **1.2.1.1. Origen de los silicatos**

Aún con las técnicas modernas disponibles hoy en día, el conocimiento que tenemos de la corteza terrestre es muy limitado, ya que sólo se ha explorado una pequeña porción del casquete 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 encontramos la capa llamada SIAL, situada entre los 40 y 100 km de profundidad, que es rica en sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y aluminio, es de tipo ácido y con una densidad media de 2,7. Más hacia el interior hallaremos 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 a 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 básicas como los basaltos. En cambio, la afloración del material fundido proveniente de la capa SIAL, a través de las hendiduras y fallas, originó la formación de las rocas ígneas de carácter ácido.

Las segregaciones del magma caliente, su migración y su compactación posteriores, dieron origen a diversos minerales, como las cromitas, magnetitas, 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 efectuarse por vía fluvial, es decir, por acción de los ríos o bien por medio de los glaciares y los vientos. El resultado fue su 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, etc.

#### **1.2.1.2. Origen de las arcillas**

La arcilla es un silicoaluminato hidratado, es decir que 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 neo-formación
- 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.

Los otros dos 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 encontramos que el primer mecanismo fue más común en las regiones árticas, mientras que la neo-formación y la transformación resultaron dominantes en los trópicos húmedos.

A continuación se presenta un glosario de los apelativos más comunes de algunas arcillas:

- Arcilla figulina: es aquella que contiene impurezas como la arena, la caliza y los 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, etc. 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 amarilla o negra

debido al óxido de hierro hidratado. Esta particularidad de las arcillas explica por qué en algunas regiones el barro es negro o rojizo.

- Arcilla magra y arcilla grasa: estos materiales contienen cierto grado de impurezas, lo que afecta sus propiedades plásticas, es decir, que 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 se les dio con telas y 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.
- 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 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 se vuelven repelentes al agua.

### 1.2.1.3. 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 I. 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 residual impura Arcilla caolinítica	
			Productos de meteorización ordinaria más acción química	De Rocas Cristalinas	Bauxita	
				Rocas Sedimentarias	Bauxita	
					Díásporo	
	Materia Transportada	Depositado en aguas sin o poca acción de corrientes, en mares, lagos, pantanos, etc.	Productos de meteorización ordinaria		Lutita argilacea Limo argilaceo	
				Productos de meteorización ordinaria más intensa acción química adicional	Caolín sedimentario Arcilla bola Algunas bauxitas Arcillas bituminosas Díásporo	
			Productos de trituración algo meteorizados	Depositado por aguas de suave movimiento, arroyos, estuarios, etc.	Lutita silicea Limo siliceo	
				Depositado por acción glacial	Arcilla glacial o till	
				Productos de abrasión más ligera meteorizados	Depositado por vientos	Loess

Fuente: OSORIO, Norma. Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales, p.7.

#### **1.2.1.4. Estructura de las arcillas**

La estructura laminar de las arcillas permite el almacenamiento de agua en el espacio ínter laminar, formando así agregados difíciles de romper. La combinación de la arcilla con la materia orgánica del suelo y algunos óxidos minerales contribuye a la estabilidad estructural necesaria para resistir los efectos mecánicos destructivos.

La porosidad interna de las hojuelas de arcilla y su carga electrostática asociada son adecuadas para la absorción de especies tales como los cationes de potasio ( $K^+$ ), magnesio ( $Mg^{++}$ ) y amonio ( $NH_4^+$ ), los cuales son liberados bajo condiciones ácidas apropiadas, pudiendo ser absorbidos por las raíces de las plantas.

#### **1.2.1.5. Geología de las arcillas**

Las arcillas pueden producirse por diferentes procedimientos:

- Hidrólisis e hidratación de un silicato -silicato alcalino + agua = silicato aluminico hidratado + hidróxido alcalino.
- Disolución de una caliza u otra roca que contenga impurezas arcillosas relativamente insolubles que quedan como residuo.
- Acción de los agentes atmosféricos sobre las lutitas -rocas sedimentarias ricas en arcillas.

- Sustitución de una roca por arcilla invasora y arrastre de los componentes de aquella en parte o en su totalidad por el agua.
- Depósito de arcilla arrastrada por agua en cavidades o venas. La acción de los agentes atmosféricos y otros procesos afines pueden operar en todos los casos indicados y evidentemente han predominado en la formación de arcillas durante la época geológica.

Las arcillas pueden producirse a profundidades considerables gracias a esas alteraciones hidrotermales, en tanto que los yacimientos debido a la acción de los agentes atmosféricos en la superficie no se forman a profundidades mayores que aquellas a las cuales pudieran circular las aguas superficiales en la época en que se produjo la meteorización.

En muchos yacimientos la arcilla ha sido transportada, después de la acción de los agentes atmosféricos, por gravedad, viento, corrientes de agua, olas o el hielo, y han sido depositadas en lechos o capas de otras rocas sedimentarias.

#### **1.2.1.6. Mineralogía de las arcillas**

La arcilla es una roca sedimentaria compuesta de uno o varios minerales, rica en silicatos hidratados de aluminio, hierro o magnesio, alúmina hidratada u óxido férrico, con predominio de partículas de tamaño coloidal o casi coloidal, dotada comúnmente de plasticidad cuando está suficientemente pulverizada y humedecida, rígida cuando está seca y vítrea cuando se calcina a suficiente temperatura.

Los estudios mineralógicos han clasificado las arcillas en base a datos estructurales y composición en cinco grupos:

Tabla II. **Clasificación de las arcillas en base a datos estructurales y composición**

<b>MINERALOGÍA DE LAS ARCILLAS</b>				<b>Origen</b>
<b>GRUPO</b>	<b>Cristalinos</b>	Caolín	Caolinita Dickita Nacrita Anauxita Halloysita Endelita	Hidrotermal- meteorización Meteorización Hidrotermal Meteorización Hidrotermal- meteorización Meteorización
		Montmorillonita	Montmorillonita Nontronita Saponita Beidelita Hectorita	Meteorización Hidrotermal Hidrotermal Hidrotermal Meteorización
		Illita o Hidromicas	Illita	Meteorización
		Attapulgita Sepiolita	Attapulgita Sepiolita	Meteorización Meteorización
	<b>Amorfos</b>	Alófana	Alófana	Meteorización

Fuente: OSORIO, Norma. Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales, p. 22.

#### **1.2.1.6.1. Grupo caolín**

Son los más usados en la industria, la caolinita suele producirse por la hidrólisis del feldespato y de otros silicatos por la acción de aguas hidrotermales al elevarse hacia la superficie o por la meteorización ordinaria de rocas, principalmente ígneas ácidas, en la superficie.

En la descomposición geológica por agentes atmosféricos, la caolinita se forma por la descomposición en medio oxidante y en condiciones ácidas y en medio reductoras cuando se eliminan las bases (Mg, alcalisis, FeO). La eliminación de las bases es el factor esencial para la formación del caolín.

#### **1.2.1.6.2. Grupo montmorillonita**

Estos minerales se han formado por descomposición superficial de rocas por los agentes atmosféricos, procesos hidrotermales a baja temperatura, alteración de cenizas volcánicas en capas estratificadas, por la acción de aguas circulantes de origen desconocido a lo largo de fracturas y vetas. El medio en que se forma la montmorillonita por neutralización contrasta con el que favorece a la formación de la caolinita.

#### **1.2.1.6.3. Grupo illita o hidromica**

Los minerales de este grupo, tienen potasio y propiedades semejantes a las de la mica moscovita, poco es lo que puede decirse sobre las condiciones en que se produce la illita, probablemente procede de la montmorillonita por fijación de potasa adsorbida.

#### **1.2.1.6.4. Grupo attapulgita y sepiolita**

La attapulgita, es único entre los minerales arcillosos por su estructura reticular en forma de cadena, a diferencia de las formas laminares y hojosas de los anteriores grupos. Es una arcilla rica en magnesio.

La sepiolita, es también un silicato magnésico hidratado fibroso que se asemeja a la attapulgita.

#### **1.2.1.6.5. Grupo alófana**

Es una solución sólida y amorfa de sílice, alúmina y agua.

#### **1.2.1.7. Clasificación primaria, de carácter físico**

- Arcillas refractarias plásticas.
- Arcillas refractarias semipedernal: estas arcillas son 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.

#### **1.2.1.8. Clasificación de acuerdo a fusibilidad**

- Arcillas altamente refractarias
- Arcillas refractarias
- Arcillas semirefractarias
- Arcillas de baja refractariedad

#### **1.2.1.9. Gres**

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

Suele recurrirse a uno o dos materiales para la fabricación de gres. Uno de ellos es, por lo general, la arcilla refractaria, y los demás componentes son materiales muy fusibles (arcillas especiales y feldespatos).

#### **1.2.1.10. Porcelana**

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

Para la construcción sólo se emplea la porcelana vitrificada, semi-porcelana o loza, destinada a la fabricación de piezas sanitarias. La loza es un producto cerámico de color blanquecino, muy poroso y absorbente, y con superficies esmaltadas para mayor impermeabilidad y dureza.

#### **1.2.1.15. Azulejos**

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 o caolín y en hierro.

### **1.2.1.12. Propiedades de las arcillas**

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a  $2\mu\text{ m}$ ).
- Su morfología laminar (filosilicatos).
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio inter laminar.

Como consecuencia de estos factores, presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interaccionar con muy diversas sustancias, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla/agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar.

#### **1.2.1.12.1. Superficie específica**

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en  $\text{m}^2/\text{g}$ .

Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad.

Tabla III. **Superficies específicas de arcillas**

<b>SUPERFICIES ESPECÍFICAS DE ARCILLAS</b>		
<b>GRUPO</b>	Caolinita de elevada cristalinidad	15 m <sup>2</sup> /g
	Caolinita de baja cristalinidad	50 m <sup>2</sup> /g
	motmorillonita	80-300 m <sup>2</sup> /g
	Illita o Hridromitas	50 m <sup>2</sup> /g
	Attapulgita Sepiolita	100-240 m <sup>2</sup> /g

Fuente: OSORIO, Norma. Caracterización de las arcillas Para la fabricación de ladrillos artesanales, p. 32.

#### **1.2.1.12.2. Capacidad de absorción**

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) ya que algunas arcillas pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio ínter laminar o en los canales estructurales.

Existen tipos de procesos que difícilmente se presentan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato (sustancia, generalmente sólida, con una gran capacidad de adsorción, suele tener estructura porosa) con respecto a la masa y depende de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso.

#### **1.2.1.12.3. Hidratación e hinchamiento**

La hidratación y deshidratación del espacio ínter laminar son propiedades características de las esmectitas, y cuya importancia es crucial en los diferentes usos industriales. La hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación está ligado a la naturaleza del catión ínter laminar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio ínter laminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras.

Cuando el catión ínter laminar es el sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, caso contrario ocurre con el calcio o magnesio como cationes de cambio, su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida.

#### **1.2.1.12.4. Plasticidad**

Las arcillas son eminentemente plásticas. Su capacidad de retención de agua se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso.

En los ensayos físicos se pretende encontrar relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad que ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal, en general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

#### **1.2.1.12.5. Tixotropía**

La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo.

Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido, si posteriormente se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Si es próximo a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.

#### **1.2.2. Características físico-mecánicas de la escoria de mata de níquel**

La escoria es un subproducto residual de mineral fundido para purificar metales. A altas temperaturas, las impurezas del mineral se separan del metal fundido y se remueve para formar una mezcla inerte de óxidos de metal. Las propiedades químicas y físicas de la escoria dependen de la mineralogía ultramáfica de mineral alimentado y del proceso de fundición.

El subproducto de escoria se somete a una graduación por medio de inyectoras de agua de alta presión, que sumergido bajo agua y eventualmente refinado es transferido al depósito de almacenamiento. Sin embargo, ya que la planta Fénix no está operando en estos momentos, no se encuentra escoria generada recientemente para realizar una caracterización geoquímica.

El análisis de las caracterizaciones de desecho de la escoria añejada de Exmibal's y la escoria de Cerro Matoso desde hace tres años indica que estas sustituidas tienen una naturaleza química benigna. Por lo tanto, la futura escoria de níquel puede tener alto potencial para volverse a utilizar.

#### **1.2.2.1. Aplicaciones de la escoria de mata de níquel**

En la actualidad la escoria de mata de níquel que fue producida por la empresa Exmibal se encuentra almacenada en bancos a lado de la minera, a la intemperie, a la cual se le busca un uso específico, debido a que ya se ha iniciados las primeras investigaciones y aplicaciones con resultados satisfactorios, conociendo sus características físico-mecánicas y químicas, se pueden proponer futuras aplicaciones para la escoria de mata de níquel.

Estos son algunos de los usos actuales de la escoria en otros países:

- Arenado
- Cerámica
- Construcción
- Agricultura
  
- Ventajas de utilizar escoria como abrasivo, arenado
  - El tamaño de las partículas de las escoria las hace ideales para el arenado de la mayoría de las operaciones de limpieza
  - Índice de limpieza satisfactorio
  - Económico
  - Bajo contenido de sílice

- Clasificación tóxica moderada baja.
  - El tamaño de las partículas puede ajustarse en el momento de cambiar la frecuencia de enfriamiento de la graduación.
- Cerámica

Algunas empresas en otros países han convertido una gran cantidad de material de escoria para ser utilizada en la cerámica, tejas, ladrillos, materiales de construcción y otros productos industriales.

- Construcción

En la construcción, la escoria puede ser utilizada como un suplemento o agregado del concreto y en las aplicaciones de techo de teja, siempre dependiendo de las características químicas, físicas y propiedades mecánicas de la escoria.

La escoria es un material compuesto utilizado para soportar esfuerzos compresivos. Esta escoria puede ser utilizada en las superficies de las carreteras, concreto o mezclas bituminosas. En Norte América, la escoria de ferroníquel es utilizada como agregado fino para diferentes aplicaciones.

Tabla IV. **Características físicas de la escoria de mata de níquel**

Peso Específico	2,88
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1750,50
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1690,70
Porcentaje de Vacíos	39,21
Porcentaje de Absorción	13,83
Contenido de Materia Orgánica	0,00
% Retenidos en Tamiz 6.35	0,88
% que pasa Tamiz 200	0,25
Módulo de Finura	2,84

Fuente: SAMAYOA, Eber. Evaluación de la escoria de ferroníquel como agregado fino para morteros de albañilería y acabados, p.59.

De acuerdo a los límites que establece la norma ASTM C-33 respecto al agregado fino (la escoria de mata de níquel), se puede decir que:

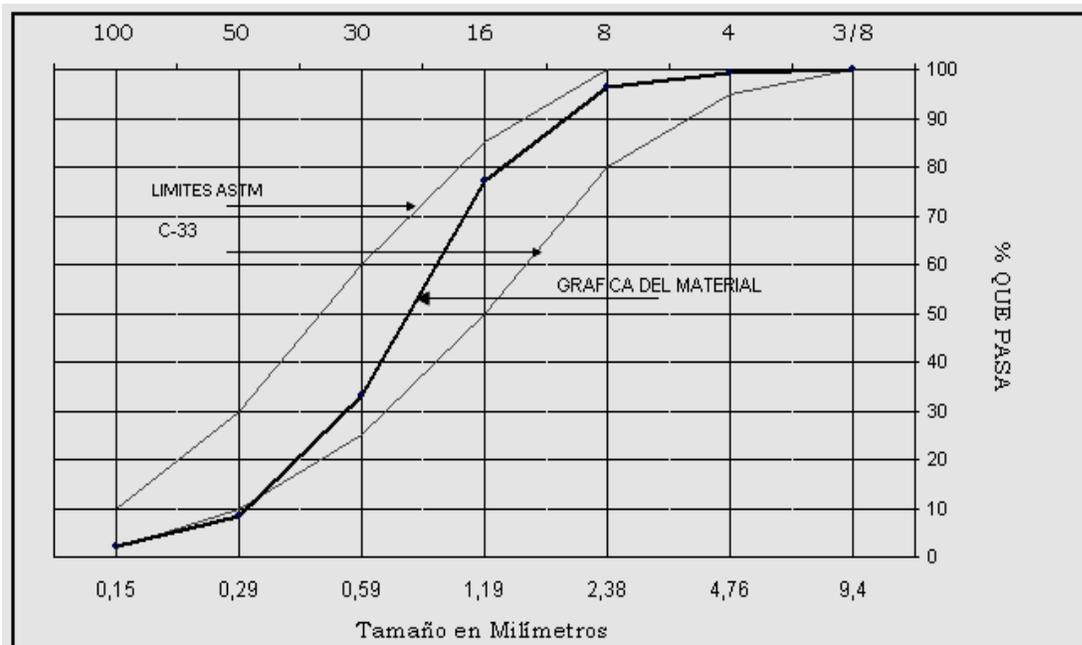
- El contenido de materia orgánica según la clasificación colormétrica fue 0. Por lo tanto si cumple con el límite que es 3, según la norma ASTM C 40.
- El módulo de finura es de 2,84, la especificación indica que debe estar entre 2,3 y 3,1. Si cumple, según Norma ASTM C 125.
- El peso específico, peso unitario y porcentaje de absorción son características físicas propias de cada material.

Tabla V. **Granulometría de la escoria de mata de níquel**

<b>GRANULOMETRÍA</b>				
Tamaño de Tamices	Peso material retenido	% Retenido Individual	% Retenido Acumulado	% Pasa Acumulado
3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00
# 4	3,8	0,76	0,76	99,24
# 8	18,7	2,98	2,98	96,26
# 16	113,9	19,04	19,04	77,22
# 30	33,4	44,30	44,30	33,92
# 50	488,3	24,70	24,70	8,22
# 100	488,3	5,89	5,89	2,33
FONDO	500,00	2,33	2,33	0,00

Fuente: SAMAYOA, Eber. Evaluación de la escoria de ferroníquel como agregado fino para morteros de albañilería y acabados, p.60.

Figura 1. **Curva granulométrica de escoria de mata de níquel**



Fuente: SAMAYOA, Eber. Evaluación de la escoria de ferroníquel como agregado fino para morteros de albañilería y acabados, p.60.

Tabla VI. **Porcentaje de escoria de mata de níquel que pasa en cada tamiz**

Tamiz No.	9,40	4,76	2,38	1,19	0,59	0,29	0,15
% Que pasa	100,00	99,24	96,26	77,22	32,92	8,22	2,33

Fuente: SAMAYOA, Eber. Evaluación de la escoria de ferroníquel como agregado fino para morteros de albañilería y acabados, p.61.

La granulometría se cumple en los tamices No. 4, No. 8, No. 16, No. 30 y No.100, y no se cumple en el No.50 Por lo tanto en general SI, está de acuerdo con la especificación de la norma ASTM C33

### **1.2.2.2. Morteros**

Es la mezcla entre material cementante, agregado fino (arena) y agua, que al endurecer desarrolla propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto, con propiedades similares a la roca.

La principal función del mortero es la de unir las unidades de mampostería y servir de sello para impedir el paso de aire y agua que afecta la durabilidad del muro. Desde el punto de vista estructural el mortero tiene la función de soportar cargas a compresión y resistir esfuerzos de corte y flexión. Estéticamente el mortero es diseñado para recubrir las paredes y cielos de una construcción añadiendo una textura y color muy particular, logrando la presentación que la obra requiere.

### **1.2.2.3 Tipos y usos de morteros**

Los morteros se pueden clasificar en dos tipos:

- Los aéreos, que endurecen bajo la influencia del aire al perder agua y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación.
- Los hidráulicos, que endurecen bajo efecto del agua, ya que poseen en su composición elementos que se obtienen por calcinación de calizas impurificadas con sílice y alúmina que les permiten desarrollar resistencias iniciales relativamente altas.

Entre los que pueden mencionarse y que se clasifican según la norma ASTM C-270 Specification for mortar for unit masonry (Especificación para mortero de mampostería).

**1.2.2.4. Fabricación de mortero utilizando escoria mata de níquel como agregado fino.**

Los resultados de investigaciones previas demuestran el buen resultado de la utilización de escoria de mata de níquel para la fabricación de mortero utilizando como guía la norma ASTM C-270 en la cual indica las cantidades necesarias para obtener diferentes clases en función del tipo de mortero que se desea.

Tabla VII. **Características físicas de la escoria de mata de níquel**

<b>Características físico-mecánicas de Morteros fabricados con Escoria de Mata de Níquel</b>									
<b>Diseño de Mezcla</b>	<b>Masa Unitaria de Morteros</b>				<b>Diseño</b>				
	Peso Bruto (g)	Peso Tara (g)	Volumen Tara (lts)	Masa Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	Retención de agua (%)	Trabaja bilidad (mm)	Masa Unitaria (kg/m <sup>3</sup> )	Velocidad de Endurecimiento (mm)	
								Inicial	Final
1:2.75:0.57	1 623,70	548,4	0,40	2 688,25	94,69	61,00	2 688,25	277,78	550,00
1:2:0.50	1 608,70	548,4	0,40	2 650,75	74,67	52,50	2 650,75	260,00	442,11
1:3.13:0.25 :75	1 406,00	548,4	0,40	2 144	81,25	55,00	2 144,00	300,00	600,00

Fuente: SAMAYOA, Eber. Evaluación de la escoria de ferroníquel como agregado fino para morteros de albañilería y acabados, p.64.

Tabla VIII. **Ensayos a compresión y tensión de morteros, con escoria de mata de níquel como agregado fino**

<b>DISEÑO DE LABORATORIO</b>							
<b>Ensayo</b>		<b>Diseño No. 1</b>		<b>Diseño No.2</b>		<b>Diseño No.3</b>	
		<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>PSI</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>PSI</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>PSI</b>
Resistencia a la Compresión	3 días	172,31	2 450,78	183,09	2 604,18	97,00	1 397,71
	7 días	207,31	2 948,65	230,95	3 284,85	128,52	1 8927,98
	28 días	301,13	4 291,62	341,95	4 866,65	168,43	2 395,67
Resistencia a la Tensión	3 días	17,23	2 45,00	19,69	280,00	15,23	216,67
	7 días	16,78	2 38,67	23,15	329,33	18,21	259,00
	20 días	28,47	405,00	31,01	441,00	27,54	391,67

Fuente: SAMAYOA, Eber. Evaluación de la escoria de ferróníquel como agregado fino para morteros de albañilería y acabados, p.68.

Comprobando los mejores resultados se obtuvieron con la proporción para el mortero fue el diseño No. 2, este será el tomado para la fabricación de prismas, los cuales serán construidos de ladrillo tatuyo de barro cocido en forma artesanal.



## **2. OBTENCION DE MUESTRAS DE MATERIAS PRIMAS**

### **2.1. Obtención de muestras**

#### **2.1.1. Obtención de muestras de arcilla**

##### **2.1.1.1. Municipio de El Tejar, departamento de Chimaltenango**

- Ubicación: 52 kilómetros de ciudad de Guatemala.
- Extensión territorial: 144 km<sup>2</sup>.
- Altitud: 1,765 metros sobre el nivel del mar.
- Latitud: 14° 38' 45".
- Longitud: 90° 47' 30".

#### **-Fisiografía**

El departamento de Chimaltenango posee clases misceláneas de terreno, y suelos de las montañas volcánicas, cubriendo éstos últimos alrededor de un doceavo del área del departamento, encontrándose estas en un alto grado de erosión causadas por las correntadas de invierno, alterada por el excesivo uso y explotación de los suelos. El área ha sido cubierta por cenizas volcánicas, principalmente pomáceas, una pequeña parte yace sobre esquistos y arcilla esquistosa a poca profundidad.

El municipio de el Tejar (antiguamente llamado San Sebastián), está situado al este del departamento, en una extensa planicie así como dentro de él se encuentra el cerro Santizo, ocupa el séptimo lugar en tamaño en el departamento.

Su suelo presenta variaciones en su estructura, mientras que en la parte sur sus tierras son aptas para cultivos, parte del centro y norte son arcillosas, produciendo un barro colorado y negro, materia prima para la fabricación de ladrillo, teja y otros productos.

#### -Hidrografía

#### Riachuelos

Ríos: Gualacate

- Barranca Chiquita
- Barranca San Miguel
- El Zapotillo
- Barranca Grande
- Los Baños

#### -Condiciones climáticas

El clima del área de Chimaltenango varía de templado, húmedo-seco en el norte, y cálido-húmedo en el sur. La temperatura media es de 18,8 °C, la máxima de 26,5 °C, y la mínima de 1,5 °C. (INE, 2000).

#### -Recursos naturales

#### Suelos

Los suelos en general de El Tejar son arcillosos, franco arcillosos, franco arenoso, arenoso. Como uso potencial para la fabricación de ladrillos, tejas y baldosas.

### 2.1.1.2. Selección de área para muestreo

En Guatemala existe gran cantidad de pequeñas industrias familiares artesanales que se dedican a la fabricación de ladrillos, estas pequeñas fábricas se encuentran diseminadas en un 80% en el altiplano del país, para ser precisos en el municipio del Tejar departamento de Chimaltenango.

Dado que la arcilla utilizada por la mayoría de las ladrilleras provienen de los mismos bancos de material, se solicita apoyo al propietario de una de ellas, quien es un importante distribuidor y transportador de esta materia prima, con quien se trabajo la fabricación del muestreo. Para dicha investigación se partió desde la visita a los bancos de materia prima y la fabrica artesanal para observar las características de la arcilla extraída.

Figura 2. **Bancos de materia prima, ubicado en El Tejar, Chimaltenango**



Fuente: banco de materia prima, al norte de municipio de Tejar, departamento de Chimaltenango.

### 2.1.1.3. Inspección visual y de textura

La textura de la arcilla cruda será útil solamente si es blanda con lo cual la finura relativa puede apreciarse al tacto. Sin embargo, muchos materiales de grano fino se presentan en masa duras que han de moldearse antes de que se puedan determinar sus propiedades.

Figura 3. Estrato de suelo para extracción de materia prima



Fuente: extracción materia prima, al norte de municipio de El Tejar, departamento de Chimaltenango.

## **2.1.2. Obtención de muestras de escoria de mata de níquel**

### **2.1.2.1. Municipio de El Estor, departamento de Izabal**

-Ubicación:	305 kilómetros de ciudad de Guatemala.
-Extensión Territorial:	2 896 km <sup>2</sup> .
-Altitud:	1,65 metros sobre el nivel del mar.
-Latitud:	15,5333333°.
-Longitud:	-89,35°.
-Temperatura:	25°C/77°F.

En este municipio se ubica la minera Compañía guatemalteca de Níquel S.A (CGN), la cual actualmente posee las instalaciones de la antigua minera Exmibal, esta industria hasta el año 1978 producía níquel, metal que es base para la producción de acero inoxidable, el cual es de gran valor en el mercado. Como subproducto derivado del proceso de la extracción de níquel se obtiene la escoria de mata de níquel, la cual se encuentra almacenada en bancos de gran volumen dentro de las instalaciones de la planta, y para lo cual se busca un uso alternativo.

Al realizarse la visita técnica de campo, a la planta de la Compañía Guatemalteca de Níquel (CGN), ubicada en el municipio de El Estor del departamento de Izabal, como un subproducto la escoria de mata de níquel, se visito el banco de escoria de mata de níquel el cual esta apilado en una cantidad aproximada de dos millones de toneladas, se procede a obtener la muestra que servirá para realizar los ensayos de la fabricación de ladrillo tayuyo en forma artesanal.

Figura 4. **Vista aérea de Compañía Guatemalteca de Níquel (CGN), El Estor Izabal**



Fuente: Vista aérea de Compañía Guatemalteca de Níquel (CGN), El Estor Izabal  
fotos aéreas, Jonathan Boarini de flickr.com.

### **3. ELABORACIÓN DE LADRILLO TAYUYO EN FORMA ARTESANAL**

#### **3.1. Conceptos básicos**

##### **3.1.1. Tratamiento de la arcilla en la antigüedad para la fabricación ladrillo artesanal**

Entre las ciencias que aportan mayor información se encuentran la Etnología y la Etnoarqueología, debido a que estudian el proceso de fabricación tradicional, lo que permite obtener información sobre la actividad alfarera en la antigüedad.

Sin embargo, las técnicas no industriales constituyen un conjunto poco estandarizado y las variaciones regionales e incluso locales son muy abundantes. Esto se debe ante todo al carácter artesanal e individual de las realizaciones y a los diferentes acabados finales que se pretendía conseguir.

Se describe un conjunto de actividades encaminadas a la obtención de ladrillos fabricados artesanalmente muchas de las técnicas que se refieren siguen siendo empleadas hoy día por alfares de producción artesanal.

### **3.1.2. 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: la caolinita, montmorillonita y la illita, todos ellos de estructura hojosa; no se encuentran puros, sino mezclados, aunque predomine un material determinado.

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

### **3.1.3. Tamaño de partícula**

Es una característica muy importante, ya que influye en varias propiedades, tales como plasticidad, poder de secado, capacidad de intercambio de base.

Las arcillas de grano fino se caracterizan por un contenido elevado de agua. Estas arcillas suelen ser muy plásticas y poseen gran resistencia en seco y tienden a disminuir mucho sus dimensiones.

#### **3.1.4. Impurezas**

Las impurezas que vienen mezcladas con la arcilla, son sílice, alúminas, carbonato de cal, óxido de hierro y arena. Otras impurezas que se presentan en menor proporción son magnesia y yesos. La más peligrosa es el carbonato de calcio, porque una vez amasada la mezcla y cocida, se hidrata debido a la humedad del ambiente y causa una serie de roturas en el material.

El carbonato de calcio, se presenta generalmente en un orden del 20% a 25%, y la arcilla aún puede ser utilizada para la fabricación de ladrillos siempre que estén íntimamente mezclados.

Las cantidades menores de carbonato de calcio pueden ser perjudiciales cuando se dan en forma de partículas o gránulos, que por la cocción, se convierten en cal viva y rebajan notablemente la calidad del ladrillo. En este caso, es bien conocido que la partícula de cal viva se aparece cuando el ladrillo se somete a la simple acción del aire húmedo del que toma agua, produciéndose un aumento de volumen de la cal viva en su transformación en carbonato agrietándose el ladrillo.

#### **3.1.5. Contracción**

Entre las causas de fisura de los ladrillos la principal es la contracción. Es demasiado arriesgado trabajar con arcilla que se contraiga más del 7%. Nunca puede predecirse de una manera general que % de retracción puede tolerar la arcilla, pues cada tipo de suelo, ofrece características diferentes. Esta propiedad define el tamaño del ladrillo.

En algunos casos una arcilla se puede contraer hasta un 10% y resiste perfectamente un secado hasta cierto punto violento, debido a la contextura especial de sus componentes. Por lo general, cuando una arcilla se contrae más del 7% hay riesgo de que las piezas se fisuren o se deformen en el secado. Es recomendable buscar suelos magras, para mezclar con la arcilla cuya contracción sea peligrosa.

La contracción experimentada por una arcilla en el secado y en el horneado es llamada contracción total, esta no debe ser más de un 12% para evitar dificultades en la fabricación de los ladrillos. En el proceso de secado, una pieza de arcilla se encoje durante dos etapas del calentamiento:

- Durante el secado ambiental y hasta 110 grados centígrados.
- De 110 grados centígrados, hasta 1 000 grados centígrados, durante la cocción.
- Los valores de contracción para el caolín crudo es de 5-8% y el de la arcilla para ladrillo es 1-6%.

### **3.1.6. Secado natural**

El secado natural es una de las más difíciles etapas en la elaboración del ladrillo y precisamente por esto un gran porcentaje de fábricas de ladrillos encuentra en el secado la razón principal de su poca producción y escaso rendimiento.

La dificultad que se presenta en el secado es la infinita variedad de arcilla, puesto que no se encuentran dos arcillas de idénticas características y que absorban la misma cantidad de agua, por lo tanto no puede procederse al secado de dichas arcillas del mismo modo.

El secado del ladrillo recién hecho se da sin la intervención de ningún agente ajeno a la naturaleza, que pueda brindar cierto grado de calor. La velocidad del secado natural dependerá exclusivamente del clima.

Los factores que intervienen o dificultan el secado son:

- Grado de finura.
- Capacidad de absorción de la arcilla.
- Necesidad de plasticidad.
- Forma de las piezas y grueso de las paredes.
- Choque horizontal del aire.
- Choque perpendicular del aire.

### **3.1.7. Secado artificial**

La finalidad del secado artificial es sustraer la humedad contenida en una materia sólida sin alterar sus propiedades, esto se realiza a través de hornos.

### **3.1.8. Propiedades de secado**

#### **3.1.8.1. Resistencia mecánica**

Esta propiedad es importante para facilitar la manipulación de los ladrillos entre el secado y la calcinación. Los componentes de la mezcla de partículas más gruesas como sílice triturada proporcionan resistencia mecánica y las de partículas finas, especialmente las que contienen montmorillonita son las más fuertes.

### **3.1.8.2. Porosidad y permeabilidad**

- Porosidad es la relación del volumen de los poros al volumen de la pieza.
- Permeabilidad es la relación de volumen de los poros interconectados al volumen de la pieza.

El agua evaporada de una pieza en el secado debe venir principalmente del interior de la misma, a través de finos canales interconectados; es necesario tener una adecuada distribución del tamaño de partícula en la mezcla.

Al inicio de la cocción pueden considerarse los poros como canales que se intercomunican y tienen acceso a la superficie de la pieza. Según aumenta la cocción se encoge la mezcla y los canales se cierran progresivamente. Tanto los poros abiertos como los cerrados, disminuyen de tamaño a medida que sube la temperatura, al ser excesiva las reacciones en el interior de la arcilla, hace que se generen gases que buscan salida y crean un nuevo sistema de poros; este es el fenómeno de hinchazón, que es una dilatación general de la pieza y la producción en ella de una estructura vesicular.

No todas las arcillas se hinchan, las más puras se deforman y se funden sin que se produzcan gases.

### **3.1.8.3. Vitrificación**

Fases de la vitrificación:

- Vitrificación incipiente: forma suficiente vidrio para aglutinar las partículas.
- Vitrificación completa: los espacios intermedios se llenan con el material fundido, pero la masa conserva su forma.

- Fusión: el cuerpo se ablanda, hasta el punto que no sostiene su propio peso.

Los ladrillos se cuecen en hornos para producir en ellos propiedades físicas adecuadas para los diferentes usos a que se destinan.

#### **3.1.8.4. Intercambio de bases**

Los minerales arcillosos tienen la propiedad de absorber ciertos iones y retenerlos en un estado intercambiable; por el tratamiento en una solución acuosa estos iones son intercambiables por aniones o cationes. Los iones intercambiables son retenidos en el exterior de la unidad estructural sílica-alúmina del mineral arcilloso y la reacción de intercambios generalmente no afecta dicha estructura.

Esta propiedad es importante, ya que permite controlar las cualidades de trabajo; por ejemplo: las propiedades plásticas de una arcilla puede ser muy diferente dependiendo si es el sodio (Na) o calcio (Ca) el ion intercambiable. Las arcillas con el ion intercambiable de sodio se secan más lentamente que las arcillas con el ion de calcio.

#### **3.1.8.5. Cambios termoquímicos**

Estos cambios que tienen lugar en los ladrillos en el proceso de cocción y calcinación, son de vital importancia para entender la operación de quemado, y para la interpretación del análisis térmico diferencial en el proceso de fabricación.

Tabla IX. **Períodos de cocción**

<b>PERÍODOS DE COCCIÓN</b>	
Deshidratación	Evaporación desde 20-110 °C Deshidratación química desde 110-600 °C
Oxidación	Desde 300-600 °C
Verificación	Desde 800 °C

Fuente: OSORIO, Norma. Caracterización de las arcillas Para la fabricación de ladrillos artesanales, p. 40.

### **3.1.9. Acción del calor sobre las arcillas**

- Primera eliminación parcial del agua se da a una temperatura de aproximadamente 100 °C, aún no pierde su agua de composición y conserva la propiedad de dar masas plásticas.
- Con una temperatura entre 300 y 400° C el agua llamada de combinación es liberada, perdiendo la propiedad de dar masas plásticas aunque se le reduzca a polvo y se le añada suficiente agua.
- Entre 600 y 700° C el agua en la arcilla es totalmente eliminada.
- Por la acción del calor entre 700 y 800° C adquiere propiedades tales como dureza, contracción y sonoridad, el sílice y la alúmina comienzan a formar un silicato anhidro (Mullita:  $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ ).
- Esta combinación se completa al parecer entre 1 100 y 1 200° C.
- Hacia los 1 500° C aparecen los primeros síntomas de vitrificación.

### **3.1.10. Coloración**

Esta se debe a la presencia de óxidos metálicos, principalmente el de hierro (por su actividad y abundancia).

#### **3.1.10.1. Color natural**

El hierro es el agente colorante más común en las arcillas en bruto y rocas relacionadas. La diferencia de color refleja solamente el estado de oxidación del hierro, en medios reductores se presentan colores oscuros, verdosos, grises o negros; medios oxidantes si son rojizos, amarillos o pardos. La presencia de material orgánico transmite colores grises o negros. Las arcillas blancas, están exentas de impurezas colorantes.

#### **3.1.10.2. Color de quemado**

En las arcillas cocidas, el hierro es también el principal agente que da color: marfil, pardo, rojo o negro; pero en este caso, hay cuatro factores que lo determinan:

- Cantidad de hierro presente.
- La presencia de otra sustancia como Titanio y CaO.
- Carácter de la atmósfera que rodea a la arcilla durante el cocimiento y enfriamiento.
- La temperatura que alcance el conocimiento.

Las arcillas que después de la cocción quedan blancas, contienen menos de 1% de óxido de hierro. Las pardas suelen contener 3-4% y las rojas contienen 5% o más de óxido de hierro. Los cambios de color en las arcillas cocidas, indican destrucción o formación de nuevos minerales.

Hasta los 700 grados centígrados el contenido de FeO disminuye, aumentando el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, la descomposición del FeO y del Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a temperaturas más elevadas da lugar a la desaparición de la coloración rojiza, el color debido a la materia orgánica desaparece al calcinarse.

### **3.1.11. Mampostería**

Cuando se habla de mampuestos, se refiere a elementos que se colocan con la mano, su denominación es acorde al método constructivo. Dentro de las diferentes unidades de mampostería podemos encontrar ladrillos cerámicos macizos, ticholos cerámicos, bloques de hormigón y otros.

### **3.1.12. Ladrillo**

El ladrillo cerámico es un bloque de arcilla o cerámica cocida utilizado como unidad de mampostería. Es la unidad hecha 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 pueden secarse al sol, pero se acostumbra secarlos al horno (resistencia a altas temperaturas). Toleran la humedad y el calor y pueden mantenerse en algunos casos más que la piedra. Su color varía dependiendo de las arcillas empleadas y sus proporciones cambian de acuerdo a las tradiciones arquitectónicas.

### **3.1.13. Historia del ladrillo**

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. Las cavernas naturales fueron las que en un principio cubrieron esta necesidad.

Sin embargo, la circunstancia de no contar siempre con esta solución, hacen que el hombre comience a implementar artificialmente esos recintos, utilizando maderas y rocas naturales, para posteriormente donde no existía este último material, utilizar la madera en combinación con el adobe.

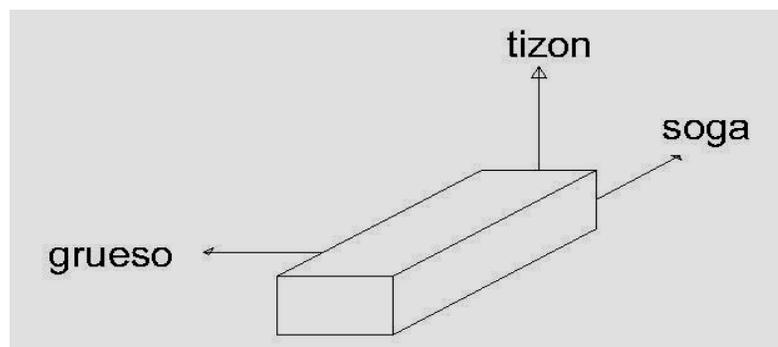
Es así como durante la evolución humana, la técnica de fabricación del ladrillo también sufrió cambios, desde la producción de adobes, secados al sol, y posteriormente del ladrillo sometido a la cocción. En efecto, si el ladrillo no tuviera propiedades tales como su sencilla técnica de producción y colocación, su capacidad de aislamiento, la capacidad soporte, y su amplia gama de combinaciones, etc., sin duda no se seguiría usando hoy en día.

### 3.1.15. Partes del ladrillo

Las aristas de un ladrillo reciben la denominación siguiente:

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

Figura 5. Partes de un ladrillo (aristas)

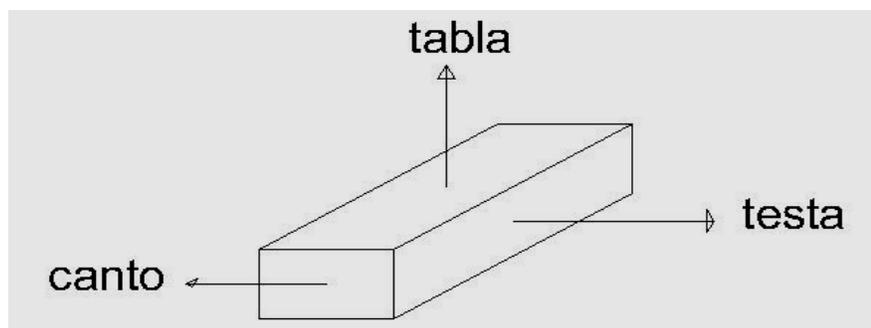


Fuente: esquema de ladrillo tayuyo, elaboración propia.

Las caras reciben la denominación siguiente:

- Tabla: cara mayor -soga por tizón
- Canto: cara media -soga por grueso
- Testa: cara menor -tizón por grueso

Figura 6. **Partes de un ladrillo (frontales)**



Fuente: esquema de ladrillo tayuyo, elaboración propia.

### **3.1.15. Clases de ladrillos**

Las clases de ladrillos dependen de las siguientes características: tipo, calidad, formato y resistencia. Los tipos fundamentales de ladrillos empleados en la construcción pueden ser:

#### **3.1.15.1. Ladrillo macizo**

Son los ladrillos que se producen de forma artesanal amasados y moldeados a mano con maquinaria rudimentaria que no comprime la pasta de arcilla. También existen prensados al vacío de muy altas resistencias. Las dimensiones más comunes de estos ladrillos son: 24 cm \* 11,5 cm \* 5 cm y 29 cm \* 14 cm \* 5 cm.

### **3.1.15.2. Ladrillo perforado**

Reciben esta denominación los ladrillos de forma ortoedrica -poliedros con seis caras paralelas e iguales dos a dos, con taladros en sus tablas de volumen entre el 10% y 33% del total del ladrillo. Los agujeros pequeños y superficiales en ladrillo, se taladran manualmente con un taladro de estrella, que es una varilla de acero con un punto de corte afilado. El punto se sujeta contra el objeto que va a taladrarse, y el otro extremo de la varilla se golpea con un martillo o con una maza, tras lo cual se gira ligeramente la herramienta y se golpea de nuevo. Las caras que soportan la carga y cuya área neta en esas caras serán mayores al 75% del área bruta.

### **3.1.15.3. Ladrillos huecos**

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

### **3.1.15.4. Ladrillos especiales**

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

### **3.1.16. Condiciones que deben reunir los ladrillos**

Para su empleo en las obras se requieren que estos materiales satisfagan las siguientes propiedades:

- Homogeneidad en su masa, ausencia de fisuras y defectos.
- Regularidad tanto en su forma como en las dimensiones de las distintas piezas.
- Dureza suficiente para poder resistir cargas pesadas -resistencia a la flexión y compresión.
- Formas regulares para que las hiladas de los muros sean de espesor uniforme -aristas vivas y ángulos rectos
- Igualdad de coloración

### **3.1.17. Normas COGUANOR**

Normas de la Comisión Guatemalteca de Normas, (COGUANOR) NGO 41 022; NGO 41 023; NGO 41 024 h2; NGO 41 024 h3; NGO 41 024 h4; NGO 41 024 h5.

Definiciones según COGUANOR

Ladrillo cerámico: es la unidad hecha básicamente de barro o arcilla con o sin adición de otros materiales, moldeada o extruida en forma rectangular, con o sin agujeros, cavidades o perforaciones, y endurecida por medio de fuego hasta fusión incipiente.

NOTA: se consideran fuera de norma los ladrillos con un área menor del 60% con respecto al área bruta.

Clasificación y designación: los ladrillos se clasificarán en tipos, grados y clases según se indica en la tabla V, obtenidas de la norma COGUANOR NGO 41 22.

Dimensiones: las dimensiones más usuales de los ladrillos se presentan en la tabla y la tolerancia a esas dimensiones será de  $\pm 3$  mm para ladrillos de grado 1 y de  $\pm 4$  mm para los grados 2 y 3.

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

Tipos	Grados	Clases	Usos
Tipo A, ladrillos hechos a maquina	1	Clase P o perforados	Paredes con carga elevada, expuestas en sus dos caras, y clima lluvioso fuerte
	2	Clase P o perforados clase T, o tubulares	Paredes con carga moderada, expuesta en una cara y clima lluvioso moderado
	3	Clase P o perforado clase T, o tubular	Paredes con carga baja, expuestas en una cara, clima con poca lluvia.
Tipo B, ladrillos hechos a mano	4	Clase M, o macizo	Paredes con carga baja, expuestas en una cara, y clima con poca lluvia

Fuente: Normas de la Comisión Guatemalteca de Normas, (COGUANOR) NGO 41 022; NGO 41 023, septiembre 1997.

Tabla XI. Dimensiones nominales de los ladrillos de barro cocido.

Tipo	Clase	Dimensiones en cm		
		Largo	Ancho	Espesor
Tipo A, ladrillos hechos a maquina	Clase P o perforado	23	11	6,5*
		23	11	6,5*
	Clase T o tubular	23	11	6,5*
		23	14	6,5*
		29	11	6,5*
		29	14	6,5*
		29	11	9
		29	14	9
		29	14	11
		29	11	11
		29	14	14
		23	23	11
		23	23	11
Tipo B, ladrillos hechos a mano	Clase T, o tubular	23	11	6,5*
		23	14	6,5*

(\*) Dimensiones más usadas, el resto se fabrica a pedido especial.

Fuente: Normas de la Comisión Guatemalteca de Normas, (COGUANOR) NGO 41 022; NGO 41 023, septiembre 1997.

### 3.2. Proceso de fabricación de ladrillo

#### 3.2.1. Extracción de materia prima

La obtención de arcilla podía realizarse de muy diversas formas, aunque dos eran los procedimientos fundamentales de extracción. Normalmente se eligen terrenos donde se perforan pozos de inspección para muestrear el terreno que contenga arcillas, luego se procede a la limpieza del terreno y a retirar la capa vegetal para llegar al subsuelo.

Tiene el inconveniente de portar gran cantidad de materia orgánica que deberá ser eliminada para la correcta cocción.

Otra forma es cavando hasta encontrar una veta arcillosa, que era expuesta completamente, separándola de la capa de suelo orgánico. Se crea de esta manera una mina a cielo abierto de la cual se obtiene la arcilla cortándola en bloques.

La situación geográfica del alfarero esta íntimamente relacionada con el lugar en el que se obtuviese la materia prima con el objetivo de facilitar su transporte o incluso eliminarlo completamente.

### **3.2.2. Depuración de la mezcla**

Antes de ser moldeada, la arcilla debía someterse a diversos procesos de depuración encaminados a reducir la cantidad de elementos extraños, como piedras, vegetación, conchas, etc., que se encontraban en el material tras su extracción, pues de ello dependía en buena medida que la arcilla tuviera las características necesarias para ser moldeada y resistir la cocción.

Estos métodos se utilizaban para la fabricación del ladrillo, cuya depuración es menor y se pasaba directamente de la extracción al amasado.

### **3.2.3. Amasado**

Se realiza para dotar de flexibilidad y homogeneidad a la arcilla y función de dar uniformidad interna a la mezcla, eliminando las pequeñas cámaras de aire que se formaban dentro de ella y que creaban zonas de menor resistencia.

La arcilla utilizada para fabricar ladrillos se somete a un amasado específico que consiste en colocar pequeñas cantidades de materia prima humedecida sobre una superficie plana y espaciosa al aire libre, donde el alfarero la amasa continuamente con los pies. La operación podía prolongarse varias horas, durante las cuales se eliminaban aquellos cuerpos extraños que son detectados con el pie.

#### **3.2.4. Moldeado**

Es donde la arcilla pasa de constituir una mezcla amorfa a presentar una forma definida. El moldeado de ladrillos tenía sus propios procedimientos; una vez la mezcla de arcilla y otros elementos -arena limosa y agua-, se había constituido en una masa compacta y homogénea, se verte en un molde paralelepípedo que podía estar recubierto con una fina capa de arena para evitar que se pegara.

El alfarero elimina con la mano o con un trozo de madera la pasta sobrante y levanta el molde intentando no deshacer el ladrillo. La operación se repite tantas veces como fuera necesario, dejando entre uno y otro ladrillo el grosor de la pared del molde.

El tamaño de los ladrillos, una vez se afianzó el proceso de fabricación, se fue estandarizando para facilitar la construcción de muros. Vitrubio indicaba cuáles son las medidas más frecuentes para los adobes. Se cree que las dimensiones del ladrillo, también serían homogéneas, cuando menos por regiones.

### **3.2.5. Secado**

Durante este proceso, la pieza moldeada perdía el agua contenida en su interior, produciéndose una disminución de tamaño que podía arruinar el trabajo realizado. El secado debía realizarse de forma gradual y lenta, en un lugar fresco y aireado, alejado de las fuentes de calor y las corrientes de aire.

Los ladrillos se secaban en la misma superficie en la que se habían moldeado; a los tres días se les debía dar la vuelta, de manera que era necesaria una semana aproximadamente para que estuvieran en condiciones de ser apilados en grandes bloques.

### **3.2.6. Cocción**

Al finalizar el proceso del secado natural de los ladrillos, son colocados uniformemente dentro del horno, durante este proceso se da inicialmente la evaporación de humedad, y la quema de todo contenido orgánico que contenga la mezcla con la que se haya fabricado los ladrillos.

La masa de arcilla moldeada y seca, al ser sometida al fuego producirá una sinterización intensa y una vitrificación adecuada, la cocción se puede realizar en distintos tipos de hornos, continuos y discontinuos.

### **3.3. Fabricación de ladrillo tayuyo en forma artesanal en el municipio de El Tejar, Chimaltenango.**

La fabricación del ladrillo de buena calidad dependerá directamente del tipo de arcilla que se utilice, libre de impurezas (materia orgánica), mezcla homogénea y debe presentar propiedades plásticas para evitar que durante la etapa de secado el ladrillo se agriete. El proceso de fabricación de los ladrillos consta de varias fases fundamentales, según sea su proceso de fabricación, artesanal o industrial.

#### **3.3.1. Proceso de fabricación artesanal**

Este es el proceso tradicional, empleado por años, trasladado y enseñado de generación en generación. Los métodos empleados en la fabricación del ladrillo son empíricos, basados en la experiencia de los artesanos. El proceso de fabricación está conformado por las siguientes fases.

#### **3.3.2. Extracción de materia prima**

La extracción de la arcilla es la primera fase del proceso de fabricación. Es extraída por medio de piochas, azadones y palas; transportada en camión o pick up a las fábricas artesanales. Tanto la localización y ubicación de los bancos de materiales como la calidad de arcilla inciden en el costo del ladrillo como producto final.

Figura 7. **Extracción de materia prima**



Fuente: extracción materia prima, al norte de municipio de El Tejar, departamento de Chimaltenango.

### **3.3.3. Tratamiento de materia prima**

El material es tratado según el estado del tiempo. En las regiones donde se presentan distintas condiciones climatológicas (invierno y verano), se recolecta la arcilla en época seca recién pasado el invierno y es almacenada en las fábricas artesanales en lugares techados.

### **3.3.4. Amasado**

Se colocan pequeñas cantidades de materia prima (arcilla y arena limosa), humedecida sobre una superficie plana y espaciosa al aire libre, donde el artesano la somete a un amasado continuo con los pies y manos. El proceso puede prolongarse varias horas, durante las cuales se eliminan aquellos cuerpos extraños que son detectados, con el propósito de dotar de flexibilidad y homogeneidad a la mezcla.

Figura 8. **Amasado de materia prima**



Fuente: amasado materia prima, ladrillera La Española ubicada en el centro del municipio de El Tejar, departamento de Chimaltenango.

### 3.3.5. **Reposo o madurado**

Es el tiempo de reposo que se le da a la mezcla, cubriéndola con un plástico en un período aproximado de 12 a 15 horas, con el propósito que pierda agua de manera natural y presente mejor trabajabilidad.

Figura 9. **Reposo o madurado**



Fuente: reposo de materia prima, ladrillera La Española ubicada en el centro del municipio de El Tejar, departamento de Chimaltenango.

### 3.3.6. Moldeado.

Los artesanos toman un volumen de la mezcla y la vierten en un molde paralelepípedo, luego se presiona con los puños para eliminar los vacíos, es recubierta con una fina capa de arena para evitar que se pegue. Se elimina con la mano o con un trozo de madera la pasta sobrante y se levanta el molde intentando no deshacer el ladrillo.

Figura 10. Moldeado



Fuente: moldeo de ladrillos, ladrillera La Española ubicada en el centro del municipio de El Tejar, departamento de Chimaltenango.

### 3.3.7. Secado.

En esta fase se elimina parcialmente el agua que contiene la arcilla después de haber sido moldeada, debe realizarse 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 tres a una semana según las condiciones del clima.

Figura 11. **Secado**



Fuente: moldeo de ladrillos, ladrillera La Española ubicada en el centro del municipio de El Tejar, departamento de Chimaltenango.

### **3.3.8 Cocción**

Constituye la última fase de la fabricación de ladrillos. En esta etapa el ladrillo es sometido a temperaturas que oscilan de 900 a 1200 grados centígrados, utilizando hornos cerrados, en donde se realiza la cocción de las piezas. Los componentes de la combustión empleados son: la leña y aserrín.

El ladrillo cocido adquiere calidades y cualidades de solidez, dureza y resistencia a la acción del tiempo. Terminada la cocción, las propiedades físicas y químicas cambian, el ladrillo por su estado adquirido no se disuelve en agua, perdiendo su plasticidad.

Figura 12. **Cocción**



Fuente: etapa de cocción de ladrillos, ladrillera La Española ubicada en el centro del municipio de El Tejar, departamento de Chimaltenango.

### **3.3.9. Transporte**

El transporte es importante en el proceso de producción de los ladrillos, puesto que se generan considerables esfuerzos en el traslado de materiales y productos elaborados. En el proceso artesanal, el transporte es llevado a cabo en forma manual, empleando carretillas de mano. Los transportes interiores de la fabricación comprenden dos etapas:

- Los efectuados en las diversas fases de la producción.
- La entrega de productos de la fábrica a la obra.

Figura 13. **Transporte**



Fuente: transporte de ladrillos, ladrillera La Española ubicada en el centro del municipio de El Tejar, departamento de Chimaltenango.

### **3.3.10. Control de calidad en fabricación artesanal**

En el proceso productivo del ladrillo cocido tipo artesanal, no existen controles de calidad específicos, establecidos por normas. En nuestro medio, en el proceso de manufacturación, se efectúan ciertos controles secundarios en cada una de las fases del proceso de producción, siendo estos:

- Arcilla limpia sin residuos (materia orgánica), para la mezcla.
- Obtener una finura adecuada visual en el mezclado.
- Colocación de los ladrillos en el horno.
- Las horas de cocimiento.
- Coloración continua.
- Control como producto final libre de fisuras, grietas y manchas.

### **3.4. Observación y cálculo de consumo energético en la cocción como del proceso de fabricación**

#### **3.4.1. Hornos artesanales**

##### **3.4.1.1. Definición**

Aparato cerrado o recinto donde se produce calor por la combustión de un material, utilizado para someter a transformaciones físicas o químicas a las piezas que se introducen en ellos.

##### **3.4.1.2. Construcción de hornos artesanales**

Los hornos han sido construidos en su mayoría por los mismos dueños o por personas que han trabajado durante mucho tiempo en esta actividad. La construcción consiste en la excavación de un hoyo cuya superficie y profundidad depende del tamaño del horno que se desee. Una vez hecho el hoyo se procede a levantar las paredes con ladrillos y amalgama de la materia prima utilizada en los ladrillos. Parte de la pared sale de la superficie de la tierra y el resto es equivalente a la profundidad del hoyo que se hizo. En algunos hornos la altura de las paredes es igual a la profundidad del hoyo. Ninguna de las paredes se encuentra aislada térmicamente.

El frente inferior del horno corresponde a la entrada del hogar, el cual es formado por varios arcos de ladrillos cocidos, obteniéndose un túnel, sirviendo los arcos además para sostener los ladrillos a ser quemados. La entrada del horno no posee puerta por lo que no hay control de la entrada de aire y hay escapes de calor. Algunos hornos tienen dos entradas al hogar una a cada lado de las paredes frontales. El horno no está cubierto, es decir no posee techo.

El arpillado de los ladrillos y tejas, es decir, la carga del horno, se realiza por la parte destapada. Ninguno de los hornos existentes posee chimenea, parrilla para combustible, ni cenicero lo que contribuye aún más a la ineficiencia de la combustión aumentando el volumen de pérdidas y mayor consumo de energía.

Figura 14. **Hornos empleados en la cocción de ladrillos**



Fuente: horno artesanal de ladrillos, ladrillera La Española ubicada en el centro del municipio de El Tejar, departamento de Chimaltenango.

### **3.4.1.3. Desventajas de hornos artesanales**

Presenta ineficiencia por pérdidas de calor a través de las paredes y hacia la chimenea, etc., un horno periódico debe consumir una gran cantidad de combustible para calentar la estructura con cada carga de material, cantidad de calor que se pierde totalmente durante el enfriamiento.

El calentamiento y enfriamiento continuado de la estructura la debilita mucho más rápidamente, a como lo haría una temperatura elevada constante.

La colocación o disposición de las piezas en los hornos está también sujeta a cierto número de consideraciones y varía considerablemente. Los factores que deben tenerse en consideración son, si las piezas pueden o no apilarse unas sobre otras hasta alcanzar la altura total del horno. Los ladrillos pueden por lo general apilarse de dicho modo, muchas otras piezas pueden apilarse solo en pequeña altura, por lo que requieren ciertos soportes intermedios.

La mayor parte de las transformaciones que se producen en los ladrillos durante la cocción son lentas y frecuentemente no llegan a completarse. Estas transformaciones dependen tanto del tiempo como de la temperatura, y toman un curso diferente conforme a la velocidad de aumento de la temperatura y al tiempo que se mantienen a una temperatura determinada.

### **3.4.1.4. Colocación de ladrillos dentro del horno**

Descripción del proceso una vez preparada la materia prima, hecho el moldeo y realizado el secado, el producto es introducido en hornos artesanales, más que todo, rudimentarios y de baja eficiencia energética la cual se estima que esté entre un 20% - 30%. La carga del horno se realiza según criterio de los

productores. Los ladrillos los arplan horizontal o verticalmente (las tejas siempre verticales). Unos colocan el producto crudo en las primeras capas de manera apretada y van aflojándolos en las capas superiores.

Otros hacen lo contrario, las primeras capas flojas para permitir el flujo de calor y las superiores apretadas. Otros intercalan las capas colocando una apretada y la siguiente floja o viceversa. Una vez cargado el horno se procede a taparlo con ladrillos y tejas ya cocidos, enteros o quebrados, algunos ocupan además láminas de zinc.

Este sistema permite una fuga considerable de calor por la parte superior del horno aunque de esta manera es más fácil controlar la quema y ver si el producto está listo así como lograr un enfriamiento más rápido para sacar el producto ya terminado. La duración de la quema es de aproximadamente 12 horas por lo que la duración de la tarea es de 114 horas lo que equivale a 5 días (48 horas de secado solar, 48 horas de enfriamiento, 6 de preparación de materia prima, moldeo y 12 de cocción). Considerando ligeros aumentos en el tiempo de duración de la tarea ocasionado por diversos motivos, se estima que una tarea dura aproximadamente una semana.

#### **3.4.1.5. Cálculo del consumo energético**

Para la cocción de ladrillos se observa que la materia prima es leña, que proviene de árboles de la región, en su mayoría de árboles de encino y pino, esto provoca daños al medio ambiente de manera significativa, a continuación se realiza una estimación de los volúmenes utilizados. Las bases de nuestra investigación se aplican a la gran mayoría de ladrilleras de la región debido a que utilizan los mismos diseños de hornos con las mismas capacidades.

Como ejemplo de lo observado en la región, para la quema de un lote de 15 000 ladrillos se utilizan 8 tareas de leña, equivalente a una tarea de leña es igual a un metro cubico de leña, apilada en prismas de 0,60 m x 3,32 m X 0,83 m de altura y equivale a 540 kg.

**Cálculo de consumo de leña:**

8 tareas = 8 m<sup>3</sup> = 4,320 kg de leña.

8 m<sup>3</sup> /15 000 ladrillos = 5,333E<sup>-4</sup> m<sup>3</sup> de leña por unidad de ladrillo.

4,320 kg/15 000 = 0,288 kg de leña por unidad de ladrillo.

**3.2.3.7. Utilización de fuentes alternas de energía**

El uso de fuentes de energía adicionales a la leña en los hornos es factible aún con la tecnología actual. Estas fuentes pueden ser: briquetas de rastrojos de algodón, con oferta en el país hechas a partir de la compactación de rastrojos de algodón; cascarilla de arroz y de café; briquetas de otros tipos de residuos agrícolas, por ejemplo maní, tabaco, arroz, bagazo de caña, aserrín.



#### **4. ENSAYOS APLICADOS A LADRILLOS TAYUYO ARTESANAL**

En búsqueda de la innovación y mejoras en calidad del ladrillo de barro cocido hecho a mano e investigando sobre los procesos de fabricación de ladrillos de barro cocido hecho a mano se describe lo encontrado.

Observando el proceso inicial de extracción se realiza la clasificación visual y táctil. Los artesanos clasifican como barro arenoso al material para fabricar ladrillos y como losa al material para la fabricación de teja, en cuanto no se consigue un material adecuado para la fabricación del ladrillo dado que es muy arcilloso, proceden a combinarlo con un material al cual llaman mizcle, el cual es arcilla con alto contenido de arena.

Con el fin de reducir la plasticidad de la materia prima, debido a que esta afecta directamente en la fabricación produciendo agrietamiento y por lo tanto no puede someterse a cocción, después de esta observancia se propone la combinación de escoria de mata de níquel con arcilla, y se realizan proporciones de combinación para observar el mejor comportamiento de estas, con ellas la fabricación de varias muestras, que posteriormente se someten a ensayos para conocer de este modo los resultados de sus características físicas y mecánicas, así como conocer si produce mejoras al producto terminado.

#### 4.1. Maquinaria para realizar ensayos

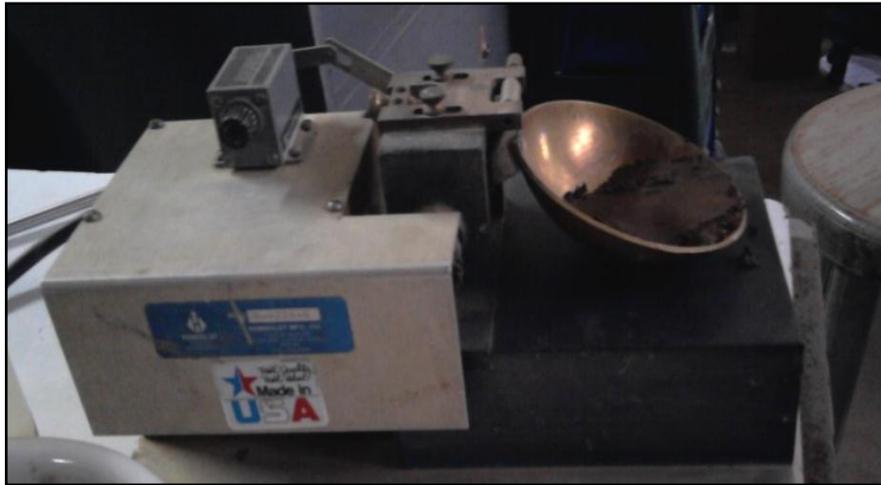
##### 4.1.1. Maquinaria y equipo para realizar ensayos de límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico)

Figura 15. Tamices tipo U.S. Standard



Fuente: ELE International. Testing Equipment for Construction Material, Catálogo 2007.

Figura 16. **Copa de Casagrande ASTM D4318**



Fuente: ensayo de límite plástico, copa de Casagrande, área de suelos, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 17. **Probeta y pipeta para proveer cantidades controladas de agua**



Fuente: ELE International. Testing Equipment for Construction Materials Catálogo 2007.  
p. 148.

Figura 18. **Espátula con hoja flexible para alisar la muestra en la copa**



Fuente: ELE International. Testing Equipment for Construction Materials Catálogo 2007. p. 32.

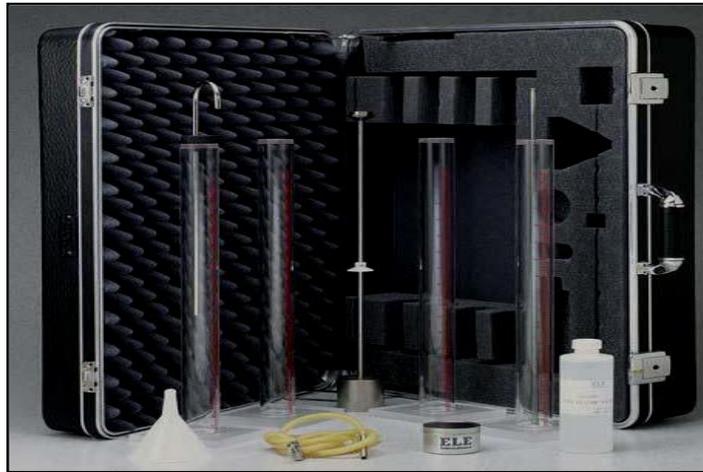
Figura 19. **Equipo para determinación de límite plástico**



Fuente: Humbolt. Testing Equipment for Construction Materials Catálogo 2007. p. 32.

**4.1.2. Maquinaria y equipo para realizar ensayo equivalente de Arena.**

Figura 20. **Equipo para determinación de equivalente de arena**



Fuente: ELE International. Testing Equipment for Construction Materials Catálogo 2007.

Figura 21. **Mezclador manual para equivalente de arena**



Fuente: ensayo de equivalente de arena, área de suelos, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

#### 4.1.3. Maquinaria y equipo para realizar ensayo a compresión de unidades de ladrillo tayuyo artesanales

Figura 22. Balanza con capacidad mínima de 2 000 g y aprox. de  $\pm 0,5$  g.



Fuente: toma de peso y medición de ladrillos, laboratorio de metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 23. Máquina con sistema para compresión de bloques de concreto.



Fuente: ensayo de unidades de ladrillos de ladrillos, laboratorio de metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

**4.1.4. Maquinaria y equipo para realizar ensayo a compresión, corte y adherencia para prismas de ladrillo tayuyo artesanales**

**Figura 24. Marco universal con sistema para compresión para prismas de mampostería.**



Fuente: ensayo a compresión de prismas de mampostería, laboratorio de prefabricados, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 25. **Gato hidráulico modelo Rc 102, de 10 toneladas**



Fuente: ensayo a corte de prismas de mampostería, laboratorio de prefabricados, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 26. **Gato hidráulico Ocuatona Rc 1010, de 10 toneladas**



Fuente: ensayo de adherencia de prismas de mampostería, laboratorio de prefabricados, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

## 4.2 Tipos de ensayos

Ensayos para Arcillas

Área de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería

- Óxido de Silicio %.
- Óxido de Hierro %.
- Óxido de Aluminio%.
- Óxido de Calcio%.
- Óxido de Magnesio %.

Área de Suelos, Centro de Investigaciones de Ingeniería

- Límites de Atterberg
- Equivalente de arena

Ensayos para unidades de ladrillos

Área de metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería

- Compresión

Ensayos para prismas de mampostería

Área de prefabricados, Centro de Investigaciones de Ingeniería

- Comprensión
- Corte
- Fricción y adherencia

## Área de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería

### Composición química de las arcillas

El conocimiento de la composición química de las arcillas es vital en la evaluación del uso específico que se le dará. Sin embargo esta información debe ser usada conjuntamente con las propiedades físicas para una visión completa. La composición química es la propiedad más importante para identificar los minerales de un suelo y para distinguirlos entre sí.

Para caracterizar químicamente las arcillas, se envía una muestra de la arcilla con la que se fabrican los ladrillos artesanales, al laboratorio de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, donde se les solicita que se determine el contenido de calcio, magnesio, hierro y aluminio.

- **Óxido de silicio %**

Los silicatos (en concreto los de aluminio, calcio y magnesio) son los componentes principales de las arcillas. Se representa como parte del complejo mineral arcilloso, como silicatos detríticos no descompuestos y como sílice libre tanto detrítico como precipitado bioquímicamente, también por descomposición del cuarzo en cenizas volcánicas.

El silicio constituye un 28% de la corteza terrestre. No existe en estado libre, sino que se encuentra en forma de dióxido de silicio y de silicatos complejos. Los minerales que contienen silicio constituyen cerca del 40% de todos los minerales comunes, incluyendo más del 90% de los minerales que forman rocas volcánicas.

- **Óxido de hierro %**

El hierro ocupa el cuarto lugar en abundancia en la corteza terrestre, (constituye aproximadamente el 4,7%) y el segundo lugar entre los metales después del aluminio.

Debido a la abundancia del hierro y sus propiedades mecánicas en condición impura, hacen que sea un elemento de sobresaliente importancia tecnológica. Se presenta como pigmento oxidado, como parte del material clorótico existente y excepcionalmente como pirita, marcasita o siderita.

- **Óxido de aluminio %**

El aluminio es el elemento metálico más común en la corteza terrestre y se presenta en los minerales como feldespatos y micas entre otros. Los depósitos más accesibles son los de óxidos hidratados como la bauxita. A pesar de ser un elemento definitivamente metálico presenta en pequeño grado propiedades que están asociadas con los semimetales.

- **Óxido de calcio %**

Es un metal maleable y dúctil, toma un color amarillento rápidamente al contacto con el aire. Tiene un punto de fusión de 839 °C, de ebullición de 1,484 °C. El calcio ocupa el quinto lugar en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre, pero no se encuentra en estado puro en la naturaleza. Se da en varios compuestos muy útiles, tales como el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), del que están formados la calcita, el mármol, la piedra caliza y la marga; el sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ), presente en el alabastro o el

yeso; el fluoruro de calcio ( $\text{CaF}_2$ ), en la fluorita; el fosfato de calcio o roca de fosfato ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), y varios silicatos.

- **Óxido de magnesio %**

Se presenta en el complejo clorítico, y en la composición de arcilla del grupo de la attapulgita. El magnesio es maleable y dúctil cuando se calienta. El oxígeno, o el agua no atacan al metal a temperatura ambiente; reacciona con los ácidos, y cuando se calienta a  $800\text{ }^\circ\text{C}$  aproximadamente. El magnesio tiene un punto de fusión de  $649\text{ }^\circ\text{C}$ , y de ebullición de  $1,107\text{ }^\circ\text{C}$ .

El magnesio ocupa el sexto lugar en abundancia natural entre los elementos de la corteza terrestre. Existe en la naturaleza sólo en combinación química con otros elementos, el magnesio se obtiene del agua de mar y de los minerales  $\text{MgCO}_3$  (magnesita),  $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$  (dolomita) y  $\text{MgO}$  (brucita) y en muchos silicatos constituyentes de rocas y como sales.

Al ponerse en contacto con el aire frío y seco, el calcio no es atacado por el oxígeno, pero al calentarse, reacciona fácilmente con los halógenos, el oxígeno, el azufre, el fósforo, el hidrógeno y el nitrógeno. El calcio reacciona violentamente con el agua, formando el hidróxido  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y liberando hidrógeno.

Figura 27. **Análisis Químicos**



Fuente: análisis químico de arcillas, área de química Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **Área de suelos, Centro de Investigaciones de Ingeniería**

#### **Características físicas de las arcillas**

Deben ser consideradas las características físicas de los diferentes suelos arcillosos que se emplean en la fabricación del ladrillo cocido artesanalmente, con el fin de mejorar la calidad de las piezas que es una característica determinante para un óptimo funcionamiento.

Las muestras fueron extraídas directamente de los bancos de material y llevadas en estado natural al Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), donde se les realizaron los ensayos de determinación del contenido de aluminio, calcio, hierro, y magnesio por volumetría, Límites de Atterberg (Límite Líquido y Límite Plástico), equivalente de arena; con el propósito de caracterizar el tipo de arcilla utilizada en la mezcla para la fabricación del ladrillo cocido.

- **Límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico), normas AASHTO T89-68 y T90-70, ASTM D-4318**

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; a través del cual se determina el grado de plasticidad del material.

Figura 28. **Ensayo límites de Atterberg (límite líquido)**



Fuente: ensayo de límite plástico, copa de Casagrande, área de suelos, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

A través del límite líquido y límite plástico podemos tener una idea del tipo de suelo que se está utilizando y su comportamiento plástico. Atterberg establece rangos del índice plástico que presente el material, para determinar su plasticidad, siendo los siguientes:

Tabla XII. Rangos del índice plástico.

Índice Plástico	Suelo
Igual a cero	No plástico
Menor a 7	Baja plasticidad
Comprendido entre 7 y 17	Medianamente plástico
Mayor a 17	Altamente plástico

Fuente: OSORIO, Norma. Caracterización de las arcillas Para la fabricación de ladrillos artesanales, p.67.

Figura 29. Ensayo límites de Atterberg (límite plástico)



Fuente: ensayo de límite plástico, área de suelos, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla XIII. **Fórmulas para calcular los límites de Atterberg**

<b>FÓRMULAS PARA CALCULAR LÍMITES DE ATTERBERG</b>	
Límite Líquido	$\frac{((PBH-PBS)/(PBS-Peso\ de\ tara))*100}{K}$
Límite Plástico	$\frac{(PBH-PBS)}{(PBS-Peso\ de\ tara)}*100$
Índice Plástico	Límite Líquido – Límite Plástico
<b>K</b> Factor de Corrección	$(Número\ de\ golpes/25)^{0.121}$

Fuente: OSORIO, Norma. Caracterización de las arcillas Para la fabricación de ladrillos artesanales, p.68.

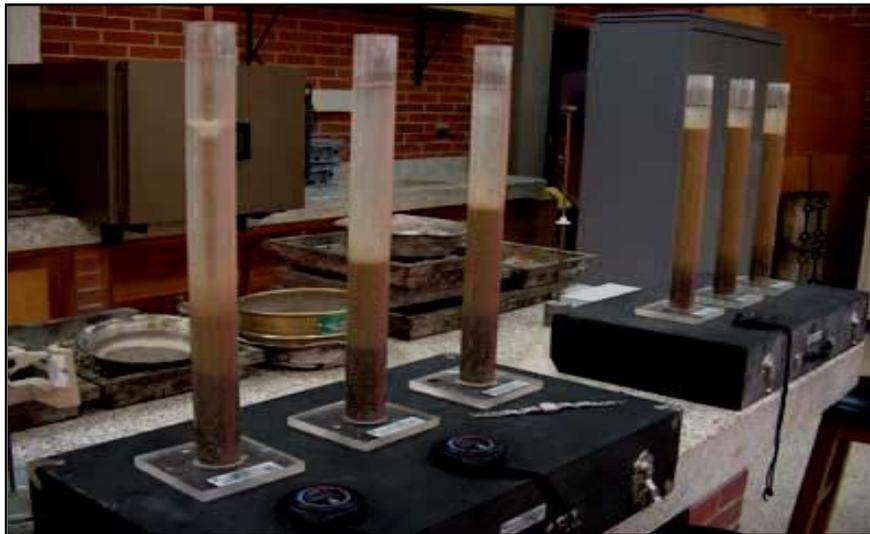
- **Equivalente de arena, normas AASHTO T176-02, ASTM D- 2419-5**

Este ensayo se efectúa con el fin de conocer el porcentaje relativo de finos-plásticos que contienen los suelos y los agregados pétreos; es un método rápido que se puede hacer tanto en el campo como en el laboratorio. Se lleva a cabo, principalmente, cuando se trata de materiales que se usarán para base, sub-base, o sea en bancos de préstamo.

Para determina la relación de arena y arcilla se aplica la siguiente expresión:

$$E.A. = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100$$

Figura 30. **Ensayo equivalente de arena**



Fuente: ensayo equivalente de arena, <http://images.google.com.gt/images?q=equivalente+arena&um=1&hl=es&lr=&star>.

## **Ensayos para unidades de ladrillos, características mecánicas**

### **Área de metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería**

- **Ensayo a compresión y porcentaje de absorción**

La determinación de las propiedades mecánicas (porcentaje de absorción y resistencia a la compresión) de los ladrillos de barro cocido fabricados artesanalmente, utilizando las proporciones del 0%, 20%, 40% y 50% de escoria de mata de níquel con arcilla, indicarán la calidad de la pieza como producto final. Esto permitirá analizar el proceso de fabricación del ladrillo con el objetivo de innovar y mejorar la calidad y de esta manera ofrecer al consumidor un producto competitivo dentro del campo de la construcción.

Para obtener un resultado más representativo se fabricaron piezas de ladrillos terminado de cada proporción de mezcla, para realizarles los ensayos de compresión y porcentaje de absorción.

Figura 31. **Ensayo unidades de ladrillo a compresión**



Fuente: ensayo de unidades de ladrillos a compresión, área de metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **Prismas de mampostería, área prefabricados Centro de Investigaciones de Ingeniería**

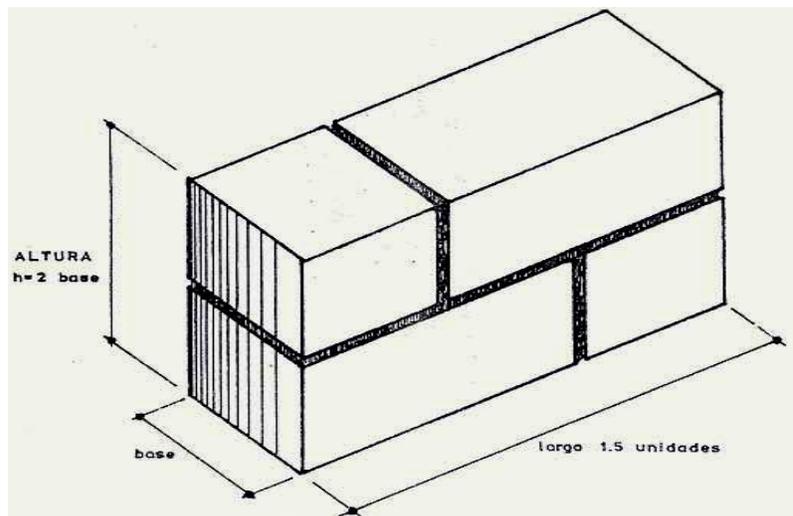
Los prismas son muestras representativas de la mampostería de un muro, permiten evaluar su comportamiento de esta al ser sometidos a distintas condiciones de carga; para determinar entre otros parámetros, la resistencia que posee la mampostería.

Se pueden llevar a cabo ensayos de resistencia a Compresión siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM E-447 “Métodos de ensayo a esfuerzo de compresión de prismas de mampostería construidos en laboratorio”, a Corte siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM E-519 “Método de Ensayo

Estándar para tensión diagonal (corte) en ensamblajes de mampostería”, así como ensayos de Adherencia y Fricción; tomando en cuenta que el desarrollo de resistencia dependerá de muchos factores, incluyendo los materiales y la mano de obra empleada.

Los prismas poseen como mínimo 2 unidades de bloque de altura, pero no menos de 1.3 veces ni mayor de 5 veces el espesor de la estructura en estudio (ver figura de prisma), debiendo aplicar un factor de corrección dependiendo de su relación de esbeltez  $h/d$  al esfuerzo de ruptura del prisma para obtener el esfuerzo real. Dichos prismas se construyeron utilizando mortero que contiene como agregado fino escoria de mata de níquel más cemento utilizando la siguiente proporción: 1:2:05 correspondientes a cemento, escoria de mata de níquel y agua.

Figura 32. Dimensiones de prismas



Fuente: esquema de prismas de mampostería, elaboración propia.

- **Prismas ensayo a compresión, norma utilizada: ASTM E-447-84 Y C-1314**

El ensayo de probetas para ambos métodos de ensayo son pequeños prismas a compresión: la influencia de la relación de esbeltez se toma en cuenta ya sea por proporciones de las probetas fabricadas. Se coloca el muro en el marco de carga, de manera que los apoyos permitan que se le aplique una carga axial vertical uniformemente distribuida.

La carga se aplica gradualmente hasta observar falla y llegar a la carga última de colapso. El muro fue ensayado a 14 y 28 días.

**Figura33. Prisma a compresión**



Fuente: ensayo a compresión de prismas de mampostería, área de prefabricados, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

- **Prismas ensayo a corte, norma utilizada: ASTM E-519-02**

Este método de prueba cubre la determinación de la tensión diagonal o fuerza cortante de ensamblajes de mampostería de 1,2 por 1,2 m. (4 por 4 pies) a compresión a lo largo de una diagonal, con lo cual se causa una falla de tensión diagonal, dividiéndose la probeta paralelamente a la dirección de la carga.

Se coloca el muro en un sistema que permite aplicarle carga lateral en la esquina superior izquierda y condiciones de restricción en la esquina diagonalmente opuesta. La carga se aplica gradualmente y se toman lecturas de sus deformaciones por medio de deformómetros hasta observar falla; El muro fue ensayado a 14 y 28 días.

Figura 34. **Prisma a Corte**



Fuente: falla diagonal en primas de mampostería ensayado a compresión, área de prefabricados, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala

- **Prismas Ensayo de Adherencia**

Método de ensayo de Prismas a Esfuerzos de Adherencia y Fricción descrito en la tesis “Guía de Laboratorio para las Practicas de Diseño Estructural en Mampostería” del Ing. Juan Nitsch Pineda; y la tesis “Estudio de los Parámetros de Adherencia y Fricción Bloque de Concreto Mortero” del Ing. Juan Roberto Catalán López; ambas asesoradas por el Ing. Juan Rubio.

Estudia la acción de una fuerza horizontal en un muro ocasionada normalmente por el viento o sismo, a la cual se contrapone una fuerza resistente o fuerzas de Cortante; originadas por la adherencia y fricción existente entre el mortero y la unidad de mampostería.

- Este método busca calcular los parámetros básicos de la Fricción y Adherencia, utilizando la teoría de mínimos cuadrados. La probeta utilizada está compuesta por dos unidades enteras y dos mitades con una separación de 6 cm a 10 cm en el medio.
- Los prismas son sometidos a cargas axiales de confinamiento y cargas laterales.

Se coloca el prisma dentro de un marco que permita una adecuada aplicación de cargas laterales y de confinamiento. La aplicación de carga de confinamiento se aumenta a partir de la obtención de la falla por adherencia, luego se repite el proceso hasta que se pierda la capacidad de confinamiento (colapso). Los prismas se ensayaron a 14 y 28 días de edad.

#### **4.2.1. Ensayos a muestras de ladrillos tayuyos, tradicionales de barro cocido**

##### **Desarrollo:**

Al visitar el municipio de el tejar Chimaltenango se obtuvieron las muestras de ladrillo tradicional. Estas fueron llevadas al Centro de investigaciones de Ingeniería, para practicar los ensayos de porcentaje de absorción y compresión, con el objetivo de realizar una comparación respecto a la propuesta de utilizar la escoria de mata de níquel como material para rebajar a la arcilla sustituyendo al mizcle que es lo que hasta ahora se utiliza.

#### **4.2.2. Ensayos a muestras de ladrillo tayuyo, con escoria de mata de níquel.**

Para el análisis comparativo, atreves de ensayos utilizando la escoria de mata de níquel se propusieron las siguientes proporciones de mezcla de arcillas mas escoria de mata de níquel, para fabricar las unidades de ladrillo tayuyo:

- 100 % arena limosa – 0 % escoria de mata de níquel.
- 80 % arena limosa – 20 % escoria de mata de níquel.
- 60 % arena limosa – 40 % escoria de mata de níquel.
- 50 % arena limosa – 50 % escoria de mata de níquel.

Figura 35. **Fabricación de muestras de ladrillos, bajo proporciones**



Fuente: ladrillos fabricados bajo proporciones, ladrillera La Española, en el centro de El tejar, Chimaltenango

De estas mismas proporciones se fabricaron pequeños lotes de ladrillos para someterlos a ensayos de compresión en la unidad de metales del Centro de Investigaciones, en donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla XIV. **Resultados de área de metales, para las unidades de ladrillos**

id (ladrillo)	largo (cm)	ancho (cm)	alto (cm)	% (cm <sup>2</sup> )	Compre sión		carga (kg)	carga (kg)	Compre sión	
					área (cm <sup>2</sup> )	área (cm <sup>2</sup> )			$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	V (kg/cm <sup>2</sup> )
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: elaboración propia.

#### 4.2.3. **Respuesta de elementos de mampostería para la fabricación de muros**

En la tabla anterior, se observa la mejor respuesta se obtuvo con la proporción 20% de escoria de mata de níquel mas el 80% de arcilla, bajo esta respuesta se utilizara esta proporción para fabricar lotes de ladrillos tayuyos, para la construcción de prismas de mampostería y someterlos a ensayos de compresión, corte y adherencia, en el área de prefabricados del Centro de investigaciones.

Estos ensayos se realizan fabricando los prismas bajo las normas correspondientes y se utilizara mortero elaborado con escoria de mata de níquel como agregado fino, en la proporción 1:2:0.5, se preparan dos series de prismas que se ensayaran a las siguientes edades: 14 y 28 días.

**Figura 36. Fabricación de prismas de ladrillos**



Fuente: fabricación de prismas de ladrillo, área de prefabricados, Centro de Investigaciones de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla XV. **Datos de ensayo a compresión de prismas**

<b>Prisma</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Edad (días)</b>
1	18 143,69	546,25	16,89	14
2	14 741,75	544,92	13,67	14
3	16 782,92	540,50	15,79	14
4	16 329,33	528,00	16,00	28
5	13 607,77	539,00	13,10	28
6	15 422,14	528,00	15,00	28

Fuente: tablas resumen de resultados, elaboración propia.

Tabla XVI. **Datos de ensayo a corte de prismas**

<b>Prismas</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Esfuerzo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Edad (días)</b>
1	2 590,38	2,67	14
2	2 742,75	2,92	14
3	2 641,17	2,76	14
4	2 539,59	2,70	28
5	3 453,84	3,45	28
6	3 454,18	3,44	28

Fuente: tabla resumen de resultados, elaboración propia.

Tabla XVII. **Datos de ensayos de adherencia en prismas**

<b>Prisma</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Área de contacto (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo de adherencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	<b>14</b>	<b>4 144,40</b>	<b>263,29</b>	<b>15,74</b>
<b>2</b>	<b>14</b>	<b>3 028,60</b>	<b>167,24</b>	<b>18,11</b>
<b>3</b>	<b>14</b>	<b>9 245,20</b>	<b>615,60</b>	<b>15,02</b>
<b>4</b>	<b>14</b>	<b>9 882,80</b>	<b>621,50</b>	<b>15,90</b>
<b>5</b>	<b>14</b>	<b>9 245,20</b>	<b>610,20</b>	<b>15,15</b>
<b>6</b>	<b>28</b>	<b>10 520,40</b>	<b>374,00</b>	<b>28,13</b>
<b>7</b>	<b>28</b>	<b>9 882,80</b>	<b>330,00</b>	<b>29,95</b>

Fuente: tabla resumen de resultados, elaboración propia.

## **5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

### **5.1. Interpretación final de resultados**

Con la finalidad de realizar un adecuado análisis e interpretación de los resultados, es necesario tomar en cuenta toda la información disponible de los diferentes ensayos que se realizaron durante el proceso de investigación.

#### **5.1.1. Análisis e interpretación de resultados, área de suelos**

La denominación que utilizan los artesanos de la región de El Tejar, Chimaltenango para nombrar los suelos que conforman la mezcla para la fabricación del ladrillo de barro cocido. A través del análisis e interpretación de cada uno de los ensayos realizados a la muestra, se nombra correctamente al suelo de acuerdo a las características que estos presenten.

De acuerdo con los resultados obtenidos a través de los límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico) y el porcentaje de finos de la muestra, el suelo se caracteriza como arena limosa con ligera presencia de arcilla, es lo que utilizaremos como base para la fabricación de las diferentes proporciones de mezclas.

Vale la pena mencionar que dicho ensayo se realizó en dos ocasiones ya que lo se pretendía estudiar era arcilla, pero dichos resultados confirmaron la observación física.

### **5.1.2. Análisis e interpretación de resultados área de metales**

La fabricación de muestras con proporciones del 0%, 20%, 40% y 50% de escoria de mata de níquel, combinada con arena limosa, de las cuáles se fabricaron 3 muestras de cada proporción a las que se les aplicó carga a compresión.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la máquina universal al ensayar las diferentes proporciones, se determinará que los mejores resultados se obtuvieron en la proporción del 20% de arena de mata de níquel combinada con arena limosa. Observándose un aumento significativo en la resistencia a compresión y corte, así como alineación en el porcentaje de absorción, también se mejoran las características físicas del ladrillo, con uniformidad en poros y más sólido.

Utilizando la proporción anterior se procede a la fabricación de un nuevo lote de ladrillo, estos para la fabricación de prismas (muros de mampostería) para someterlos a ensayos de compresión, corte y adherencia.

### **5.1.3. Análisis e interpretación de resultados en prismas de mampostería**

Los prismas fabricados para los ensayos de mampostería que fueron expuestos a cargas de compresión, corte y adherencia, fueron fabricados utilizando la proporción de arena de mata de níquel en un 20% combinación arena limosa, que fueron los que presentaron las mejores características en los ensayos del área de metales. Los resultados obtenidos al ensayar los primas de mampostería, presentaron resultados dentro de los rangos aceptables.

Se presenta una deducción de los posibles factores que afectan las características de los ladrillos, nos encontramos con poco o nulo control sobre la calidad e igualdad de características de la materia prima, así como los hornos artesanales utilizados son de ciclos discontinuos, estos mismos se encuentran a cielo abierto de modo que son afectados directamente por el estado del clima y la dirección en que sopla el viento. Por lo que la cocción que es uno de los procesos más importantes no garantiza resultados satisfactorios.

Tabla XVIII. **Resultados de ensayos de laboratorios, aplicados a unidades de ladrillos, y a prismas de mampostería**

Id (unidad)	Carga (kg)	Área compresión (cm <sup>2</sup> )	Área corte (cm <sup>2</sup> )	Área adherencia (cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	V corte (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ adherencia
0%-1	27 215,82	256,668	56,253		106,035	483,811	
0%-2	24 947,84	255,633	54,723		97,592	455,893	
0%-3	18 143,88	254,669	56,508		71,244	321,084	
20%-1	29 483,81	266,448	57,694		110,654	511,036	
20%-2	26 308,63	264,833	57,492		99,340	457,597	
20%-3	24 040,64	264,125	57,191		91,019	420,356	
P1-14 d.	18 143,69	546,25			16,89		
P2-14 d.	14 741,75	544,92			13,67		
P3-14 d.	16 782,92	540,50			15,79		
P4-28 d.	16 329,33	528,00			16,00		
P5-28 d.	13 607,77	539,00			13,10		
P6-28 d.	15 422,14	528,00			15,00		
P1-14 d.	2 590,38					2,67	
P 2-14 d.	2 742,75					2,92	
P 3-14 d.	2 641,17					2,76	
P 4-28 d.	2 539,59					2,70	
P5-28 d.	3 453,84					3,45	
P6-28 d.	3 454,18					3,44	
P1-14 d.	4 144,40			263,29			15,74
P2-14 d.	3 028,60			167,24			18,11
P3-14 d.	9 245,20			615,60			15,02
P4-14 d.	9 882,80			621,50			15,90
P5-14 d.	9 245,20			610,20			15,15
P6-28 d.	10 520,40			374,00			28,13
P7-28 d.	9 882,80			330,00			29,95

Fuente: elaboración propia.

Simbología aplicada:

0% = contenido de escoria de mata de níquel, en la fabricación de ladrillo.

1 = número de la pieza ensayada.

P 1 = número de prisma (muro de mampostería).

14d = tiempo de fraguado de mortero para construcción de prismas, en días.

## CONCLUSIONES

1. La clasificación de la materia prima para la fabricación de ladrillo de barro cocido se realiza por simple inspección visual, mejorando este proceso, se podrán obtener mejores resultados ya que la materia prima es de los factores más importantes que influye en un producto terminado.
2. El ensayos de límites de Atterberg permite conocer, el comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla, lo que llevó a concluir la clasificación correcta del la materia prima como arena limosa con ligera presencia de arcilla.
3. Con el uso de escoria de mata de níquel en forma de arena y combinarla en un 20% con arena limosa, se obtuvo 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.
4. 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 influye en la uniformidad y calidad del producto terminado.
5. La mejor proporción es el uso en un 20% de escoria de mata de níquel en la fabricación de ladrillo.



## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda controles de calidad en todo el proceso de producción para obtener un producto competitivo dentro del campo de la construcción, realizando 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 del ladrillo cocido.
2. 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.
3. El uso de escoria de mata de níquel como material alternativo, al sustituirlo con el llamado mizcle, ayudará a mejorar las características físico-mecánicas del producto convencional.
4. Mejoras en la construcción de hornos, proponiendo la construcción de hornos de ciclos continuos mejorará los resultados del producto terminado. Se recomienda el uso alternativo de productos para la quema del ladrillo, sustituyendo la leña por cascarilla de arroz, cascarilla de café o caña molida, debido a que con ello se reducirá la deforestación en la región.
5. No utilizar más del 20% de escoria de mata de níquel en la fabricación de ladrillo, porque provoca daño en los elementos (baja resistencia).



## BIBLIOGRAFÍA

1. American Society of Testing and Materials (ASTM). Norma: ASTM C-270-03b, Norma: E-447-84, Norma: E-519-81. Norma D-4318. Norma D-2419-5, Norma E-447-84 Y C-1314. West Conshohocken, ASTM International, PA, USA.
2. HERNANDEZ CANALES, Juan Carlos, Características físicas y propiedades de los suelos y métodos de medición. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 466 p.
3. CHUPINA DE LEÓN, Alejandra Margarita, Estudio comparativo entre las técnicas más utilizadas para la caracterización de arcillas y su aplicación industrial en la fabricación de ladrillos. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 104 p.
4. Normas de la Comisión Guatemalteca de Normas, NGO 41 022; NGO 41 023; NGO 41 024 h2; NGO 41 024 h3; NGO 41 024 h4; NGO 41 024 h5. Guatemala, (COGUANOR), 1997.
5. SAMAYOA TERET, Eber Otoniel, "Evaluación de escoria de ferroníquel como agregado fino para morteros de albañilería y acabados". Trabajo de graduación de Ing. Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009, 82 p.



## **ANEXOS**

**Informes de laboratorios del Centro de Investigaciones de Ingeniería,  
Universidad de San Carlos de Guatemala.**



Figura 37. Informe de ensayo limites de Atterberg.



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



Nº 004773

O.T. No 27195  
No. Informe Lab. 023-10

Interesado: Luis Arturo Chamalé Boror  
Proyecto: Trabajo de Tesis: "Uso de escoria de mata de níquel en la fabricación de ladrillos (Tayuyo) en forma Artesanal"  
Muestra: Muestra de suelo  
Fecha: Guatemala, 21 de julio del 2010

Determinación del Contenido de aluminio, calcio, hierro, y magnesio por volumetría

MUESTRA*	% RESULTADO
Aluminio ( $Al_2O_3$ )	2.39 ± 0.53
Calcio (CaO)	<0.01
Hierro ( $Fe_2O_3$ )	5.74 ± 0.31
Magnesio (MgO)	3.26 ± 0.14

\* Muestra proporcionada por el interesado adjuntas

Ing. Cesar Alfonso García Guerra  
Centro de Investigaciones de Ingeniería  
Jefe de Sección



Vo.Bo. Inga. Telma Maricela Cano M  
Centro de Investigaciones de Ingeniería  
DIRECTORA



Figura 38. Informe de ensayo equivalente de arena



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



Nº 21304

INFORME No.: 389 S. S. O.T.: 27196

INTERESADO: Luis Arturo Chamalé Boror

PROYECTO: Trabajo de Tesis

ASUNTO: ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA

Norma: A.A.S.T.H.O T-176

UBICACIÓN: Ciudad de Guatemala

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena limosa color café

FECHA: 17 de noviembre de 2010

**RESULTADO DEL ENSAYO:**

E.A=	16
------	----

OBSERVACIONES: Muestra tomada por el interesado

Atentamente,

Vo. Bo.

  
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



Figura 39. Informe de ensayo de unidades a compresión



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



O.T. No. 27440

INFORME No. 700-M

INTERESADO: LUIS ARTURO CHAMALE BOROR (CANE No. 1998-12272)

PROYECTO: TESIS "USO DE ESCORIA DE MATA DE NIQUEL EN LA FABRICACION DE LADRILLOS (TAYUYO) EN FORMA ARTESANAL".

ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION EN LADRILLOS CON NIVELACION DE AZUFRE.

FECHA: GUATEMALA, 04 DE NOVIEMBRE DE 2010.

**ANTECEDENTES**

El estudiante LUIS ARTURO CAMALE BOROR, con numero de carne No. 1998-12272 de la carrera de Ingeniería Civil, solicito a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara, ensayo de compresión a en ladrillos y nivelación con azufre, los ensayos en cuestión son parte de su trabajo de tesis "USO DE ESCORIA DE MATA DE NIQUEL EN LA FABRICACION DE LADRILLOS (TAYUYO) EN FORMA ARTESANAL".

**RESULTADO**

id (ladrillo)	largo (cms)	ancho (cms)	alto (cms)	% abrs.	compresion		corte		compresion		corte
					area (cm <sup>2</sup> )	area (cm <sup>2</sup> )	carga (kgs)	carga (lbs)	σ (kgs/cm <sup>2</sup> )	V (kgs/cm <sup>2</sup> )	
0%-1	23.27	11.03	5.1	21.11	256.6681	56.253	27215.82	60000	106.03508	483.81102	
0%-2	23.03	11.1	4.93	20.74	255.633	54.723	24947.84	55000	97.592394	455.89307	
0%-3	23.3	10.93	5.17	15.32	254.669	56.5081	18143.88	40000	71.244953	321.08461	
20%-1	23.23	11.47	5.03	18.02	266.4481	57.6941	29483.81	65000	110.65497	511.03677	
20%-2	23.17	11.43	5.03	18.22	264.8331	57.4929	26308.63	58000	99.340405	457.59785	
20%-3	23.23	11.37	5.03	18.22	264.1251	57.1911	24040.64	53000	91.019908	420.35635	
40%-1	23.57	11.63	5.03	15.92	274.1191	58.4989	13607.91	30000	49.64233	232.61823	
40%-2	23.43	11.67	5.07	15.94	273.4281	59.1669	19958.27	44000	72.99275	337.32153	
40%-3	23.07	11.43	5.13	17.09	263.6901	58.6359	28123.02	62000	106.65177	479.62111	
50%-1	23.5	10.43	5.17	15.32	245.105	53.9231	18143.88	40000	74.024932	336.47696	
50%-2	23.93	11.83	5.03	14.37	283.0919	59.5049	14515.1	32000	51.273473	243.93125	
50%-3	23.6	10.6	4.97	15.31	250.16	52.682	22679.85	50000	90.661382	430.50475	

Nota: Simbología de id piezas

0%-1 EJEMPLO

0%= CONTENIDO DE ESCORIA DE MATA DE NIQUEL EN LA FABRICACION DEL LADRILLO

1= NUMERO DE LA PIEZA

Ing. Pablo Christian De León Rodríguez  
Jefe de Metales y Productos  
Manufacturados  
C.I.I.

Atentamente,

Vo.Bo. Inga. Telma Manicela Cano Morales  
DIRECTORA C.I.I.



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

Figura 40. Grafica de dispersión de ensayo de unidades a compresión



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



O.T. No. 27440

INFORME No. 700-M

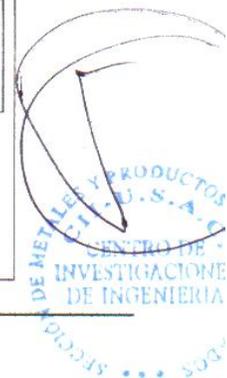
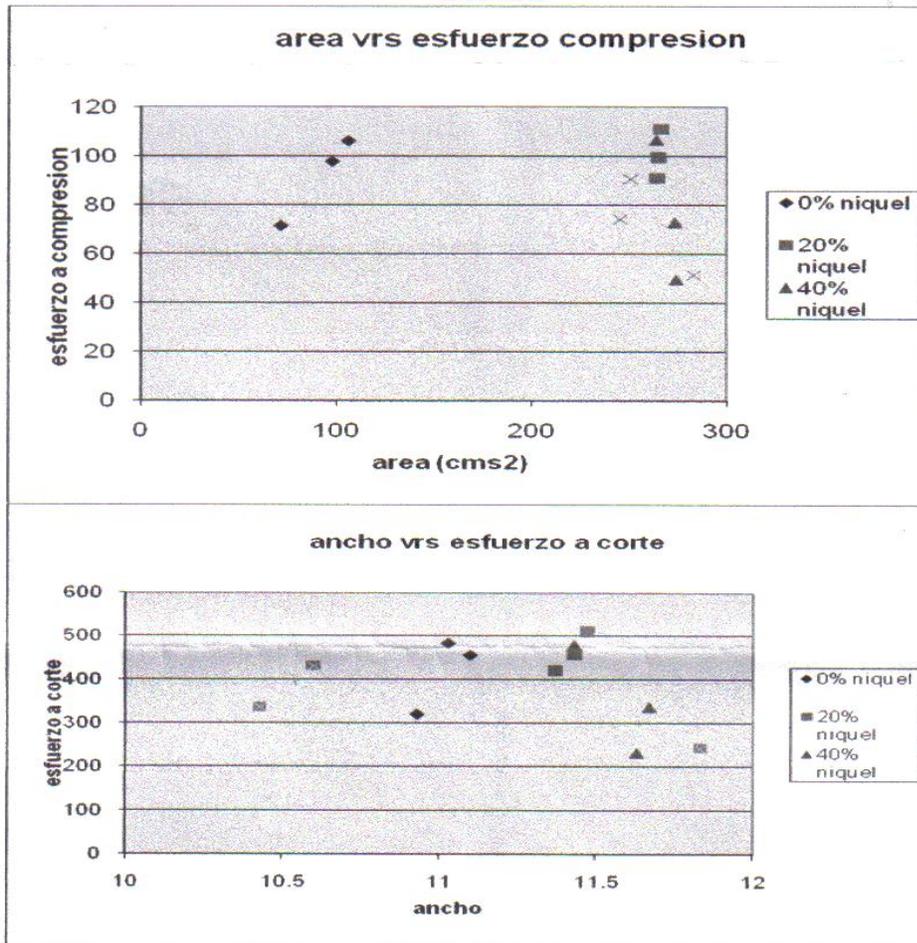
INTERESADO: LUIS ARTURO CHAMALE BOROR (CANE No. 1998-12272)

PROYECTO: TESIS "USO DE ESCORIA DE MATA DE NIQUEL EN LA FABRICACION DE LADRILLOS (TAYUYO( EN FORMA ARTESANAL".

ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION EN LADRILLOS CON NIVELACION DE AZUFRE.

FECHA: GUATEMALA, 04 DE NOVIEMBRE DE 2010.

GRAFICAS



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

Figura 41. Descripción de ensayo de prismas a compresión



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



Nº 17741

INFORME No. EP-Febrero 22  
O.T. 27565

1/9

INTERESADO: Luis Arturo Chamalé Boror

ASUNTO: Tesis "Uso de escoria de mata de níquel en la fabricación de ladrillos (tayuyo) en forma artesanal"

FECHA: 22, de febrero de 2011

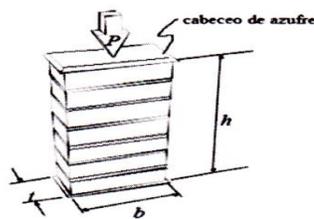
### GENERALIDADES

El estudiante Luis Arturo Chamalé Boror de carné 1998-12272 solicitó los servicios del Centro de Investigaciones de ingeniería para ensayos de a COMPRESION, CORTE y ADHERENCIA, en elementos prismáticos necesarios en el trabajo de graduación "Uso de escoria de mata de níquel en la fabricación de ladrillos (tayuyo) en forma artesanal".

Los elementos fueron llevados al área de estructuras donde han sido evaluados a 14 y 28 días de edad, utilizando mortero elaborado a base de cemento y escoria de níquel como agregado fino.

### ENSAYO DE ELEMENTOS PRISMÁTICOS A COMPRESIÓN

#### Descripción de prismas



#### Descripción de Ensayo

La resistencia a la compresión de la mampostería se determina mediante pruebas de prismas de conformidad con la norma ASTM C 1314. El Prisma es el método más racional para la determinación de la resistencia a la compresión, ya que toma en cuenta las propiedades de las unidades de mampostería y morteros como un sistema compuesto.

Figura 42. Informe de ensayo de prismas a compresión



INFORME No. EP-Febrero 22  
O.T. 27565

2/9

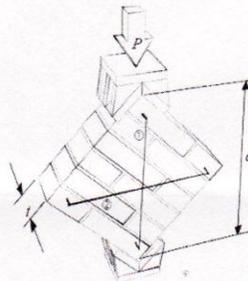
En el ensayo a compresión, se le aplica gradualmente, carga vertical uniformemente distribuida a la cara superior del prisma, tomando datos de carga a la primera falla, además de la carga de colapso.

Datos de Ensayo a Compresión

Prisma	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)
1	18,143.69	546.25	16.89	14
2	14,741.75	544.92	13.67	14
3	16,782.92	540.50	15.79	14
4	16,329.33	528.00	16.00	28
5	13,607.77	539.00	13.10	28
6	15,422.14	528.00	15.00	28

**ENSAYO DE ELEMENTOS PRISMÁTICOS A CORTE**

Descripción de prismas



Descripción de Ensayo

La resistencia de diseño a corte o compresión diagonal de la mampostería,  $V_m^*$ , sobre área bruta de la diagonal, se obtiene mediante el calculo resultante del ensayo el cual consiste en someter a los prismas a una carga de compresión monótona a lo largo de su diagonal y el esfuerzo cortante medio se determinará dividiendo la carga máxima entre el área bruta del prisma, medida sobre la misma diagonal.

Figura 43. Informe de ensayo de prismas a corte

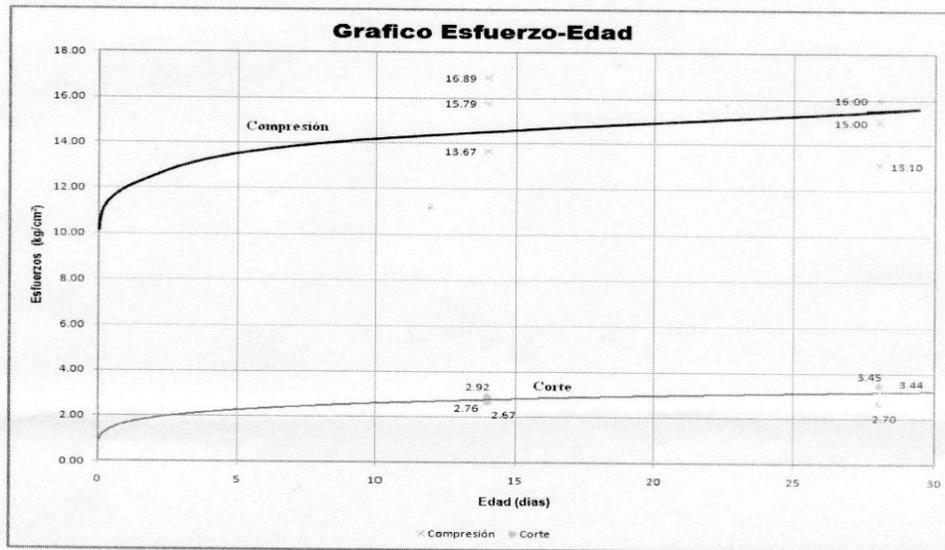
INFORME No. EP-Febrero 22  
O.T. 27565

3/9

Datos de Ensayo a Corte

Prisma	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)
1	2,590.38	2.67	14
2	2,742.75	2.92	14
3	2,641.17	2.76	14
4	2,539.59	2.70	28
5	3,453.84	3.45	28
6	3,454.18	3.44	28

Análisis de Ensayo a Compresión Corte



Los valores extremos a compresión encontrados a 14 y 28 días nos dan el indicativo de la variación alta que tiene este sistema de mampostería; mismo que nos indica la influencia en la forma de la dosificación para la elaboración, la ubicación dentro del horno y la cantidad de calor en el proceso de conocimiento. En cuanto a corte la condición presentada anteriormente disminuye debido a que el elemento esta trabajando mas diagonalmente e influye la mezcla de pega en mayor proporción por ello es que los resultados no son muy dispersos.

Grafica 44. Informe de ensayo de prismas por adherencia



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



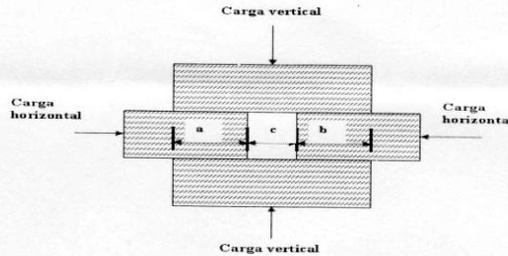
Nº 17744

INFORME No. EP-Febrero 22  
O.T. 27565

4/9

**ENSAYO DE ELEMENTOS PRISMÁTICOS PARA ADHERENCIA**

Descripción de prismas



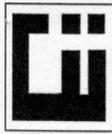
Descripción de Ensayo

Este estudio la acción de una fuerza horizontal en un muro ocasionada normalmente por el viento o sismo, a la cual se contrapone una fuerza resistente o fuerzas de cortante; originadas por adherencia y fricción existente entre el mortero y la unidad de mampostería, en este caso se someten los prismas a cargas axiales de confinamiento y cargas laterales, colocando el prisma dentro de un marco que permita una adecuada aplicación de cargas, la carga de confinamiento se aumenta a partir de la obtención de la falla por adherencia, luego se repite el proceso hasta que se pierde la capacidad de confinamiento (colapso).

Datos de Ensayo de Adherencia

No	Edad (días)	Carga (kg)	Área de Contacto (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo de Adherencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	14	4144.40	263.29	15.74
2	14	3028.60	167.24	18.11
3	14	9245.20	615.6	15.02
4	14	9882.80	621.5	15.90
5	14	9245.20	610.2	15.15
6	28	10520.40	374	28.13
7	28	9882.80	330	29.95

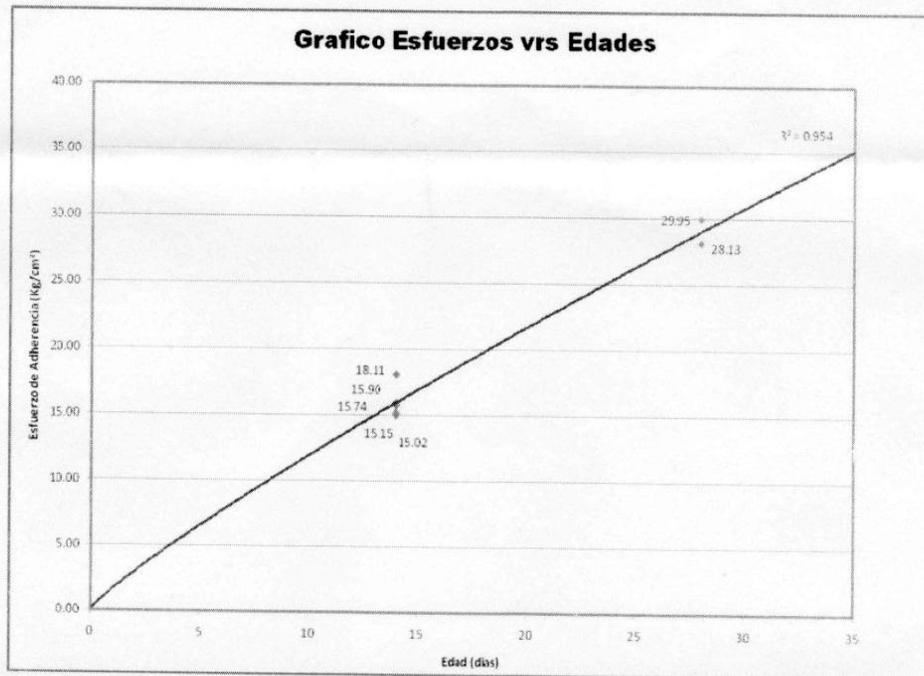
Grafica 45. Análisis grafico de ensayo por adherencia



INFORME No. EP-Febrero 22  
O.T. 27565

5/9

Análisis de Ensayo de Adherencia



La adherencia reporto un esfuerzo, aproximadamente 2 veces mas de la capacidad que tiene el elemento a compresión, lo cual nos da el indicativo de que el elemento trabaja en forma aceptable.

## Grafica 46. Conclusión de ensayos en prismas



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



Nº 17748

INFORME No. EP-Febrero 22  
O.T. 27565

9/9

### Conclusión

Un criterio que se ha manejado en forma generalizada es que los esfuerzos de compresión de los prismas sean 6 veces mayor a los esfuerzos de corte, condición que en los elementos ensayados no se dio, ya que reporto una relación del orden de 4.5.

La relación de esfuerzos de compresión respecto a la adherencia se espera de que como mínimo sea de 2, condición en la cual vemos que en promedio se logro en los ensayos realizados.

Luego de evaluar los tres ensayos realizados en los prismas (compresión, corte y adherencia) llegamos a determinar que los mismos podrían alcanzar los limites mínimos, si se logran mejoras en el proceso de fabricación de los elementos de mampostería.

  
Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila  
Sección de Estructura



  
Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII

