



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

CARACTERIZACIÓN DE LAS ARCILLAS PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES

NORMA LISSETTE ZEA OSORIO

Asesorada por Ing. Hugo Rolando Bosque Morales

Guatemala, noviembre de 2005

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. MARCO TEÓRICO	
1.1. Arcilla	1
1.1.1. Generalidades	1
1.1.2. Tratamiento de la arcilla en la antigüedad para la fabricación de ladrillos artesanales.	2
1.1.2.1. Extracción	3
1.1.2.2. Depuración de la mezcla	3
1.1.2.3. Amasado	4
1.1.2.4. Moldeado	4
1.1.2.5. Secado	5
1.1.2.6. Cocción	5
1.1.3. Arcilla como material constructivo en la antigüedad	6
1.2. Adobe	8
1.2.1. Generalidades	9
1.3. Ladrillo	10
1.3.1. Historia del ladrillo	10
1.3.2. Partes de un ladrillo	11
1.3.3. Clases de ladrillos	13
1.3.3.1. Ladrillo macizo	13

1.3.3.2.	Ladrillo perforado	13
1.3.3.3.	Ladrillos huecos	14
1.3.3.4.	Ladrillos especiales	14
1.3.4.	Condiciones que deben reunir los ladrillos	14
2.	ORIGEN Y FORMACIÓN DE LAS ARCILLAS	
2.1.	Origen de los silicatos	15
2.2.	Origen de las arcillas	16
2.3.	Clasificación de las arcillas según su origen	19
2.4.	Estructura de las arcillas	20
2.5.	Geología general de las arcillas	20
2.6.	Mineralogía de las arcillas	21
2.6.1.	Grupo Caolín	22
2.6.2.	Grupo Montmorillonita	23
2.6.3.	Grupo Illita o Hidromica	23
2.6.4.	Grupo Attapulgita y Sepiolita	23
2.6.5.	Grupo Atofana	24
3.	APLICACIONES Y PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS	
3.1.	Aplicaciones de las arcillas	25
3.1.1.	Materia prima utilizada en la fabricación de ladrillos	26
3.1.2.	Clasificación de las arcillas según su empleo en la construcción	27
3.1.2.1.	Ladrillos	28
3.1.2.2.	Refractarios	28
3.1.2.2.1.	Clasificación primaria, conforme a carácter físico	29
3.1.2.2.2.	Clasificación de acuerdo con la fusibilidad	29
3.1.2.3.	Gres	29

3.1.2.4.	Porcelana	30
3.1.2.5.	Azulejos	30
3.2.	Propiedades de las arcillas	30
3.2.1.	Superficie específica	31
3.2.2.	Acción del calor sobre las arcillas	32
3.2.3.	Coloración	33
3.2.3.1.	Color Natural	33
3.2.3.2.	Color Quemado	33
3.2.4.	Tamaño de partícula	34
3.2.5.	Impurezas	34
3.2.6.	Contracción	35
3.2.7.	Secamiento	36
3.2.7.1.	Secado natural	37
3.2.7.2.	Secado artificial	37
3.2.8.	Propiedades de secado	37
3.2.8.1.	Resistencia Mecánica	37
3.2.8.2.	Porosidad y Permeabilidad	38
3.2.8.3.	Vitrificación	39
3.2.9.	Intercambio de bases	39
3.2.10.	Cambios termoquímicos	40
3.2.11.	Materiales acompañantes	41
3.2.12.	Capacidad de absorción	41
3.2.13.	Hidratación e hinchamiento	41
3.2.14.	Plasticidad	42
3.2.15.	Tixotropía	43
3.3.	Composición química de las arcillas	43
3.3.1.	Determinación de silicio	44
3.3.2.	Determinación de aluminio	44
3.3.3.	Determinación de hierro	45

3.3.4.	Determinación de magnesio	45
3.3.5.	Determinación de calcio	46
3.4.	Inspección visual y de textura	46
4.	PROCESO DE FABRICACIÓN DEL LADRILLO	
4.1.	Proceso de fabricación artesanal	49
4.1.1.	Extracción del material	49
4.1.2.	Tratamiento del material	50
4.1.3.	Amasado	51
4.1.4.	Reposo o madurado	52
4.1.5.	Modelado	53
4.1.6.	Secado	53
4.1.7.	Cocción	54
4.1.8.	Transporte	55
4.2.	Proceso de fabricación industrial	56
4.2.1.	Extracción del material	56
4.2.2.	Preparación del material	56
4.2.3.	Moldeado	57
4.2.4.	Secado	57
4.2.5.	Cocción	58
4.2.6.	Transporte	58
4.3.	Controles de calidad en fabricación de ladrillos	58
4.3.1.	Control de calidad en fabricación artesanal	58
4.3.2.	Control de calidad en fabricación industrial	59
4.4.	Hornos artesanales	59
4.4.1.	Definición	59
4.4.2.	Generalidades	59
4.4.3.	Desventajas de los hornos artesanales	60
4.4.4.	Colocación de los ladrillos en el horno	61

5.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	
5.1.	Selección de los lugares de muestreo	63
5.2.	Ensayos de laboratorio	64
5.2.1.	Características físicas	65
5.2.1.1.	Ensayos de Límites de Atterberg, límite líquido y límite plástico, Normas AASHTO T89-68 y T90-70, ASTM D-4318	66
5.2.1.2.	Gravedad Específica Normas AASHTO T-100 y ASTM D-854	76
5.2.1.3.	Análisis Granulométrico	86
5.2.1.3.1.	Método del Hidrómetro Normas AASHTO T-88 y ASTM D-422	86
5.2.1.3.2.	Método Mecánico Normas AASHTO T-88 y ASTM D-422	87
5.2.2.	Características Químicas	106
5.2.3.	Propiedades Mecánicas	108
5.3.	Presentación de resultados	110
5.4.	Análisis e Interpretación de resultados	117
	CONCLUSIONES	123
	RECOMENDACIONES	125
	REFERENCIAS	127
	BIBLIOGRAFÍA	129
	ANEXOS	131

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Partes de un ladrillo, aristas	11
2. Partes de un ladrillo, caras	12
3. Extracción del material	50
4. Tratamiento del material	51
5. Amasado	52
6. Reposo o madurado	52
7. Secado y modelado	54
8. Cocción	55
9. Transporte	56
10. Hornos empleados en la cocción de ladrillos	60
11. Estatigrafía de los suelos que conforman la mezcla utilizada en la fabricación del ladrillo cocido artesanalmente	64
12. Bancos de material del área del Tejar Chimaltenango	65
13. Ensayo de límites de Atterberg, límite líquido	66
14. Ensayo de límites de Atterberg, límite plástico	67
15. Ensayo de gravedad específica	77
16. Análisis Granulométrico método del hidrómetro	87
17. Análisis Granulométrico método mecánico separación del material por tamaño de partícula.	88
18. Análisis Granulométrico método mecánico, tamizadora	89
19. Análisis Químicos	106
20. Ensayo a compresión	108

TABLAS

I. Clasificación de arcillas según su origen	19
II. Clasificación de las arcillas en base a datos estructurales y composición	22
III. Superficies específicas de arcillas	32
IV. Períodos de cocción	40
V. Rangos del índice plástico	67
VI. Fórmulas para calcular los límites de Atterberg	68
VII. Resultados del límite líquido y plástico Ladrillera Mazateca, MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla	68
VIII. Resultados del límite líquido y plástico Ladrillera Mazateca, Suelo Orgánico	69
IX. Resultados del límite líquido y plástico Ladrillera Mazateca, Barro Negro	69
X. Resultados del límite líquido y plástico Ladrillera Mazateca, Arcilla	70
XI. Resultados del límite líquido y plástico Ladrillera Morazán, MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla	70
XII. Resultados del límite líquido y plástico Ladrillera Morazán, Suelo Orgánico	71
XIII. Resultados del límite líquido y plástico Ladrillera Morazán, Barro Negro	71
XIV. Resultados del límite líquido y plástico Ladrillera Morazán, Arcilla	72

XV.	Resultados del límite líquido y plástico Ladrillera Sánchez, MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla	72
XVI.	Resultados del límite líquido y plástico Ladrillera Sánchez, Suelo Orgánico	73
XVII.	Resultados del límite líquido y plástico Ladrillera Sánchez, Barro Negro	73
XVIII.	Resultados del límite líquido y plástico Ladrillera Sánchez, Arcilla	74
XIX.	Resultados del límite líquido y plástico Ladrillera Tikal, MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla	74
XX.	Resultados del límite líquido y plástico Ladrillera Tikal, Suelo Orgánico	75
XXI.	Resultados del límite líquido y plástico Ladrillera Tikal, Barro Negro	75
XXII.	Resultados del límite líquido y plástico Ladrillera Tikal, Arcilla	76
XXIII.	Fórmula para calcular gravedad específica	77
XXIV.	Resultados de gravedad específica Ladrillera Mazateca, MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla	78
XXV.	Resultados de gravedad específica Ladrillera Mazateca, Suelo Orgánico	78
XXVI.	Resultados de gravedad específica Ladrillera Mazateca, Barro Negro	79
XXVII.	Resultados de gravedad específica Ladrillera Mazateca, Arcilla	79
XXVIII.	Resultados de gravedad específica Ladrillera Morazán, MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla	80

XXIX.	Resultados de gravedad específica Ladrillera Morazán, Suelo Orgánico	80
XXX.	Resultados de gravedad específica Ladrillera Morazán, Barro Negro	81
XXXI.	Resultados de gravedad específica Ladrillera Morazán, Arcilla	81
XXXII.	Resultados de gravedad específica Ladrillera Sánchez, MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla	82
XXXIII.	Resultados de gravedad específica Ladrillera Sánchez, Suelo Orgánico	82
XXXIV.	Resultados de gravedad específica Ladrillera Sánchez, Barro Negro	83
XXXV.	Resultados de gravedad específica Ladrillera Sánchez, Arcilla	83
XXXVI.	Resultados de gravedad específica Ladrillera Tikal, MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla	84
XXXVII.	Resultados de gravedad específica Ladrillera Tikal, Suelo Orgánico	84
XXXVIII.	Resultados de gravedad específica Ladrillera Tikal, Barro Negro	85
XXXIX.	Resultados de gravedad específica Ladrillera Tikal, Arcilla	85
XL.	Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices Ladrillera Mazateca, MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla	90
XLI.	Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices Ladrillera Mazateca, Suelo Orgánico	91
XLII.	Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices Ladrillera Mazateca, Barro Negro	92

XLIII. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices Ladrillera Mazateca, Arcilla	93
XLIV. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices Ladrillera Morazán, MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla	94
XLV. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices Ladrillera Morazán, Suelo Orgánico	95
XLVI. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices Ladrillera Morazán, Barro Negro	96
XLVII. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices Ladrillera Morazán, Arcilla	97
XLVIII. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices Ladrillera Sánchez, MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla	98
XLIX. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices Ladrillera Sánchez, Suelo Orgánico	99
L. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices Ladrillera Sánchez, Barro Negro	100
LI. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices Ladrillera Sánchez, Arcilla	101
LII. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices Ladrillera Tikal, MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla	102
LIII. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices Ladrillera Tikal, Suelo Orgánico	103
LIV. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices Ladrillera Tikal, Barro Negro	104
LV. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices Ladrillera Tikal, Arcilla	105
LVI. Análisis Químico, Muestra: Suelo Orgánico	107

LVII.	Análisis Químico, Muestra: Barro Negro	107
LVIII.	Análisis Químico, Muestra: Arcilla	107
LIX.	Ensayos mecánicos Ladrillera Mazateca	109
LX.	Ensayos mecánicos Ladrillera Morazán	109
LXI.	Ensayos mecánicos Ladrillera Sánchez	110
LXII.	Ensayos mecánicos Ladrillera Tikal	110
LXIII.	Resultados de las pruebas de laboratorio Fábrica Artesanal Mazateca	111
LXIV.	Resultados de las pruebas de laboratorio Fábrica Artesanal Morazán	112
LXV.	Resultados de las pruebas de laboratorio Fábrica Artesanal Sánchez	113
LXVI.	Resultados de las pruebas de laboratorio Fábrica Artesanal Tikal	114
LXVII.	Resultados de los ensayos por tipo de suelo de cada fábrica artesanal, Suelo Orgánico	115
LXVIII.	Resultados de los ensayos por tipo de suelo de cada fábrica artesanal, Barro Negro	116
LXIX.	Resultados de los ensayos por tipo de suelo de cada fábrica artesanal, Arcilla	116
LXX.	Presentación comparativa de los ensayos mecánicos de cada fábrica artesanal	117
LXXI.	Caracterización de los suelos utilizados en la mezcla del ladrillo Fábrica Artesanal Mazateca	118
LXXII.	Caracterización de los suelos utilizados en la mezcla del ladrillo Fábrica Artesanal Morazán	118
LXXIII.	Caracterización de los suelos utilizados en la mezcla del ladrillo Fábrica Artesanal Sánchez	119

LXXIV.	Caracterización de los suelos utilizados en la mezcla del ladrillo	
	Fábrica Artesanal Tikal	119
LXXV.	Caracterización según composición química y gravedad específica	
	Fábrica Artesanal Mazateca	120
LXXVI.	Caracterización según composición química y gravedad específica	
	Fábrica Artesanal Morazán	120
LXXVII.	Caracterización según composición química y gravedad específica	
	Fábrica Artesanal Sánchez	121
LXXVIII.	Caracterización según composición química y gravedad específica	
	Fábrica Artesanal Tikal	121
LXXIX.	Características del ladrillo como producto final	122

GLOSARIO

- Adobe** Masa de suelo arcilloso mezclado, a veces con paja, moldeado en forma de ladrillo y secado al aire, que se emplea en la construcción de paredes o muros.
- Agua** Las denominaciones que se le dan al agua son:
- física o de formación: corresponden al agua o la humedad que agregamos físicamente a la pasta y que se evaporará o será eliminada mediante el secado;
 - el agua química o de combinación: es la que está químicamente combinada con la arcilla -es un silicato de alúmina hidratado: $\text{Al}_2\text{O}_3 - 2\text{SiO}_2 - 2\text{H}_2\text{O}$ -, y que se descompone y desprende de las piezas a partir de los 450° C del ciclo de horneado.
- Alfarería** Arte de fabricar piezas de suelo arcilloso, que son sometidas a la cocción.
- Alúmina** Óxido de aluminio que se halla en la naturaleza algunas veces puro y cristalizado y, por lo común, formando en combinación con el sílice y otros cuerpos, los feldespatos y las arcillas.

Amasar	Proceso ejecutado con las manos para homogenizar el suelo arcilloso con el agua con el fin de darle la consistencia deseada y eliminar burbujas de aire.
Arcilla	Suelo finamente dividido, constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados que procede de la descomposición de minerales de aluminio. Es de color blanco cuando es pura y con coloraciones diversas según las impurezas que contiene.
Artesano	Persona que ejercita un arte u oficio meramente mecánico.
Arena	Conjunto de partículas desagregadas de las rocas, sobre todo, si son silíceas y acumuladas, en las orillas del mar, ríos, o en capas de los terrenos de acarreo.
Calcinación	Consiste en quemar una mezcla, a una temperatura moderada con el fin de extraer el agua química o el bióxido de carbono.
Caolín	Arcilla pura, blanda y blanca con plasticidad variable, en general baja, retiene su color blanco durante la cocción. Su fórmula química ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$).
Color	El color resultante se puede cambiar o forzar en forma dramática, según si las piezas se queman en atmósfera oxidante o reductora.

Contracción	Durante el secado y, 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.
Crudo	Estado de los ladrillos crudos que ya han perdido la mayor parte del agua física y que se reconoce porque ya no obedecen a la presión de los dedos y su consistencia es rígida.
Estiba	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.
Horno	Construido con ladrillos refractarios y provisto de un equipo de calentamiento alimentado por leña como combustible y al alcanzar muy altas temperaturas, hace posible el horneado o quema de las piezas.
Molde	Elemento generalmente de madera, que contiene una forma hueca, el negativo de una forma, que será llenada con pasta en forma de suspensión líquida espesa, con lo que se obtendrá la forma positiva.
Mezcla	Agregación o incorporación de varias sustancias o cuerpos que no tienen entre sí acción química.

Pasta	Mezcla de arcillas y otros ingredientes susceptibles de ser quemados que sirve para fabricar los ladrillos.
Pirómetro	Instrumento para medir la temperatura dentro del horno; los hay eléctricos y mecánicos, análogos y digitales. La diferencia significativa con los termómetros es que los pirómetros se meten dentro del horno y están expuestos directamente al fuego, -en Griego, Piro significa fuego-.
Plasticidad	Característica de la arcilla que le permite ser moldeada y retener la forma, sin deformarse.
Refractarios	Materiales con altos contenidos de alúmina y sílice, lo que debido a su alto punto de fusión, los hace resistentes a temperaturas muy altas. Por esta razón, son usados como accesorios para el horno.
Sílice	Óxido de silicio (SiO_2). Lo encontramos en la naturaleza, como pedernal o cuarzo. Junto con la alúmina es el componente que forma la base de las arcillas.
Vaciado	Equivalente a 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

El trabajo de graduación que se presenta a continuación, contiene la evaluación de características físicas, mecánicas y químicas de los suelos que se utilizan en la producción del ladrillo cocido en las fábricas artesanales de la región del Tejar-Chimaltenango, teniendo como finalidad, determinar propiedades, para establecer una dosificación adecuada de la mezcla, para obtener un producto de calidad.

Se realiza una descripción de los ensayos, que se emplean para determinar las características físicas y propiedades mecánicas de las arcillas, como límites de Atterberg, gravedad específica, granulometría por sedimentación y tamices, porcentajes de absorción y ensayo a compresión, como un análisis químico para determinar los minerales que contienen; para poder establecer las reacciones que las mismas tienen con los demás elementos que se utilizan en la fabricación del ladrillo cocido.

Con los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio, se realiza la tabulación de resultados y expuestos los mismos de forma gráfica, para proceder a clasificar las arcillas utilizadas en la producción del ladrillo, por cada una de las fábricas artesanales.

OBJETIVOS

General

Evaluar las propiedades Físicas, Mecánicas y Químicas de los suelos que conforman la mezcla utilizada en la producción del ladrillo cocido artesanalmente, en el área del Tejar Chimaltemango.

Específicos

1. Efectuar una identificación de las características de la naturaleza geológica de las partículas que componen la muestra a evaluar.
2. Realizar una clasificación y comparación de las muestras, que utilizan cada una de las fábricas ladrilleras artesanales en la producción de ladrillos cocidos, para determinar calidades.
3. Canalizar la viabilidad de implementar una técnica artesanal mejorada para fabricar ladrillos de calidad superior a los fabricados, actualmente.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación contiene información donde el lector encontrará un completo estudio analítico de las arcillas, una base teórica y experimental acerca de la caracterización de estas, así como, también, se describen sus principales propiedades, como usos específicos de las arcillas en la fabricación de ladrillos artesanales en sus diversas utilidades, ya que, juegan un papel importante en la industria de la cerámica y en particular de la construcción.

El contenido de esta investigación se ha desarrollado en dos fases fundamentales, un marco teórico donde se expone la importancia que tienen los procedimientos que deben ponerse en práctica para determinar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de las arcillas, considerando que la mayoría de los materiales empleados en la fabricación del ladrillo cocido artesanalmente, no tienen un control de sus características. Y el desarrollo experimental que se trabajó en procedimientos de campo obteniendo muestras, haciendo ensayos y analizando resultados.

Se encuentran datos experimentales, conclusiones y recomendaciones obtenidas de todo este proceso, donde se puede conocer la falta de control de calidad de la producción artesanal de los ladrillos cocidos.

1. MARCO TEÓRICO

Arcilla

Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor de 0.005mm que al ser mezcladas con agua tienen la propiedad de volverse plásticas, dúctiles y maleables. Las formas que se le confieren cuando esta húmeda se conserva tras la desaparición del agua. Se endurece permanentemente cuando se cuece o calcina.

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

1.1.1 Generalidades

La arcilla se compone de un grupo de minerales 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 como material edilicio.

1.1.2 Tratamiento de la arcilla en la antigüedad para la fabricación de ladrillos artesanales

El largo proceso de la fabricación de ladrillos, va desde la extracción de la arcilla hasta su ulterior cocción. Como material constructivo es necesario distinguir entre la arcilla sin cocer -tapial o adobe- y la arcilla cocida en su forma más habitual, el ladrillo, propiamente dicho.

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.

1.1.2.1 Extracción

La obtención de arcilla podía realizarse de muy diversas formas, aunque dos eran los procedimientos fundamentales de extracción.

La arcilla que se hallaba en la orilla de los ríos, que resultaba un sistema sencillo y que permitía la obtención del material en numerosas zonas. Tiene el inconveniente de portar gran cantidad de materia orgánica que deberá ser eliminada para la correcta cocción.

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

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

1.1.2.2 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.

Existían diversos sistemas entre los que cabe señalar la limpieza a mano, la depuración por la acción de los agentes naturales y el filtrado en agua.

Estos métodos se utilizaban para la fabricación de vasijas, que requerían una mezcla más fina para su cocción; sin embargo, rara vez se incluían dentro del proceso de fabricación del ladrillo, cuya depuración era menor y se pasaba directamente de la extracción al amasado.

1.1.2.3 Amasado

Se realizaba para dotar de flexibilidad y homogeneidad a la arcilla. También tenía la 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 sometía a un amasado específico que consistía en colocar pequeñas cantidades de materia prima humedecida sobre una superficie plana y espaciosa al aire libre, donde el alfarero la amasaba continuamente con los pies. La operación podía prolongarse varias horas, durante las cuales se eliminaban aquellos cuerpos extraños que eran detectados con el pie.

Durante el amasado se añadían elementos -conocidos con el nombre de desgrasantes- que conferían a la mezcla una mayor resistencia y una menor contracción durante el secado.

1.1.2.4 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 vertía en un molde paralelepípedo que podía estar recubierto con una fina capa de arena para evitar que se pegara.

El alfarero eliminaba con la mano o con un trozo de madera la pasta sobrante y levantaba el molde intentando no deshacer el ladrillo. La operación se repetía 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 -Lidio 29.6 x 14.8; tetradoron 29.6 x 29.6; pentadoron 37 x 37-. A pesar de que los estudios del mismo tipo para el Próximo Oriente y Egipto no están tan avanzados, se cree que las dimensiones del ladrillo también serían homogéneas, cuando menos por regiones.

1.1.2.5 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. El autor romano Vitrubio aconsejaba que el material constructivo se dejara almacenado durante dos años antes de ser utilizado para optimizar su resistencia.

1.1.2.6 Cocción

Constituye la última y definitiva etapa de la fabricación de ladrillos y se llevaba a cabo con la ayuda de hornos que podían ser abiertos o cerrados.

Los hornos cerrados fueron los que se utilizaron para la cocción de ladrillos y su tipología es muy amplia. El horno cerrado romano supone la culminación del modelo tradicional y está compuesto por tres partes fundamentales: el praefurnium -zona donde ardía la materia vegetal-; la cámara de fuego -espacio en el que la llama se expandía- y; la cámara de cocción - lugar donde se cargaba y cocía la arcilla-.

Como se indicó antes, las posibilidades tipológicas y los materiales constructivos podían variar, quedando constancia de ello a través de los numerosos hallazgos de hornos en excavaciones arqueológicas. El empleado para la cocción de ladrillos, aunque del mismo tipo que el usado para las vasijas, permitía una carga mayor en la cámara de cocción. La cocción era muy larga, con una duración aproximada de tres días, aunque variaba en función del tamaño de la hornada, de las características del horno y del material de combustión empleado.

1.1.3 Arcilla como material constructivo en la antigüedad

El inicio de la construcción en materiales imperecederos se produce cuando el hombre abandona el nomadismo para adoptar unas pautas de vida sedentarias -proceso que comienza a partir del Neolítico-. Desde el inicio de esta evolución, los hombres han construido con los materiales que le rodeaban, con aquello que tenían al alcance de la mano. Sólo los edificios con fines claramente propagandísticos, templos y palacios sobre todo, eran levantados utilizando otras materias de mayor costo y dificultad de trabajo.

Su uso en la construcción se difundió primero a Egipto y al lejano Oriente, pasando después a Europa a través de Grecia y Roma.

Los primeros núcleos de habitación en los que aparecen construcciones realizadas en material imperecedero se dan en Mesopotámica -Tell Mureybet y Ali Kosh- en el IX milenio a.C. Se trata de casas rectangulares construidas en tapial -mezcla de material orgánico, arcilla y elementos aglutinantes- de características muy primitivas. En el VIII milenio a.C. se detectan en Mureybet viviendas edificadas con bloques calcáreos unidos por mortero de arcilla. Simultáneamente en Ali Kosh aparecen los primeros adobes -mezcla de arcilla, arenas limosas y agua-, aunque de muy pequeño tamaño, hasta el período de Samarra (5500 años a.C.) se comienza a utilizar el adobe como material de construcción en edificios.

El ladrillo cocido aparece 3000 años a.C. -Palacio de Nippur en Mesopotámica-, usándose como elemento decorativo y cubrimiento de muros realizados en adobe. El ladrillo cocido suponía una gran mejora con respecto al adobe, pues era mucho más duro, además de resistir mejor el paso del tiempo y los agentes naturales -lluvias y viento-. En zonas como Egipto y Mesopotámica donde los vientos están cargados de arena y suele llover de forma torrencial, las edificaciones levantadas con adobe, que eran la gran mayoría, han desaparecido casi en su totalidad -salvo cuando han permanecido soterradas por las dunas-, mientras las edificaciones construidas con ladrillo cocido se han conservado mejor.

En Egipto su utilización es posterior y parece haber sido introducido desde la vecina Mesopotámica. En este país la roca también era muy abundante, lo que provocó que ambos materiales constructivos alternaran. En general, la piedra se reservó para conjuntos arquitectónicos de gran entidad y elevado costo como los templos.

Los primeros edificios construidos con adobe en Egipto son de la Primera Dinastía 3050 años a.C. -Mastabas de Saqara y Naqada y tumbas de Abidos-. La definitiva difusión del ladrillo cocido tuvo lugar en el Imperio Nuevo (1540-1070 años a.C.) y sobre todo en la época Greco-Romana. Durante estos períodos el adobe y el ladrillo cocido convivieron en la edificación, siendo muy habitual la utilización en una misma construcción de ambos materiales; el ladrillo cocido para las partes más expuestas al desgaste y a la humedad y el adobe para el resto del conjunto.

El mundo Romano fue el gran difusor de la construcción en ladrillo cocido que permitió la edificación de los vastos complejos monumentales del Imperio, tarea difícil de completar con cualquier otro material.

De esta forma, los romanos se convirtieron en los grandes difusores del uso del ladrillo cocido, pues a su accesibilidad se añadía la posibilidad de producir grandes cantidades a corto plazo, con la consiguiente reducción de costos y de tiempo. Además, constituían un material muy resistente que podía conseguirse de diversas formas y tamaños.

Adobe

Término empleado para designar un material constructivo conformado por arcilla y arenas limosas, que mezclados con agua, adquieren una forma más fluida que permite volcarlo, sobre un molde en forma de rectángulo, luego es secado al sol. La cura completa toma aproximadamente 30 días.

1.2.1 Generalidades

Su uso como material de construcción es viejo, ya que se han encontrado vestigios que datan de 7000 años a.C., procedentes de la antigua Mesopotámia, se cree que esta técnica llegó a España procedente de Marruecos, y con la llegada de los Españoles al continente Americano se popularizó la arquitectura de adobe.

Casi el 60% de las construcciones a nivel mundial son de material arcilloso procesado con diferentes técnicas, incluyendo la Gran Muralla China, antiguas ciudades indígenas de los Estados Unidos y ciudades declaradas “Patrimonio de la humanidad”, como Antigua Guatemala.

A la paja se le considera comúnmente como parte esencial del adobe; esto no es cierto puesto que los adobes contemporáneos no la utilizaban. Su uso se creyó importante para darle rigidez, o evitar rajaduras al secarse, lo cierto es que si la proporción de arcilla y arena limosa es la correcta, no se necesita. Si el adobe se raja al secarse es porque tiene mucho material arcilloso.

Hay ventajas y desventajas asociadas con su uso. Desde el punto de vista del que construye su casa, el adobe representa el material más fácil de manejar y económico. La mezcla que une el adobe es también material arcilloso.

Una de las desventajas en la utilización del adobe como material para la construcción es la poca seguridad estructural que este representa, sobre todo en lugares que son sensibles a movimientos sísmicos. Otra es su escasa resistencia a la humedad, por lo que se recomienda que se utilice en zonas poco lluviosas.

Las estructuras de arcilla se asocian normalmente con las culturas populares de todo el mundo, especialmente en España y Latinoamérica. En la actualidad se investiga, tanto en Europa como en Estados Unidos, sobre el uso del adobe como material de construcción alternativo. Su empleo resulta, al igual que el del tapial, ecológico y accesible, por lo que puede representar una solución al problema de la vivienda en los países en vías de desarrollo.

1.3 Ladrillo

Son piezas prefabricadas de material arcilloso, que constituyen uno de los principales materiales de construcción, utilizándose para la formación de todo tipo de muros, paredes, pilares, arcos y bóvedas.

Resisten la humedad y el calor, pueden durar en algunos casos más que la piedra. Su color y calidad varían según la clase de arcilla empleada en su elaboración.

1.3.1 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 cubren 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.

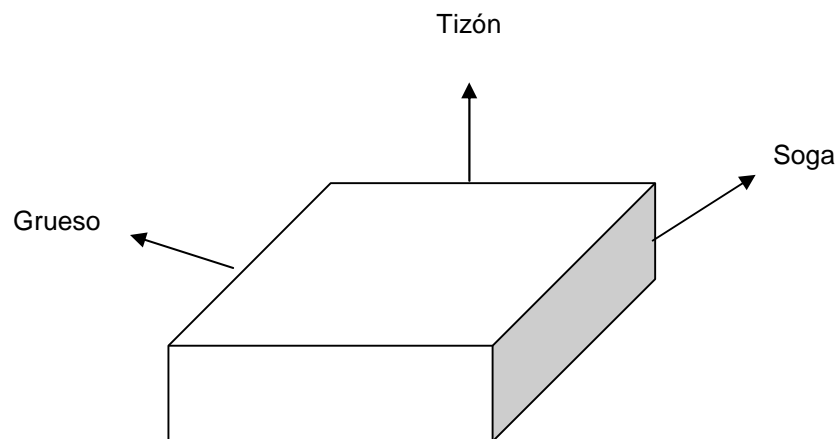
Es así como durante la evolución humana, la técnica de fabricación del ladrillo también sufrió cambios, desde la producción de adobes, secados al sol, y posteriormente del ladrillo sometido a la cocción. En efecto, si el ladrillo no tuviera propiedades tales como su sencilla técnica de producción y colocación,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

1.3.2 Partes de un ladrillo

Las aristas de un ladrillo reciben la denominación siguiente:

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

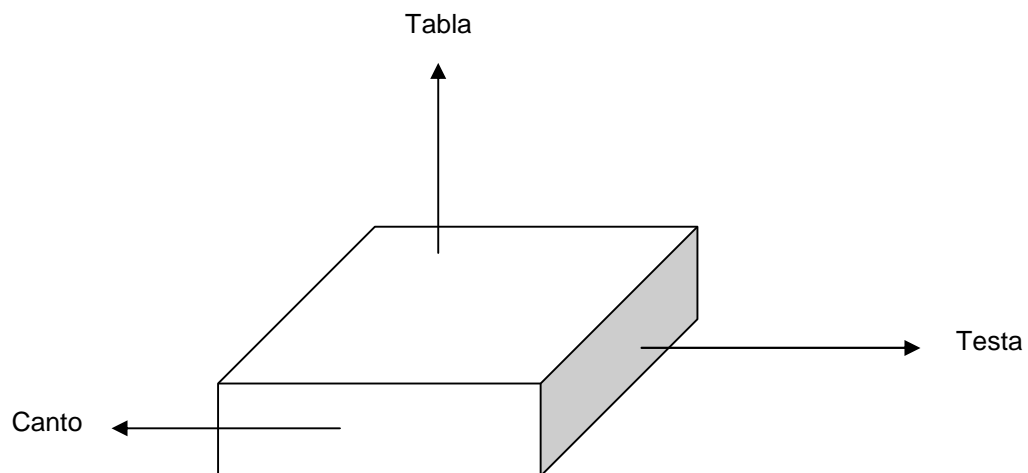
FIGURA 1. Partes de un ladrillo (aristas)



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 2. Partes de un ladrillo (caras)



1.3.3 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:

1.3.3.1 Ladrillo macizo

Reciben esta denominación los ladrillos con forma de ortoedro -poliedro con seis caras paralelas e iguales dos a dos- compacto. Las dimensiones mas comunes de estos ladrillos son: 24cms * 11.5cms * 5cms y 29cms * 14cms * 5cms.

1.3.3.2 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 dimensiones mas comunes son: 29cms * 14cms y grueso de 10cms, 7.5cms y 5cms.

1.3.3.3 Ladrillos huecos

Son ladrillos con taladros generalmente en las testas, también pueden tener en las tablas y cantos, en los cuales el volumen de los taladros no cumple las condiciones de los macizos y perforados.

1.3.3.4 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.

1.3.4 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

2. ORIGEN Y FORMACIÓN DE LAS ARCILLAS

2.1 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 pequeñísima 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 (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 -granitos-.

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.

2.2 Origen de las arcillas

La arcilla es un silicoaluminato hidratado, es decir que desde el punto de vista químico esta 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 amarillo 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.

2.3 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					
A r c i l l a s	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
					Diásporo
	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 Diásporo
			Productos de trituración algo meteorizados	Lutita silicea Limo siliceo	
				Productos de abrasión más ligera meteorizados	Arcilla glacial o till
			Productos de abrasión más ligera meteorizados	Loess	

2.4 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.

2.5 Geología general 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.

2.6 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 esta suficientemente pulverizada y humedecida, rígida cuando esta 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

MINERALOGÍA DE LAS ARCILLAS				Origen
Grupo	Cristalinos	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
	Amorfos	Alófana	Alófana	Meteorización

2.6.1 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 reductor cuando se eliminan las bases (Mg, alcalisis, FeO). La eliminación de las bases es el factor esencial para la formación del caolín.

2.6.2 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.

2.6.3 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.

2.6.4 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 magnesico hidratado fibroso que se asemeja a la attapulgita.

2.6.5 Grupo Atofana

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

3. APLICACIONES Y PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS

Aplicaciones de las arcillas

El principal uso de las arcillas se da en el campo de la construcción (tejas, ladrillos, tubos, baldosas, alfarería tradicional, azulejos, etc.). Uso al que se destinan desde los comienzos de la humanidad.

Prácticamente todas las arcillas son aptas para estos usos, primando las consideraciones económicas. La mayor parte de las aplicaciones no requieren especificaciones estrictas en cuanto a composición química.

Hoy en día las arcillas comerciales, que sirven como materia prima industrial figuran entre los recursos minerales más importantes, tanto por el volumen explotado como por el valor de la producción.

Un 90% de la producción, se destina a la fabricación de materiales para la construcción y agregados. Se les denomina **arcillas para la construcción, arcillas cerámicas o arcillas comunes**, están compuestas por dos o más minerales, generalmente illita y esmectita, con importantes cantidades de otros minerales que no son filosilicatos (carbonatos, cuarzo...)

El otro 10% se dedica a otras industrias (fabricación de papel, caucho, pinturas, absorbentes, decolorantes, arenas de moldeo, productos químicos y farmacéuticos, agricultura, etc.). Se les denomina **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.

3.1.1 Materia prima utilizada en la fabricación de ladrillos

La materia prima es la arcilla, roca que procede de la desintegración de otras que contienen principalmente feldespatos (grupo extenso de minerales compuesto por alumino-silicatos de potasio, sodio, calcio o, a veces, bario. Son los minerales más abundantes y ocupan casi la mitad del volumen de la corteza terrestre).

Toda arcilla está compuesta, principalmente de arcilla pura que es el aglutinante del conjunto del material y cuerpos que constituyen la mezcla a moldear. La arcilla pura está compuesta a su vez de un 47% de sílice, 39% de alúmina y un 14% de agua. La arcilla pura debe representar como mínimo un 25% del total del material componente de la mezcla.

Lo interesante para que la mezcla sea adecuada al moldeo de ladrillos, es que el porcentaje de arcilla pura sea superior a un 30%. Cuando la mezcla contiene un 25% o menos de arcilla pura, indica que es poco plástica y que presentará muchas dificultades para el moldeo.

Dependiendo de la clase de arcilla que se utilice en la fabricación de ladrillos se obtendrán distintas características como son: capacidad de absorción, eflorescencia, sales solubles, conductibilidad calorífica y su calor específico.

Se puede afirmar de modo categórico que las arcillas que no contengan cal ni yeso, son perfectamente utilizables para la fabricación de ladrillos, tanto si estas arcillas son magras (poco plásticas por su composición arenosa), como grasas (gran plasticidad).

Una arcilla que tenga mucha grasa en sus materiales, puede elevar el costo del ladrillo, ya que cuanto más plástica es, más desperdicios se producen debido a las contracciones que sufre en el secado. El porcentaje de impurezas en una arcilla contribuye a cambiar su plasticidad según su composición.

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 empleadas.
- 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.

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

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

3.1.2.1 Ladrillos

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

3.1.2.2 Refractarios

Son materiales capaces de resistir temperaturas superiores a 1500 grados centígrados, sin reblandecerse ni sufrir cambios de volúmenes apreciables, deben resistir la abrasión en caliente y tener una conductividad térmica baja.

Clasificación de las arcillas refractarias:

3.1.2.2.1 Clasificación primaria, conforme a 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.

3.1.2.2.2 Clasificación de acuerdo con la fusibilidad:

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

3.1.2.3 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).

3.1.2.4 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 1100 a 1200 grados centígrados, seguidamente del esmaltado una segunda cocción a una temperatura que puede llegar a los 1500 grados centígrados. Solo puede llamarse porcelanas los productos que han sufrido estas dos cocciones.

Para la construcción solo 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.

3.1.2.5 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 esta formada por arcillas seleccionadas, plásticas, ricas en cuarzo o caolín y en hierro.

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 interactuar 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.

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 m^2/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

SUPERFICIES ESPECÍFICAS DE ARCILLAS		
Grupo	Caolinita de elevada cristalinidad	15 m ² /g
	Caolinita de baja cristalinidad	50 m ² /g
	Montmorillonita	80-300 m ² /g
	Illita o Hidromitas	50 m ² /g
	Attapulgita Sepiolita	100-240 m ² /g

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: Al₂O₃ SiO₂).
- Esta combinación se completa al parecer entre 1100 y 1200° C.
- Hacia los 1500° C aparecen los primeros síntomas de vitrificación.

Coloración

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

3.2.3.1 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.

3.2.3.2 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 Fe₂O₃, la descomposición del FeO y del Al₂O₃ a temperaturas más elevadas da lugar a la desaparición de la coloración rojiza, el color debido a la materia orgánica desaparece al calcinarse.

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; tienden a disminuir mucho sus dimensiones.

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.

Contracción

Una de las principales causas de la rotura de ladrillos 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.

Puede darse el caso de una arcilla que se contraiga un 10% resista perfectamente un secaje hasta cierto punto violento, debido a la contextura especial de sus componentes, a ciertas materias o formación interna, que mantenga siempre una capilaridad ideal.

Por lo general, cuando una arcilla contrae mas del 7% hay riesgo de que las piezas se fisuren o se deformen en el secaje. 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. 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 110grados centígrados.
- De 110grados centígrados, hasta 1000grados 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%.

Secamiento

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 secaje la razón principal de su poca producción y escaso rendimiento.

La dificultad que se presenta en el secaje 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 secaje de dichas arcillas del mismo modo.

Los factores que intervienen o dificultan el secaje 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

3.2.7.1 Secado natural

Es el que recibe el ladrillo recién hecho sin intervención de ningún agente ajeno a la naturaleza que pueda brindar cierto grado de calor. La velocidad del secado natural dependerá exclusivamente del clima.

3.2.7.2 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.

Propiedades de secado

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.

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.

Vitrificación

Fases de la vitrificación:

- **Vitrificación incipiente:** forma suficiente vidrio para glutinar 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. La cocción debe producir un estado comprendido entre las dos primeras fases o la segunda de ellas, pero si las piezas han sufrido reblandecimiento se califica de sobrecosido.

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.

Cambios termoquímicos

Los 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 industrial y el estudio de arcillas respectivamente.

Tabla IV. Períodos de cocción

PERÍODOS DE COCCIÓN	
Deshidratación	Evaporación desde 20 - 110grados centígrados Deshidratación química desde 110 - 600 grados centígrados
Oxidación	Desde 300 - 600grados centígrados
Verificación	Desde 800 grados centígrados

Materiales acompañantes

Granos de cuarzo, feldespato, micas, carbonatos (Ca y Mn), compuestos de hierro (óxidos, carbonatos, silicatos y sulfuros) y material orgánico.

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.

Se da dos 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.

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.

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.

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.

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.

Toda arcilla está compuesta, principalmente de arcilla pura que es el aglutinante de la mezcla que constituye el ladrillo. La arcilla pura está compuesta a su vez de un 47% de sílice un 39% de alúmina y un 14% de agua. Es conveniente que la arcilla pura represente como mínimo un 25% del total de la mezcla.

El origen de los distintos elementos en las arcillas estudiados en forma de óxidos son los siguientes:

3.3.1 Determinación 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 detricos 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.

3.3.2 Determinación 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.

3.3.3 Determinación 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.

3.3.4 Determinación de magnesio

Se presenta en el complejo clorótico, 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 °C aproximadamente. El magnesio tiene un punto de fusión de 649 °C, y de ebullición de 1.107 °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 $MgCO_3$ (magnesita), $MgCO_3 \cdot CaCO_3$ (dolomita) y MgO (brucita) y en muchos silicatos constituyentes de rocas y como sales.

3.3.5 Determinación de calcio

Es un metal maleable y dúctil, toma un color amarillento rápidamente al contacto con el aire. Tiene un punto de fusión de $839\text{ }^\circ\text{C}$, de ebullición de $1.484\text{ }^\circ\text{C}$.

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 ($CaCO_3$), del que están formados la calcita, el mármol, la piedra caliza y la marga; el sulfato de calcio ($CaSO_4$), presente en el alabastro o el yeso; el fluoruro de calcio (CaF_2), en la fluorita; el fosfato de calcio o roca de fosfato ($Ca_3(PO_4)_2$), y varios silicatos. 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 $Ca(OH)_2$ y liberando hidrógeno.

Inspección visual y de textura

Lamentablemente el color de la arcilla cruda no siempre da una indicación clara de sus características y propiedades.

La mayoría de las arcillas que son blancas o de color crema en crudo, conservan este color en la cocción, caso contrario ocurre con una arcilla muy oscura, se vuelven blancas en la cocción. La mayor parte de las arcillas amarillas se mantienen así tras la cocción, y otras arcillas coloreadas pueden cambiar su color en este proceso.

El color no define directamente el uso de una arcilla, en el caso de los ladrillos se fabrican generalmente con arcillas rojas o amarillas tras la cocción, los refractarios son usualmente de color muy claro.

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.

4. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL LADRILLO

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.

4.1 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 esta conformado por las siguientes fases:

4.1.1 Extracción del material

La extracción de la arcilla es la primera fase del proceso de fabricación. Es extraída de los bancos de los mismos materiales, por medio de piochas, azadón o pala; transportada en camión o pick up a las fábricas artesanales, donde el material es depositado por medio de carretillas de mano. 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 3. Extracción del material



4.1.2 Tratamiento del material

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.

Figura 4. Tratamiento del material



4.1.3 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 5. Amasado



4.1.4 Reposo o madurado

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



4.1.5 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.

4.1.6 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 7. Secado y modelado



4.1.7 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 8. Cocción



4.1.8 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 9. Transporte



4.2 Proceso de fabricación industrial

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

4.2.1 Extracción del material

La arcilla es extraída de los bancos de material y transportada a las instalaciones de la planta en camión. Luego se traslada de forma manual con carretilla de mano a la faja transportadora.

4.2.2 Preparación del material

Como aditivo a la mezcla se emplea, arcilla con un alto contenido de silicio, arcilla altamente plástica y arcilla excesivamente fina, obteniendo una mezcla de mejor calidad.

Preparada la mezcla se pasa a una tolva de compuerta reguladora de flujo de arcilla, siendo conducida por fajas transportadoras al molino desintegrador (rompe terrones), de este al laminador graduado, luego a la empastadora donde se agrega la cantidad óptima de agua. Continuando el proceso, la mezcla es conducida a un silo que regula el flujo, pasando por un molino refinador que trabaja con una apertura de 3mm, controlando el tamaño de las partículas.

Posteriormente se traslada a otro silo y luego a una empastadora donde se homogeniza el material.

4.2.3 Moldeado

La mezcla es conducida a una cámara de vacíos de 20 y 27 pulgadas; se extrae el aire entre partículas de arcilla, perdiendo un 20% de humedad.

Dentro de la cámara de vacío se encuentra adherido el molde con la forma del tipo de ladrillo para ser fabricados en series.

4.2.4 Secado

En esta fase se elimina el agua que contiene la arcilla después de haber sido moldeada, por carecer de estabilidad propia.

Los ladrillos son transportados mediante carretones, almacenándolos bajo techo. Se revisa que no tenga grietas antes de ser colocados en los hornos, donde comienza la cocción de las piezas.

4.2.5 Cocción

En esta fase el ladrillo es sometido a altas temperaturas que oscilan entre 900 a 1200 grados centígrados, haciendo circular aire caliente derivado de la combustión (leña y aserrín). De esta forma el ladrillo adquiere sus características y propiedades finales.

Finalizada la fase de la cocción, los ladrillos son transportados en carretones al área destinada a su almacenamiento.

4.2.6 Transporte

Se utilizan camiones para su distribución, de la fábrica a los distintos lugares donde se este ejecutando la obra y a los diferentes puntos de venta tanto en el interior del país como el perímetro metropolitano.

4.3 Controles de calidad en fabricación de ladrillos

4.3.1 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

4.3.2 Control de calidad en fabricación industrial

El control de calidad es importante en el proceso de fabricación de los ladrillos, para obtener una mejor aceptabilidad en el mercado. El proceso de fabricación industrial toma en cuenta los controles siguientes:

- Limpieza de arcilla (sin residuos)
- Calidad visual de la arcilla
- Control de la arcilla en el proceso de la empastadora
- Su grado de plasticidad en la mezcla
- Control dimensional (largo, ancho y espesor)
- En la cámara de secado
- Control visual del producto terminado libre de fisuras y rajaduras
- Control de calidad final

4.4 Hornos artesanales

4.4.1 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.

4.4.2 Generalidades

El horno empleado en la cocción de ladrillos hechos a mano se le denomina horno periódico o intermitente, el cual a pesar de ser tan antiguo, se emplea todavía en la actualidad por los fabricantes artesanos.

Es de estructura permanente, posee un revestimiento interior de un refractario adecuado y otro exterior de ladrillo de construcción protector. Se colocan los ladrillos en el horno y a continuación se calienta este gradualmente, se mantiene a la temperatura máxima durante un cierto período que es aproximadamente entre 18 a 24 horas y se deja enfriar, seguidamente puede extraerse la carga e introducirse una carga nueva.

Figura 10. Hornos empleados en la cocción de ladrillos



4.4.3 Desventajas de los 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 que 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.

4.4.4 Colocación de los ladrillos en el horno

La colocación de los ladrillos en el horno ha de hacerse de tal forma que permita la circulación óptima de los gases del horno para lograr una máxima regularidad de la temperatura y del intercambio de calor. Una colocación demasiado separada permite que los gases pasen con facilidad y resulta antieconómico. Por el contrario, un método de colocación demasiado compacto impide que los gases alcancen uniformemente a la totalidad de los ladrillos.

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para determinar la calidad del ladrillo cocido hecho a mano y la caracterización de la materia prima (arcilla) utilizada en la mezcla, se realizó un muestreo al azar de las plantas artesanales que se dedican a la producción de este elemento constructivo, para ser sometidos a ensayos, y conocer de esta manera sus características físicas, químicas y propiedades mecánicas.

Selección de los lugares de 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% aproximadamente en el altiplano del país.

Para investigar las características de las arcillas utilizadas en la fabricación del ladrillo cocido y su calidad como producto final se tomo el área del Tejar, Chimaltenango por ser considerado el departamento de mayores proveedores de este material utilizado en la construcción, tanto para el consumo interno de la capital como para los departamentos.

Para clasificar las muestras de investigación se procedió a realizar una visita a todas las fábricas artesanales del Tejar Chimaltenango, para ubicar las de mayor **producción** y que sus bancos de material estuvieran ubicados en diferentes puntos; de esta manera lograr que los resultados de la investigación sean representativos de la producción artesanal de ladrillos cocidos de este sector.

Ensayos de laboratorio

Se tomaron muestras de los suelos que conforman la mezcla para la producción del ladrillo, como de las piezas ya elaboradas, de cada una de las fábricas artesanales elegidas siendo estas: Ladrillera Mazateca, Ladrillera Morazán, Ladrillera Sánchez y Ladrillera Tikal.

Figura 11. Estratigrafía de los suelos que conforman la mezcla utilizada en la fabricación del ladrillo cocido artesanalmente



Para identificar las muestras de cada fábrica artesanal se tomo la misma denominación que utilizan los artesanos (suelo orgánico, barro negro y arcilla).

De acuerdo a los resultados de los ensayos se clasificará y nombrará correctamente cada uno de los materiales que forman la mezcla utilizada para la fabricación artesanal de ladrillo cocido.

5.2.1 Características físicas

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 de cada una de las fábricas ladrilleras y llevadas en estado natural al Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), donde se les realizaron los ensayos de Límites de Atterberg (Límite Líquido y Límite Plástico), Gravedad Específica y Granulometría por Sedimentación y Tamices; con el propósito de caracterizar el tipo de arcilla utilizada en la mezcla para la fabricación del ladrillo cocido.

Figura 12. Bancos de material del área del Tejar Chimaltenango



5.2.1.1 Ensayos de 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

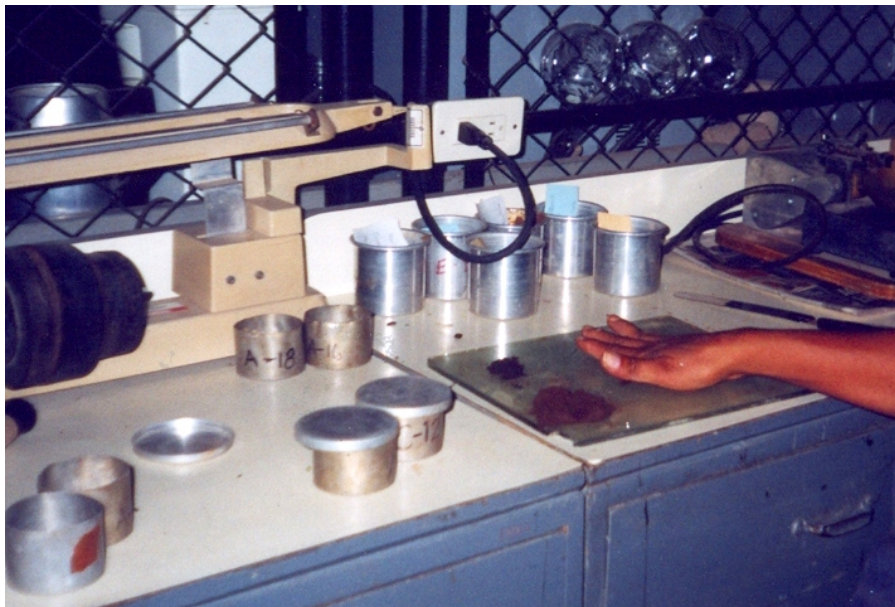


A través del límite líquido y límite plástico podemos tener una idea del tipo de suelo que se está utilizando y su comportamiento plástico. Atterberg establece rangos del índice plástico que presente el material, para determinar su plasticidad, siendo los siguientes:

Tabla V. Rangos del Índice plástico.

ÍNDICE PLÁSTICO	SUELO
Igual a cero	No plástico
Menor de 7	Baja plasticidad
Comprendido entre 7 y 17	Medianamente plástico
Mayor de 17	Altamente plástico

Figura 14. Ensayo de límites de Atterberg (límite plástico)



Los resultados de los ensayos de los límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico) efectuados a cada una de las muestras de las distintas fábricas artesanales son los siguientes:

Tabla VI. Fórmulas para calcular los límites de Atterberg

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

LADRILLERA MAZATECA

Tabla VII. Resultados de límite líquido y plástico.

Ladrillera Mazateca (MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)

MUESTRA MEZCLA (Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)		PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN 2.0 metros. Aproximado			
ENSAYO		LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
GOLPES		26		*****	*****
TARRO		C-32	C-38	A-60	C-5
PESO BRUTO HÚMEDO PBH gr.		51.30	58.10	38.90	38.50
PESO BRUTO SECO PBS gr.		45.80	51.50	36.60	36.40
PESO TARA gr.		24.20	24.45	24.70	24.75
DIF gr.		5.50	6.60	2.30	2.10
PESO NETO SECO PNS gr.		21.60	27.05	11.90	11.65
HUMEDAD %		25.46	24.40	19.33	18.03
PROMEDIO		24.93		18.68	
K 1.0048	LÍMITE LÍQUIDO 25.05	LÍMITE PLÁSTICO 18.68		ÍNDICE DE PLASTICIDAD 6.37	
BAJA PLASTICIDAD					

Tabla VIII. Resultados de límite líquido y plástico.

Ladrillera Mazateca (SUELO ORGÁNICO)

MUESTRA SUELO ORGÁNICO		PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN 0.50 metros. Aproximado		
ENSAYO GOLPES TARRO PESO BRUTO HÚMEDO PBH gr. PESO BRUTO SECO PBS gr. PESO TARA gr. DIF gr. PESO NETO SECO PNS gr. HUMEDAD %	LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
	*****		*****	*****
	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****
PROMEDIO		*****		
K	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	
NO PLÁSTICO				

Tabla IX. Resultados de límite líquido y plástico.

Ladrillera Mazateca (BARRO NEGRO)

MUESTRA BARRO NEGRO		PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN 0.50 a 1.0 metros. Aproximado			
ENSAYO GOLPES TARRO PESO BRUTO HÚMEDO PBH gr. PESO BRUTO SECO PBS gr. PESO TARA gr. DIF gr. PESO NETO SECO PNS gr. HUMEDAD %	LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO		
	24		*****	*****	
	C-8	C-16	A-53	A-23	
	45.50	43.70	44.20	44.40	
	39.90	38.80	40.30	40.50	
	24.10	24.60	24.70	24.70	
	5.60	4.90	3.90	3.90	
	15.80	14.20	15.60	15.80	
35.44	34.51	25.00	24.68		
PROMEDIO		34.98		24.84	
K	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD		
0.9951	34.80	24.84	9.96		
MEDIANAMENTE PLÁSTICO					

Tabla X. Resultados de límite líquido y plástico.

Ladrillera Mazateca (MUESTRA ARCILLA)

MUESTRA ARCILLA		PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN 1.00 a 2.00 metros. Aproximado			
ENSAYO		LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
GOLPES		20		*****	
TARRO		A-54	A-55	A-18	A-16
PESO BRUTO HÚMEDO PBH gr.		48.00	46.00	42.60	41.90
PESO BRUTO SECO PBS gr.		42.00	40.50	38.40	37.80
PESO TARA gr.		24.80	24.80	20.30	20.40
DIF gr.		6.00	5.50	4.20	4.10
PESO NETO SECO PNS gr.		17.20	15.70	18.10	17.40
HUMEDAD %		34.88	35.03	23.20	23.56
PROMEDIO		34.96		23.38	
K	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO		ÍNDICE DE PLASTICIDAD	
0.9734	34.03	23.38		10.64	
MEDIANAMENTE PLÁSTICO					

LADRILLERA MORAZÁN

Tabla XI. Resultados de límite líquido y plástico.

Ladrillera Morazán (MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)

MUESTRA		PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN 2.5 metros. Aproximado			
MEZCLA (Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)		LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
ENSAYO		25		*****	
GOLPES		25		*****	
TARRO		A-33	A-9	A-4	A-55
PESO BRUTO HÚMEDO PBH gr.		55.10	47.80	36.00	38.60
PESO BRUTO SECO PBS gr.		48.90	42.20	33.20	36.50
PESO TARA gr.		24.60	20.10	20.30	24.70
DIF gr.		6.20	5.60	2.80	2.10
PESO NETO SECO PNS gr.		24.30	22.10	12.90	11.80
HUMEDAD %		25.51	25.34	21.71	17.80
PROMEDIO		25.43		19.75	
K	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO		ÍNDICE DE PLASTICIDAD	
1.0000	25.43	19.75		5.68	
BAJA PLASTICIDAD					

Tabla XII. Resultados de límite líquido y plástico.

Ladrillera Morazán (SUELO ORGÁNICO)

MUESTRA SUELO ORGÁNICO		PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN 0.50 metros. Aproximado	
ENSAYO		LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO
GOLPES		16	*****
TARRO		A-39 C-38	A-18 C-11
PESO BRUTO HÚMEDO PBH gr.		48.40 44.60	32.60 38.10
PESO BRUTO SECO PBS gr.		41.90 39.20	30.00 35.20
PESO TARA gr.		24.40 24.40	20.20 24.60
DIF gr.		6.50 5.40	2.60 2.90
PESO NETO SECO PNS gr.		17.50 14.80	9.80 10.60
HUMEDAD %		37.14 36.49	26.53 27.36
PROMEDIO		36.81	26.94
K	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
0.9474	34.88	26.94	7.93
MEDIANAMENTE PLÁSTICO			

Tabla XIII. Resultados de límite líquido y plástico.

Ladrillera Morazán (BARRO NEGRO)

MUESTRA BARRO NEGRO		PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN 0.50 a 1.50 metros. Aproximado	
ENSAYO		LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO
GOLPES		23	*****
TARRO		A-19 A-11	C-17 A-6
PESO BRUTO HÚMEDO PBH gr.		48.00 39.90	38.30 35.30
PESO BRUTO SECO PBS gr.		42.30 34.90	36.00 32.70
PESO TARA gr.		24.90 20.20	24.70 20.10
DIF gr.		5.70 5.00	2.30 2.60
PESO NETO SECO PNS gr.		17.40 14.70	11.30 12.60
HUMEDAD %		32.76 34.01	20.35 20.63
PROMEDIO		33.39	20.49
K	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
0.9900	33.05	20.49	12.56
MEDIANAMENTE PLÁSTICO			

Tabla XIV. Resultados de límite líquido y plástico.

Ladrillera Morazán (MUESTRA ARCILLA)

MUESTRA ARCILLA		PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN 1.5 a 2.5 metros. Aproximado		
ENSAYO GOLPES TARRO PESO BRUTO HÚMEDO PBH gr. PESO BRUTO SECO PBS gr. PESO TARA gr. DIF gr. PESO NETO SECO PNS gr. HUMEDAD %		LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO
		25		*****
		A-81	C-12	C-39
		46.20	44.10	38.50
		40.80	39.30	36.00
		24.30	24.80	25.10
		5.40	4.80	2.50
		16.50	14.50	10.90
		32.73	33.10	22.94
				A-16
			32.10	
			30.00	
			20.40	
			2.10	
			9.60	
			21.88	
PROMEDIO		32.92		22.41
K 1.0000	LÍMITE LÍQUIDO 32.92	LÍMITE PLÁSTICO 22.41	ÍNDICE DE PLASTICIDAD 10.51	
MEDIANAMENTE PLÁSTICO				

LADRILLERA SÁNCHEZ

Tabla XV. Resultados de límite líquido y plástico.

Ladrillera Sánchez (MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)

MUESTRA		PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN 2.3 metros. Aproximado		
MEZCLA (Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)				
ENSAYO GOLPES TARRO PESO BRUTO HÚMEDO PBH gr. PESO BRUTO SECO PBS gr. PESO TARA gr. DIF gr. PESO NETO SECO PNS gr. HUMEDAD %		LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO
		30		*****
		A-19	A-81	A-39
		54.40	51.30	35.80
		48.50	45.90	34.00
		24.90	24.40	24.20
		5.90	5.40	1.80
		23.60	21.50	9.80
		25.00	25.12	18.37
				A-31
			36.70	
			34.80	
			24.10	
			1.90	
			10.70	
			17.76	
PROMEDIO		25.06		18.06
K 1.0223	LÍMITE LÍQUIDO 25.62	LÍMITE PLÁSTICO 18.06	ÍNDICE DE PLASTICIDAD 7.55	
MEDIANAMENTE PLÁSTICO				

Tabla XVI. Resultados de límite líquido y plástico.

Ladrillera Sánchez (SUELO ORGANICO)

MUESTRA SUELO ORGANICO		PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN 0.50 metros. Aproximado			
ENSAYO		LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
GOLPES		22		*****	*****
TARRO		C-15	A-81	C-38	A-31
PESO BRUTO HÚMEDO PBH gr.		47.15	49.30	39.60	42.80
PESO BRUTO SECO PBS gr.		42.50	43.90	36.60	39.30
PESO TARA gr.		24.40	24.40	24.50	24.10
DIF gr.		4.65	5.40	3.00	3.50
PESO NETO SECO PNS gr.		18.10	19.50	12.10	15.20
HUMEDAD %		25.69	27.69	24.79	23.03
PROMEDIO		26.69		23.91	
K 0.9847	LÍMITE LÍQUIDO 26.28	LÍMITE PLÁSTICO 23.91		ÍNDICE DE PLASTICIDAD 2.37	
BAJA PLASTICIDAD					

Tabla XVII. Resultados de límite líquido y plástico.

Ladrillera Sánchez (BARRO NEGRO)

MUESTRA BARRO NEGRO		PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN 0.50 a 1.20 metros. Aproximado			
ENSAYO		LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
GOLPES		30		*****	*****
TARRO		C-11	C-35	C-27	A-56
PESO BRUTO HÚMEDO PBH gr.		46.00	51.50	45.10	42.20
PESO BRUTO SECO PBS gr.		41.30	45.70	41.20	38.80
PESO TARA gr.		24.60	24.80	24.40	24.40
DIF gr.		4.70	5.80	3.90	3.40
PESO NETO SECO PNS gr.		16.70	20.90	16.80	14.40
HUMEDAD %		28.14	27.75	23.21	23.61
PROMEDIO		27.95		23.41	
K 1.0223	LÍMITE LÍQUIDO 28.57	LÍMITE PLÁSTICO 23.41		ÍNDICE DE PLASTICIDAD 5.16	
BAJA PLASTICIDAD					

Tabla XVIII. Resultados de límite líquido y plástico.

Ladrillera Sánchez (ARCILLA)

MUESTRA ARCILLA		PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN 1.20 a 2.30 metros. Aproximado			
ENSAYO		LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
GOLPES		20		*****	*****
TARRO		A-53	A-52	A-50	C-39
PESO BRUTO HÚMEDO PBH gr.		43.80	42.30	45.50	41.90
PESO BRUTO SECO PBS gr.		37.40	36.40	40.60	37.90
PESO TARA gr.		24.70	24.60	24.80	24.60
DIF gr.		6.40	5.90	4.90	4.00
PESO NETO SECO PNS gr.		12.70	11.80	15.80	13.30
HUMEDAD %		50.39	50.00	31.01	30.08
PROMEDIO		50.20		30.54	
K	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO		ÍNDICE DE PLASTICIDAD	
0.9734	48.86	30.54		18.32	
ALTA PLASTICIDAD					

LADRILLERA TIKAL

Tabla XIX. Resultados de límite líquido y plástico.

Ladrillera Tikal (MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)

MUESTRA		PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN 2.5 metros. Aproximado			
MEZCLA (Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)					
ENSAYO		LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
GOLPES		27		*****	*****
TARRO		A-49	A-17	C-35	C-2
PESO BRUTO HÚMEDO PBH gr.		50.70	44.70	37.40	36.10
PESO BRUTO SECO PBS gr.		45.10	39.60	35.30	34.10
PESO TARA gr.		24.10	20.80	24.76	24.58
DIF gr.		5.60	5.10	2.10	2.00
PESO NETO SECO PNS gr.		21.00	18.80	10.54	9.52
HUMEDAD %		26.67	27.13	19.92	21.01
PROMEDIO		26.90		20.47	
K	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO		ÍNDICE DE PLASTICIDAD	
1.0094	27.15	20.47		6.68	
BAJA PLASTICIDAD					

Tabla XX. Resultados de límite líquido y plástico.

Ladrillera Tikal (SUELO ORGÁNICO)

MUESTRA SUELO ORGANICO		PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN 0.50 metros. Aproximado		
ENSAYO GOLPES TARRO PESO BRUTO HÚMEDO PBH gr. PESO BRUTO SECO PBS gr. PESO TARA gr. DIF gr. PESO NETO SECO PNS gr. HUMEDAD %	LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
	*****		*****	*****
	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****
PROMEDIO		*****		*****
K	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	
NO PLÁSTICO				

Tabla XXI. Resultados de límite líquido y plástico.

Ladrillera Tikal (BARRO NEGRO)

MUESTRA BARRO NEGRO		PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN 0.50 a 1.50 metros. Aproximado		
ENSAYO GOLPES TARRO PESO BRUTO HÚMEDO PBH gr. PESO BRUTO SECO PBS gr. PESO TARA gr. DIF gr. PESO NETO SECO PNS gr. HUMEDAD %	LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
	*****		*****	*****
	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****
PROMEDIO		*****		*****
K	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	
NO PLÁSTICO				

Tabla XXII. Resultados de límite líquido y plástico.

Ladrillera Tikal (ARCILLA)

MUESTRA ARCILLA		PROFUNDIDAD DE EXTRACCIÓN 1.50 a 2.50 metros. Aproximado	
ENSAYO GOLPES TARRO PESO BRUTO HÚMEDO PBH gr. PESO BRUTO SECO PBS gr. PESO TARA gr. DIF gr. PESO NETO SECO PNS gr. HUMEDAD %		LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO
		15	*****
		C-17	A-32
		47.30	41.30
		39.80	35.80
		24.70	24.70
		7.50	5.50
		15.10	11.10
		49.67	49.55
PROMEDIO		49.61	25.08
K 0.9401	LÍMITE LÍQUIDO 46.64	LÍMITE PLÁSTICO 25.08	ÍNDICE DE PLASTICIDAD 21.56
ALTA PLASTICIDAD			

5.2.1.2 Gravedad Especifica Normas AASHTO T-100 y ASTM D-854

La gravedad específica es otra forma de caracterizar a las arcillas utilizadas en la fabricación del ladrillo cocido; por medio de este valor podemos calcular la relación de vacíos del suelo. En el caso propiamente de las arcillas conocer su porosidad, su capacidad de hinchamiento, y la permeabilidad o impermeabilidad.

Se debe tener presente que el agua contiene, en condiciones normales aire disuelto; lo mismo ocurre con las partículas de suelo que también contienen aire, y si este aire no se remueve, el volumen de aire produce una disminución en el peso del material bastante significativa, lo cual da un valor menor de la gravedad específica.

Figura 15. Ensayo de gravedad específica



A continuación se presentan los resultados de los ensayos de gravedad específica, efectuados a las muestras tomadas de las distintas ladrilleras:

Tabla XXIII. Fórmula para calcular gravedad específica

FÓRMULA PARA CALCULAR GRAVEDAD ESPECÍFICA	
G_s Gravedad Específica	$(W_s)/(W_{mw} + W_s - W_{msw})(1)$

LADRILLERA MAZATECA

Tabla XXIV. Resultados de gravedad específica.

Ladrillera Mazateca (MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)

MUESTRA			
MEZCLA (Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)			
		1	2
IDENTIFICACIÓN DEL MATRAZ			
CAPACIDAD DE MATRAZ (NOMINAL)		500 ml	500 ml
PESO MATRAZ LIMPIO Y SECO	Wm	180.60	180.10
PESO MATRAZ + SUELO SECO	Wms	255.60	255.10
PESO SUELO SECO	Ws	73.67	73.67
PESO MATRAZ + SUELO + AGUA	Wmsw	722.90	723.00
PESO MATRAZ + AGUA	Wmw	678.00	677.60
TEMPERATURA DEL AGUA	T	*****	*****
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	2.56	2.61
PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA		2.58	

Tabla XXV. Resultados de gravedad específica.

Ladrillera Mazateca (SUELO ORGÁNICO)

MUESTRA SUELO ORGÁNICO			
		1	2
IDENTIFICACIÓN DEL MATRAZ			
CAPACIDAD DE MATRAZ (NOMINAL)		500 ml	500 ml
PESO MATRAZ LIMPIO Y SECO	Wm	179.00	180.00
PESO MATRAZ + SUELO SECO	Wms	249.00	249.90
PESO SUELO SECO	Ws	70.00	70.00
PESO MATRAZ + SUELO + AGUA	Wmsw	716.70	717.30
PESO MATRAZ + AGUA	Wmw	676.50	677.70
TEMPERATURA DEL AGUA	T	*****	*****
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	2.35	2.30
PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA		2.33	

Tabla XXVI. Resultados de gravedad específica.

Ladrillera Mazateca (BARRO NEGRO)

MUESTRA BARRO NEGRO			
IDENTIFICACIÓN DEL MATRAZ		D-1	D-2
CAPACIDAD DE MATRAZ (NOMINAL)		500 ml	500 ml
PESO MATRAZ LIMPIO Y SECO	Wm	216.70	146.40
PESO MATRAZ + SUELO SECO	Wms	286.70	216.30
PESO SUELO SECO	Ws	70.00	70.00
PESO MATRAZ + SUELO + AGUA	Wmsw	754.90	684.70
PESO MATRAZ + AGUA	Wmw	714.30	644.40
TEMPERATURA DEL AGUA	T	*****	*****
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	2.38	2.36
PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA		2.37	

Tabla XXVII. Resultados de gravedad específica.

Ladrillera Mazateca (ARCILLA)

MUESTRA ARCILLA			
IDENTIFICACIÓN DEL MATRAZ		A	B
CAPACIDAD DE MATRAZ (NOMINAL)		500 ml	500 ml
PESO MATRAZ LIMPIO Y SECO	Wm	173.20	174.80
PESO MATRAZ + SUELO SECO	Wms	243.20	244.90
PESO SUELO SECO	Ws	70.00	70.00
PESO MATRAZ + SUELO + AGUA	Wmsw	712.30	714.30
PESO MATRAZ + AGUA	Wmw	670.80	672.60
TEMPERATURA DEL AGUA	T	*****	*****
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	2.46	2.47
PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA		2.46	

LADRILLERA MORAZÁN

Tabla XXVIII. Resultados de gravedad específica.

Ladrillera Morazán (MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)

MUESTRA			
MEZCLA (Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)			
		S-H Azul	S-H Rojo
IDENTIFICACIÓN DEL MATRAZ		500 ml	500 ml
CAPACIDAD DE MATRAZ (NOMINAL)		500 ml	500 ml
PESO MATRAZ LIMPIO Y SECO	Wm	217.00	243.00
PESO MATRAZ + SUELO SECO	Wms	297.00	322.90
PESO SUELO SECO	Ws	80.00	80.00
PESO MATRAZ + SUELO + AGUA	Wmsw	763.50	790.10
PESO MATRAZ + AGUA	Wmw	715.10	740.40
TEMPERATURA DEL AGUA	T	*****	*****
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	2.53	2.64
PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA		2.59	

Tabla XXIX. Resultados de gravedad específica.

Ladrillera Morazán (SUELO ORGÁNICO)

MUESTRA SUELO ORGÁNICO			
		A	B
IDENTIFICACIÓN DEL MATRAZ		500 ml	500 ml
CAPACIDAD DE MATRAZ (NOMINAL)		500 ml	500 ml
PESO MATRAZ LIMPIO Y SECO	Wm	173.30	174.90
PESO MATRAZ + SUELO SECO	Wms	243.20	244.90
PESO SUELO SECO	Ws	70.00	70.00
PESO MATRAZ + SUELO + AGUA	Wmsw	712.20	714.00
PESO MATRAZ + AGUA	Wmw	671.40	672.70
TEMPERATURA DEL AGUA	T	*****	*****
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	2.40	2.44
PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA		2.42	

Tabla XXX. Resultados de gravedad específica.

Ladrillera Morazán (BARRO NEGRO)

MUESTRA BARRO NEGRO			
IDENTIFICACIÓN DEL MATRAZ		1	2
CAPACIDAD DE MATRAZ (NOMINAL)		500 ml	500 ml
PESO MATRAZ LIMPIO Y SECO	Wm	179.00	180.00
PESO MATRAZ + SUELO SECO	Wms	248.90	250.60
PESO SUELO SECO	Ws	70.00	70.00
PESO MATRAZ + SUELO + AGUA	Wmsw	717.90	719.10
PESO MATRAZ + AGUA	Wmw	676.50	677.60
TEMPERATURA DEL AGUA	T	*****	*****
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	2.45	2.46
PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA		2.45	

Tabla XXXI. Resultados de gravedad específica.

Ladrillera Morazán (ARCILLA)

MUESTRA ARCILLA			
IDENTIFICACIÓN DEL MATRAZ		2	3
CAPACIDAD DE MATRAZ (NOMINAL)		500 ml	500 ml
PESO MATRAZ LIMPIO Y SECO	Wm	179.80	186.60
PESO MATRAZ + SUELO SECO	Wms	249.80	256.60
PESO SUELO SECO	Ws	70.00	70.00
PESO MATRAZ + SUELO + AGUA	Wmsw	717.90	724.60
PESO MATRAZ + AGUA	Wmw	677.00	684.00
TEMPERATURA DEL AGUA	T	*****	*****
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	2.41	2.38
PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA		2.39	

LADRILLERA SÁNCHEZ

Tabla XXXII. Resultados de gravedad específica.

Ladrillera Sánchez (MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)

MUESTRA			
MEZCLA (Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)			
IDENTIFICACIÓN DEL MATRAZ		A-60	A-23
CAPACIDAD DE MATRAZ (NOMINAL)		500 ml	500 ml
PESO MATRAZ LIMPIO Y SECO	Wm	179.00	181.00
PESO MATRAZ + SUELO SECO	Wms	258.50	260.90
PESO SUELO SECO	Ws	79.50	79.90
PESO MATRAZ + SUELO + AGUA	Wmsw	725.30	726.80
PESO MATRAZ + AGUA	Wmw	676.70	677.90
TEMPERATURA DEL AGUA	T	*****	*****
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	2.57	2.58
PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA		2.58	

Tabla XXXIII. Resultados de gravedad específica.

Ladrillera Sánchez (SUELO ORGÁNICO)

MUESTRA SUELO ORGÁNICO			
IDENTIFICACIÓN DEL MATRAZ		5	6
CAPACIDAD DE MATRAZ (NOMINAL)		500 ml	500 ml
PESO MATRAZ LIMPIO Y SECO	Wm	179.90	186.30
PESO MATRAZ + SUELO SECO	Wms	249.80	256.30
PESO SUELO SECO	Ws	70.00	70.00
PESO MATRAZ + SUELO + AGUA	Wmsw	719.70	725.40
PESO MATRAZ + AGUA	Wmw	677.40	684.00
TEMPERATURA DEL AGUA	T	*****	*****
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	2.53	2.45
PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA		2.49	

Tabla XXXIV. Resultados de gravedad específica.

Ladrillera Sánchez (BARRO NEGRO)

MUESTRA BARRO NEGRO			
IDENTIFICACIÓN DEL MATRAZ		3	4
CAPACIDAD DE MATRAZ (NOMINAL)		500 ml	500 ml
PESO MATRAZ LIMPIO Y SECO	Wm	186.70	180.10
PESO MATRAZ + SUELO SECO	Wms	526.70	250.10
PESO SUELO SECO	Ws	70.00	70.00
PESO MATRAZ + SUELO + AGUA	Wmsw	726.40	719.20
PESO MATRAZ + AGUA	Wmw	684.10	677.60
TEMPERATURA DEL AGUA	T	*****	*****
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	2.53	2.46
PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA		2.50	

Tabla XXXV. Resultados de gravedad específica.

Ladrillera Sánchez (ARCILLA)

MUESTRA ARCILLA			
IDENTIFICACIÓN DEL MATRAZ		1	2
CAPACIDAD DE MATRAZ (NOMINAL)		500 ml	500 ml
PESO MATRAZ LIMPIO Y SECO	Wm	179.00	180.00
PESO MATRAZ + SUELO SECO	Wms	249.00	250.00
PESO SUELO SECO	Ws	70.00	70.00
PESO MATRAZ + SUELO + AGUA	Wmsw	718.90	719.60
PESO MATRAZ + AGUA	Wmw	676.70	678.20
TEMPERATURA DEL AGUA	T	*****	*****
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	2.52	2.45
PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA		2.48	

LADRILLERA TIKAL

Tabla XXXVI. Resultados de gravedad específica.

Ladrillera Tikal (MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)

MUESTRA			
MEZCLA (Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)			
IDENTIFICACIÓN DEL MATRAZ		C	3
CAPACIDAD DE MATRAZ (NOMINAL)		500 ml	500 ml
PESO MATRAZ LIMPIO Y SECO	Wm	186.40	186.50
PESO MATRAZ + SUELO SECO	Wms	261.40	261.20
PESO SUELO SECO	Ws	74.00	74.00
PESO MATRAZ + SUELO + AGUA	Wmsw	728.90	729.30
PESO MATRAZ + AGUA	Wmw	684.00	684.20
TEMPERATURA DEL AGUA	T	*****	*****
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	2.54	2.56
PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA		2.55	

Tabla XXXVII. Resultados de gravedad específica.

Ladrillera Tikal (SUELO ORGÁNICO)

MUESTRA SUELO ORGÁNICO			
IDENTIFICACIÓN DEL MATRAZ		3	4
CAPACIDAD DE MATRAZ (NOMINAL)		500 ml	500 ml
PESO MATRAZ LIMPIO Y SECO	Wm	186.60	180.10
PESO MATRAZ + SUELO SECO	Wms	256.50	250.00
PESO SUELO SECO	Ws	70.00	70.00
PESO MATRAZ + SUELO + AGUA	Wmsw	726.40	718.50
PESO MATRAZ + AGUA	Wmw	684.00	677.50
TEMPERATURA DEL AGUA	T	*****	*****
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	2.54	2.41
PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA		2.48	

Tabla XXXVIII. Resultados de gravedad específica.

Ladrillera Tikal (BARRO NEGRO)

MUESTRA BARRO NEGRO			
IDENTIFICACIÓN		1	2
CAPACIDAD DE MATRAZ (NOMINAL)		500 ml	500 ml
PESO MATRAZ LIMPIO Y SECO	Wm	179.00	180.10
PESO MATRAZ + SUELO SECO	Wms	249.00	250.00
PESO SUELO SECO	Ws	70.00	70.00
PESO MATRAZ + SUELO + AGUA	Wmsw	718.80	720.40
PESO MATRAZ + AGUA	Wmw	676.80	677.60
TEMPERATURA DEL AGUA	T	*****	*****
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	2.50	2.57
PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA		2.54	

Tabla XXXIX. Resultados de gravedad específica.

Ladrillera Tikal (ARCILLA)

MUESTRA ARCILLA			
IDENTIFICACIÓN		5	6
CAPACIDAD DE MATRAZ (NOMINAL)		500 ml	500 ml
PESO MATRAZ LIMPIO Y SECO	Wm	179.90	216.70
PESO MATRAZ + SUELO SECO	Wms	249.80	286.60
PESO SUELO SECO	Ws	70.00	70.00
PESO MATRAZ + SUELO + AGUA	Wmsw	718.30	756.10
PESO MATRAZ + AGUA	Wmw	677.50	714.60
TEMPERATURA DEL AGUA	T	*****	*****
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	2.40	2.46
PROMEDIO GRAVEDAD ESPECÍFICA		2.43	

5.2.1.3 Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico es una manera de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de partículas presentes en un suelo.

5.2.1.3.1 Método del Hidrómetro Normas AASTHO T-88 y ASTM D-422

El análisis de hidrómetro es un método utilizado para obtener un estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran desde el tamiz No. 200 (0.075mm) hasta 0.001mm. El objetivo de este ensayo es obtener el porcentaje de arcilla más fino que 0.002mm, es decir el material que pasa a través del tamiz No. 200.

En el análisis se utiliza la relación entre la velocidad de caída de partículas en un fluido, el diámetro de la partícula, el peso específico (tanto de la partícula como del fluido) y la viscosidad del fluido.

Figura



drómetro

5.2.1.3.2 Método Mecánico Normas AASTHO T-88 y ASTM D-422

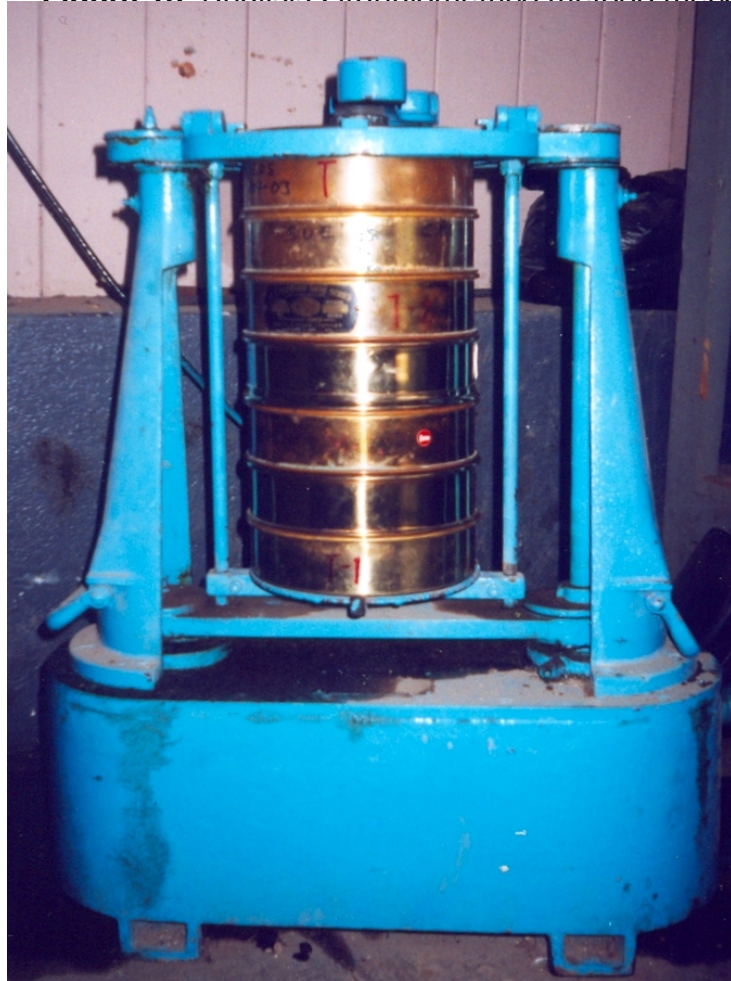
El análisis granulométrico por el método mecánico, consiste en separar las partículas de suelo, agrupándolas dentro de un rango por tamaño. La muestra debe ser representativa del material en estudio.

Figura 17. Análisis Granulométrico método mecánico
separación del material por tamaño de partícula



Para separar las partículas por rango de tamaño, se utiliza un juego de tamices cuyas mallas tienen diámetros diferentes; colocándose del de mayor diámetro sobre el de menor diámetro inmediato.

Figura 18 Análisis Granulométrico método mecánico



Los datos del análisis granulométrico por el método del hidrómetro se presentan en un gráfico semilogarítmico (porcentaje de material más fino contra diámetro de las partículas), y puede combinarse con los datos obtenidos en el análisis granulométrico por el método mecánico (porcentaje de material retenido en el tamiz No.200).

A continuación se presentan los resultados del análisis granulométrico por ambos métodos, observando en la gráfica los % de cada clase de suelo que conforman la muestra, agrupados de acuerdo al diámetro de sus partículas.

TABLA XL. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices.
Ladrillera Mazateca (MEZCLA: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)

LADRILLERA MAZATECA													
DESCRIPCIÓN DEL SUELO								MUESTRA					
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 2.0 metros				HIDRÓMETRO No. 62969				AGENTE DISPERSANTE Hexametáfosfato				CANTIDAD 125 ml	
GRAVEDAD ESPECÍFICA 2.58		A 1.02		PESO SUELO Ws(gr) 80.00				CORRECCIÓN DE CERO 3		CORRECCIÓN DEL MENISCO 1			
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN													
FECHA	HORA DE LECTURA	TIEMPO MIN t	TEMP.	CT TABLA	LECTURA REAL HIDRÓMETRO R _{real}	LEC. CORREGIDA HIDRÓMETRO R _c	% FINOS	HIDRÓMETRO CORREGIDO MENISCO R	PROFUNDIDAD EFECTIVA L TABLA	Lt	K TABLA	DIÁMETRO MILÍMETRO	
29/08/2005	11:09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29/08/2005	11:11	2	23.0	0.70	36.0	33.70	42.83	37.0	10.2	5.1000	0.0135	0.03049	
29/08/2005	11:14	5	23.0	0.70	33.0	30.70	39.02	34.0	10.7	2.1400	0.0135	0.01975	
29/08/2005	11:24	15	24.0	1.00	30.0	28.00	35.59	31.0	11.2	0.7467	0.0133	0.01149	
29/08/2005	11:39	30	24.0	1.00	27.0	25.00	31.77	28.0	11.7	0.3900	0.0133	0.00831	
29/08/2005	12:09	60	25.0	1.30	24.0	22.30	28.34	25.0	12.2	0.2033	0.0132	0.00595	
29/08/2005	16:09	300	27.0	2.00	15.0	14.00	17.79	16.0	13.7	0.0457	0.0129	0.00276	
30/08/2005	11:09	1440	23.0	0.70	12.0	9.70	12.33	13.0	14.2	0.0099	0.0135	0.00134	
ANÁLISIS POR TAMICES													
MALLA	ABERTURA mm	PESO BRUTO gr	TARA gr	PESO NETO gr	%	PORCENTAJE DE FINOS							
10	2.000	468.20	433.10	35.10	100.00	56.13							
40	0.425	455.20	433.10	22.10	83.75								
80	0.177	441.20	433.10	8.10	66.25								
200	0.075			44.90	56.13								
GRAFÍA ENSAYO GRANULOMÉTRICO													
DIÁMETRO mm	% QUE PASA	LADRILLERA MAZATECA											
2.0000	100.0000												
0.4250	83.7500												
0.1770	66.2500												
0.0750	56.1250												
0.0305	42.8293												
0.0197	39.0166												
0.0115	35.5851												
0.0083	31.7725												
0.0060	28.3410												
0.0028	17.79												
0.0013	12.33												
GRAVA %	0.00												

TABLA XLI. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices.
Ladrillera Mazateca (SUELO ORGÁNICO)

LADRILLERA MAZATECA												
DESCRIPCIÓN DEL SUELO						MUESTRA						
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 0.5 metros aproximado				HIDRÓMETRO No. 62969		AGENTE DISPERSANTE Hexametáfosfato			CANTIDAD 125 ml			
GRAVEDAD ESPECÍFICA 2.33		A 1.09		PESO SUELO Ws(gr) 80.00		CORRECCIÓN DE CERO 3			CORRECCIÓN DEL MENISCO 1			
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN												
FECHA	HORA DE LECTURA	TIEMPO MIN t	TEMP.	CT TABLA	LECTURA REAL HIDRÓMETRO Rreal	LEC. CORREGIDA HIDRÓMETRO Rc	% FINOS	HIDRÓMETRO CORREGIDO MENISCO R	PROFUNDIDAD EFECTIVA L TABLA	Lt	K TABLA	DIÁMETRO MILÍMETRO
29/08/2005	11:44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29/08/2005	11:46	2	23.0	0.70	13.0	10.70	14.59	14.0	14.0	7.0000	0.0147	0.03889
29/08/2005	11:49	5	23.0	0.70	12.0	9.70	13.23	13.0	14.2	2.8400	0.0147	0.02477
29/08/2005	11:59	15	23.0	0.70	10.0	7.70	10.50	11.0	14.5	0.9667	0.0147	0.01445
29/08/2005	12:14	30	24.0	1.00	9.0	7.00	9.54	10.0	14.7	0.4900	0.0145	0.01015
29/08/2005	12:44	60	24.0	1.00	8.0	6.00	8.18	9.0	14.8	0.2467	0.0145	0.00720
29/08/2005	16:44	300	25.0	1.30	5.0	3.30	4.50	6.0	15.3	0.0510	0.0143	0.00323
30/08/2005	11:44	1440	23.0	0.70	5.0	2.70	3.68	6.0	15.3	0.0106	0.0147	0.00152
ANÁLISIS POR TAMICES												
MALLA	ABERTURA mm	PESO BRUTO gr	TARA gr	PESO NETO gr	%	PORCENTAJE DE FINOS						
10	2.000	189.40	128.50	60.90	132.25	23.88						
40	0.425	139.40	128.50	10.90	69.75							
80	0.177	130.00	128.50	1.50	58.00							
200	0.075			19.10	23.88							
GRAFÍA ENSAYO GRANULOMÉTRICO												
DIÁMETRO mm	% QUE PASA	LADRILLERA MAZATECA										
2.0000	132.2500											
0.4250	69.7500											
0.1770	58.0000											
0.0750	23.8750											
0.0389	14.5894											
0.0248	13.2259											
0.0145	10.4989											
0.0102	9.5444											
0.0072	8.1809											
0.0032	4.50											
0.0015	3.68											
GRAVA %	0.00											

TABLA XLII. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices.
Ladrillera Mazateca (BARRO NEGRO)

LADRILLERA MAZATECA													
DESCRIPCIÓN DEL SUELO								MUESTRA					
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 0.50 a 1.0 metros aproximado				HIDRÓMETRO No. 62969				AGENTE DISPERSANTE Hexametáfosfato				CANTIDAD 125 ml	
GRAVEDAD ESPECÍFICA		A		PESO SUELO Ws(gr)				CORRECCIÓN DE CERO		CORRECCIÓN DEL MENISCO			
2.37		1.08		80.00				3		1			
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN													
FECHA	HORA DE LECTURA	TIEMPO MIN t	TEMP.	CT TABLA	LECTURA REAL HIDRÓMETRO Rreal	LEC. CORREGIDA HIDRÓMETRO Rr	% FINOS	HIDRÓMETRO CORREGIDO MENISCO R	PROFUNDIDAD EFECTIVA L TABLA	Lt	K TABLA	DIÁMETRO MILÍMETRO	
31.08/2005	11:02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31.08/2005	11:04	2	24.0	1.00	52.0	50.00	67.32	53.0	7.6	3.8000	0.0143	0.02788	
31.08/2005	11:07	5	24.0	1.00	47.0	45.00	60.59	48.0	8.4	1.6800	0.0143	0.01853	
31.08/2005	11:17	15	22.0	0.40	40.0	37.40	50.36	41.0	9.6	0.6400	0.0146	0.01168	
31.08/2005	11:32	30	23.0	0.70	36.0	33.70	45.37	37.0	10.2	0.3400	0.0145	0.00845	
31.08/2005	12:02	60	23.0	0.70	31.0	28.70	38.64	32.0	11.1	0.1850	0.0145	0.00624	
31.08/2005	14:02	300	25.0	1.30	19.0	17.30	23.29	20.0	13.0	0.0433	0.0141	0.00294	
01.09/2005	11:02	1440	23.0	0.70	15.0	12.70	17.10	16.0	13.7	0.0095	0.0145	0.00141	
ANÁLISIS POR TAMICES													
MALLA	ABERTURA mm	PESO BRUTO gr	TARA gr	PESO NETO gr	%	PORCENTAJE DE FINOS							
10	2.000	168.60	132.80	35.80	100.88	55.25							
40	0.425	155.60	132.80	22.80	84.63								
80	0.177	140.50	132.80	7.70	65.75								
200	0.075			44.20	55.25								
GRAFÍA ENSAYO GRANULOMÉTRICO													
DIÁMETRO mm	% QUE PASA	LADRILLERA MAZATECA											
2.0000	100.8750												
0.4250	84.6250												
0.1770	65.7500												
0.0750	55.2500												
0.0279	67.3203												
0.0185	60.5882												
0.0117	50.3556												
0.0085	45.3739												
0.0062	38.6418												
0.0029	23.29												
0.0014	17.10												
GRAVA %	0.00	ARENA %	44.75	LIMO %	21.25	ARCILLA %	34.00						

TABLA XLIII. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices.
Ladrillera Mazateca (ARCILLA)

LADRILLERA MAZATECA												
DESCRIPCIÓN DEL SUELO								MUESTRA				
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 1.0 a 2.0 metros aproximado				HIDRÓMETRO No. 62969		AGENTE DISPERSANTE Hexametáfosfato		CANTIDAD 125 ml				
GRAVEDAD ESPECÍFICA 2.46		A 1.05		PESO SUELO Ws(gr) 80.00		CORRECCIÓN DE CERO 3		CORRECCIÓN DEL MENISCO 1				
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN												
FECHA	HORA DE LECTURA	TIEMPO MIN t	TEMP.	CT TABLA	LECTURA REAL HIDRÓMETRO Rreal	LEC. CORREGIDA HIDRÓMETRO Rc	% FINOS	HIDRÓMETRO CORREGIDO MENISCO R	PROFUNDIDAD EFECTIVA L TABLA	Lt	K TABLA	DIÁMETRO MILÍMETRO
31.08/2005	11:26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31.08/2005	11:28	2	22.0	0.40	40.0	37.40	49.05	41.0	9.6	4.8000	0.0141	0.03089
31.08/2005	11:31	5	22.0	0.40	36.0	33.40	43.80	37.0	10.2	2.0400	0.0141	0.02014
31.08/2005	11:41	15	22.0	0.40	31.0	28.40	37.24	32.0	11.1	0.7400	0.0141	0.01213
31.08/2005	11:56	30	23.0	0.70	28.0	25.70	33.70	29.0	11.5	0.3833	0.0140	0.00867
31.08/2005	12:26	60	24.0	1.00	25.0	23.00	30.16	26.0	12.0	0.2000	0.0138	0.00617
31.08/2005	14:26	300	25.0	1.30	18.0	16.30	21.38	19.0	13.2	0.0440	0.0137	0.00287
01.09/2005	11:26	1440	23.0	0.70	16.0	13.70	17.97	17.0	13.5	0.0094	0.014	0.00136
ANÁLISIS POR TAMICES												
MALLA	ABERTURA mm	PESO BRUTO gr	TARA gr	PESO NETO gr	%	PORCENTAJE DE FINOS						
10	2.000	204.20	171.00	33.20	97.63	58.50						
40	0.425	199.30	171.00	28.30	91.50							
80	0.177	185.50	171.00	14.50	74.25							
200	0.075			46.80	58.50							
GRAFÍA ENSAYO GRANULOMÉTRICO												
DIÁMETRO mm	% QUE PASA	LADRILLERA MAZATECA										
2.0000	97.6290											
0.4250	91.5000											
0.1770	74.2500											
0.0750	58.5000											
0.0309	49.0458											
0.0201	43.8003											
0.0121	37.2433											
0.0087	33.7026											
0.0062	30.1619											
0.0029	21.38											
0.0014	17.97											
GRAVA %	0.00	ARENA %	41.50	LIMO %	31.00	ARCILLA %	27.50					

TABLA XLIV. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices.
Ladrillera Morazán (Mezcla: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)

LADRILLERA MORAZÁN													
DESCRIPCIÓN DEL SUELO							MUESTRA						
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 2.5 metros							HIDRÓMETRO No. 62969		AGENTE DISPERSANTE Hexametáfosfato			CANTIDAD 125 ml	
GRAVEDAD ESPECÍFICA 2.59		A 1.01		PESO SUELO Ws(gr) 80.00			CORRECCIÓN DE CERO 3			CORRECCIÓN DEL MENISCO 1			
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN													
FECHA	HORA DE LECTURA	TIEMPO MIN t	TEMP.	CT TABLA	LECTURA REAL HIDRÓMETRO R _{real}	LEC. CORREGIDA HIDRÓMETRO R _c	% FINOS	HIDRÓMETRO CORREGIDO MENISCO R	PROFUNDIDAD EFECTIVA L TABLA	Lt	K TABLA	DIÁMETRO MILÍMETRO	
18/08/2005	10:14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18/08/2005	10:16	2	23.0	0.70	31.0	28.70	36.39	32.0	11.1	5.5500	0.0134	0.03157	
18/08/2005	10:19	5	23.0	0.70	27.0	24.70	31.31	28.0	11.7	2.3400	0.0134	0.02050	
18/08/2005	10:29	15	23.0	0.70	22.0	19.70	24.98	23.0	12.5	0.8333	0.0134	0.01223	
18/08/2005	10:44	30	23.0	0.70	19.0	16.70	21.17	20.0	13.0	0.4333	0.0134	0.00882	
18/08/2005	11:14	60	24.0	1.00	16.0	14.00	17.75	17.0	13.5	0.2250	0.0132	0.00626	
18/08/2005	15:14	300	25.0	1.30	10.0	8.30	10.52	11.0	14.5	0.0483	0.0131	0.00288	
19/08/2005	10:14	1440	22.0	0.40	8.0	5.40	6.85	9.0	14.8	0.0103	0.0135	0.00137	
ANÁLISIS POR TAMICES													
MALLA	ABERTURA mm	PESO BRUTO gr	TARA gr	PESO NETO gr	%	PORCENTAJE DE FINOS							
10	2.000	471.80	433.10	38.70	100.00	51.63							
40	0.425	456.10	433.10	23.00	80.38								
80	0.177	442.40	433.10	9.30	63.25								
200	0.075			41.30	51.63								
GRAFÍA ENSAYO GRANULOMÉTRICO													
DIÁMETRO mm	% QUE PASA	LADRILLERA MORAZÁN											
2.0000	100.0000												
0.4250	80.3750												
0.1770	63.2500												
0.0750	51.6250												
0.0316	36.3859												
0.0205	31.3147												
0.0122	24.9757												
0.0088	21.1723												
0.0063	17.7492												
0.0029	10.52												
0.0014	6.85												
GRAVA %	0.00	ARENA %	48.38	LIMO %	35.63	ARCILLA %	16.00						

TABLA XLV. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices.
Ladrillera Morazán (SUELO ORGÁNICO)

LADRILLERA MORAZÁN												
DESCRIPCIÓN DEL SUELO						MUESTRA						
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 0.5 metros			HIDRÓMETRO No. 62969			AGENTE DISPERSANTE Hexametáfosfato			CANTIDAD 125 ml			
GRAVEDAD ESPECÍFICA 2.42		A 1.06		PESO SUELO Ws(gr) 80.00		CORRECCIÓN DE CERO 3		CORRECCIÓN DEL MENISCO 1				
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN												
FECHA	HORA DE LECTURA	TIEMPO MIN t	TEMP.	CT TABLA	LECTURA REAL HIDRÓMETRO Rreal	LEC. CORREGIDA HIDRÓMETRO Rc	% FINOS	HIDRÓMETRO CORREGIDO MENISCO R	PROFUNDIDAD EFECTIVA L TABLA	Lt	K TABLA	DIÁMETRO MILÍMETRO
22/08/2005	11:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22/08/2005	11:52	2	23.0	0.70	27.0	24.70	32.76	28.0	11.7	5.8500	0.0142	0.03435
22/08/2005	11:55	5	23.0	0.70	26.0	23.70	31.44	27.0	11.9	2.3800	0.0142	0.02191
22/08/2005	12:05	15	24.0	1.00	23.0	21.00	27.85	24.0	12.4	0.8267	0.0140	0.01273
22/08/2005	12:20	30	24.0	1.00	20.0	18.00	23.88	21.0	12.9	0.4300	0.0140	0.00918
22/08/2005	12:50	60	24.0	1.00	17.0	15.00	19.90	18.0	13.3	0.2217	0.0140	0.00659
22/08/2005	16:50	300	25.0	1.30	11.0	9.30	12.34	12.0	14.3	0.0477	0.0139	0.00303
23/08/2005	11:50	1440	22.0	0.40	8.0	5.40	7.16	9.0	14.8	0.0103	0.0143	0.00145
ANÁLISIS POR TAMICES												
MALLA	ABERTURA mm	PESO BRUTO gr	TARA gr	PESO NETO gr	%	PORCENTAJE DE FINOS						
10	2.000	177.70	132.30	45.40	100.00	43.25						
40	0.425	155.80	132.30	23.50	81.00							
80	0.177	138.00	132.30	5.70	58.75							
200	0.075			34.60	43.25							
GRAFÍA ENSAYO GRANULOMÉTRICO												
DIÁMETRO mm	% QUE PASA	LADRILLERA MORAZÁN										
2.0000	100.0000											
0.4250	81.0000											
0.1770	58.7500											
0.0750	43.2500											
0.0343	32.7621											
0.0219	31.4357											
0.0127	27.8544											
0.0092	23.8752											
0.0066	19.8960											
0.0030	12.34											
0.0014	7.16											
GRAVA %	0.00	ARENA %	56.75	LIMO %	25.75	ARCILLA %	17.50					

TABLA XLVI. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices.
Ladrillera Morazán (BARRO NEGRO)

LADRILLERA MORAZÁN													
DESCRIPCIÓN DEL SUELO								MUESTRA					
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 0.50 a 1.5 metros aproximado				HIDRÓMETRO No. 62969				AGENTE DISPERSANTE Hexametáfosfato				CANTIDAD 125 ml	
GRAVEDAD ESPECÍFICA		A		PESO SUELO Ws(gr)				CORRECCIÓN DE CERO		CORRECCIÓN DEL MENISCO			
2.45		1.05		80.00				3		1			
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN													
FECHA	HORA DE LECTURA	TIEMPO MIN t	TEMP.	CT TABLA	LECTURA REAL HIDRÓMETRO Rreal	LEC. CORREGIDA HIDRÓMETRO Re	% FINOS	HIDRÓMETRO CORREGIDO MENISCO R	PROFUNDIDAD EFECTIVA L TABLA	Lt	K TABLA	DIÁMETRO MILÍMETRO	
24.08/2005	09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24.08/2005	09:02	2	23.0	0.70	32.0	29.70	39.06	33.0	10.9	5.4500	0.0141	0.03292	
24.08/2005	09:05	5	23.0	0.70	29.0	26.70	35.11	30.0	11.4	2.2600	0.0141	0.02129	
24.08/2005	09:15	15	23.0	0.70	26.0	23.70	31.17	27.0	11.9	0.7933	0.0141	0.01256	
24.08/2005	09:30	30	23.0	0.70	23.0	20.70	27.22	24.0	12.4	0.4133	0.0141	0.00907	
24.08/2005	10:00	60	24.0	1.00	20.0	18.00	23.67	21.0	12.9	0.2150	0.0139	0.00645	
24.08/2005	14:00	300	27.0	2.00	12.0	11.00	14.47	13.0	14.2	0.0473	0.0134	0.00292	
25.08/2005	09:00	1440	22.0	0.40	11.0	8.40	11.05	12.0	14.3	0.0099	0.0142	0.00142	
ANÁLISIS POR TAMICES													
MALLA	ABERTURA mm	PESO BRUTO gr	TARA gr	PESO NETO gr	%	PORCENTAJE DE FINOS							
10	2.000	165.40	128.40	37.00	100.00	53.75							
40	0.425	144.00	128.40	15.60	71.13								
80	0.177	133.30	128.40	4.90	57.75								
200	0.075			43.00	53.75								
GRAFÍA ENSAYO GRANULOMÉTRICO													
DIÁMETRO mm	% QUE PASA	LADRILLERA MORAZÁN											
2.0000	100.0000												
0.4250	71.1250												
0.1770	57.7500												
0.0750	53.7500												
0.0329	39.0573												
0.0213	35.1122												
0.0126	31.1670												
0.0091	27.2218												
0.0064	23.6711												
0.0029	14.47												
0.0014	11.05												
GRAVA %	0.00	ARENA %	46.25	LIMO %	33.05	ARCILLA %	20.70						

TABLA XLVII. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices.
Ladrillera Morazán (ARCILLA)

LADRILLERA MORAZÁN												
DESCRIPCIÓN DEL SUELO								MUESTRA				
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 1.5 a 2.5 metros aproximado				HIDRÓMETRO No. 62969		AGENTE DISPERSANTE Hexametáfosfato		CANTIDAD 125 ml				
GRAVEDAD ESPECÍFICA 2.39		A 1.07		PESO SUELO Ws(gr) 80.00		CORRECCIÓN DE CERO 3		CORRECCIÓN DEL MENISCO 1				
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN												
FECHA	HORA DE LECTURA	TIEMPO MIN t	TEMP.	CT TABLA	LECTURA REAL HIDRÓMETRO Rreal	LEC. CORREGIDA HIDRÓMETRO R _c	% FINOS	HIDRÓMETRO CORREGIDO MENISCO R	PROFUNDIDAD EFECTIVA L TABLA	Lt	K TABLA	DIÁMETRO MILÍMETRO
24/08/2005	08:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24/08/2005	08:47	2	22.0	0.40	29.0	26.40	35.33	30.0	11.4	5.7000	0.0145	0.03462
24/08/2005	08:50	5	22.0	0.40	27.0	24.40	32.65	28.0	11.7	2.3400	0.0145	0.02218
24/08/2005	09:00	15	23.0	0.70	23.0	20.70	27.70	24.0	12.4	0.8267	0.0144	0.01309
24/08/2005	09:15	30	23.0	0.70	19.0	16.70	22.35	20.0	13.0	0.4333	0.0144	0.00948
24/08/2005	09:45	60	23.0	0.70	16.0	13.70	18.33	17.0	13.5	0.2250	0.0144	0.00683
24/08/2005	13:45	300	27.0	2.00	10.0	9.00	12.04	11.0	14.5	0.0483	0.0137	0.00301
25/08/2005	08:45	1440	22.0	0.40	9.0	6.40	8.56	10.0	14.7	0.0102	0.0145	0.00147
ANÁLISIS POR TAMICES												
MALLA	ABERTURA mm	PESO BRUTO gr	TARA gr	PESO NETO gr	%	PORCENTAJE DE FINOS						
10	2.000	202.20	171.00	31.20	90.63	61.00						
40	0.425	185.10	171.00	14.10	69.25							
80	0.177	175.90	171.00	4.90	57.75							
200	0.075			48.80	61.00							
GRAFÍA ENSAYO GRANULOMÉTRICO												
DIÁMETRO mm	% QUE PASA	LADRILLERA MORAZÁN										
2.0000	100.0000											
0.4250	69.2500											
0.1770	57.7500											
0.0750	61.0000											
0.0346	35.3293											
0.0222	32.6528											
0.0131	27.7014											
0.0095	22.3485											
0.0068	18.3338											
0.0030	12.04											
0.0015	8.56											
GRAVA %	0.00	ARENA %	39.00	LIMO %	45.25	ARCILLA %	15.75					

TABLA XLVIII. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices.
Ladrillera Sánchez (Mezcla: Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)

LADRILLERA SÁNCHEZ													
DESCRIPCIÓN DEL SUELO								MUESTRA					
MEZCLA (Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)													
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 2.3 metros aproximado				HIDRÓMETRO No. 62969		AGENTE DISPERSANTE Hexametáfosfato		CANTIDAD 125 ml					
GRAVEDAD ESPECÍFICA 2.58		A 1.02		PESO SUELO Ws(gr) 80.00		CORRECCIÓN DE CERO 3		CORRECCIÓN DEL MENISCO 1					
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN													
FECHA	HORA DE LECTURA	TIEMPO MIN t	TEMP.	CT TABLA	LECTURA REAL HIDRÓMETRO R _{real}	LEC. CORREGIDA HIDRÓMETRO R _c	% FINOS	HIDRÓMETRO CORREGIDO MENISCO R	PROFUNDIDAD EFECTIVA L TABLA	Lt	K TABLA	DIÁMETRO MILÍMETRO	
08/09/2005	10:55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
08/09/2005	10:57	2	23.0	0.70	25.0	22.70	28.85	26.0	12.0	6.0000	0.0135	0.03307	
08/09/2005	11:00	5	23.0	0.70	22.0	19.70	25.04	23.0	12.5	2.5000	0.0135	0.02135	
08/09/2005	11:10	15	23.0	0.70	19.0	16.70	21.22	20.0	13.0	0.8667	0.0135	0.01257	
08/09/2005	11:25	30	24.0	1.00	15.0	13.00	16.52	16.0	13.7	0.4567	0.0133	0.00899	
08/09/2005	11:55	60	24.0	1.00	12.0	10.00	12.71	13.0	14.2	0.2367	0.0133	0.00647	
08/09/2005	15:55	300	25.0	1.30	7.0	5.30	6.74	8.0	15.0	0.0500	0.0132	0.00295	
09/09/2005	10:55	1440	22.0	0.40	6.0	3.40	4.32	7.0	15.2	0.0106	0.0136	0.00140	
ANÁLISIS POR TAMICES													
MALLA	ABERTURA mm	PESO BRUTO gr	TARA gr	PESO NETO gr	%	PORCENTAJE DE FINOS							
10	2.000	474.20	433.10	41.10	100.00	48.63							
40	0.425	459.00	433.10	25.90	81.00								
80	0.177	442.90	433.10	9.80	60.88								
200	0.075			38.90	48.63								
GRAFÍA ENSAYO GRANULOMÉTRICO													
DIÁMETRO mm	% QUE PASA	LADRILLERA SÁNCHEZ											
2.0000	100.0000												
0.4250	81.0000												
0.1770	60.8750												
0.0750	48.6250												
0.0331	28.8494												
0.0213	25.0367												
0.0126	21.2240												
0.0090	16.5217												
0.0065	12.7090												
0.0030	6.74												
0.0014	4.32												
GRAVA %	0.00												

TABLA XLIX. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices.
Ladrillera Sánchez (SUELO ORGÁNICO)

LADRILLERA SÁNCHEZ												
DESCRIPCIÓN DEL SUELO							MUESTRA					
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 0.5 metros aproximado				HIDRÓMETRO No. 62969			AGENTE DISPERSANTE Hexametáfosfato			CANTIDAD 125 ml		
GRAVEDAD ESPECÍFICA 2.49		A 1.04		PESO SUELO Ws(gr) 80.00			CORRECCIÓN DE CERO 3			CORRECCIÓN DEL MENISCO 1		
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN												
FECHA	HORA DE LECTURA	TIEMPO MIN t	TEMP.	CT TABLA	LECTURA REAL HIDRÓMETRO Rreal	LEC. CORREGIDA HIDRÓMETRO Rc	% FINOS	HIDRÓMETRO CORREGIDO MENISCO R	PROFUNDIDAD EFECTIVA L TABLA	Lt	K TABLA	DIÁMETRO MILÍMETRO
08/09/2005	12:13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/09/2005	12:15	2	24.0	1.00	17.0	15.00	19.51	18.0	13.3	6.6500	0.0137	0.03533
08/09/2005	12:18	5	24.0	1.00	15.0	13.00	16.91	16.0	13.7	2.7400	0.0137	0.02268
08/09/2005	12:28	15	24.0	1.00	13.0	11.00	14.31	14.0	14.0	0.9333	0.0137	0.01324
08/09/2005	12:43	30	24.0	1.00	11.0	9.00	11.71	12.0	14.3	0.4767	0.0137	0.00946
08/09/2005	13:13	60	24.0	1.00	9.0	7.00	9.10	10.0	14.7	0.2450	0.0137	0.00678
08/09/2005	15:13	300	25.0	1.30	6.0	4.30	5.59	7.0	15.2	0.0507	0.0136	0.00306
08/09/2005	12:13	1440	23.0	0.70	5.0	2.70	3.51	6.0	15.3	0.0106	0.0139	0.00143
ANÁLISIS POR TAMICES												
MALLA	ABERTURA mm	PESO BRUTO gr	TARA gr	PESO NETO gr	%	PORCENTAJE DE FINOS						
10	2.000	186.50	132.50	56.00	118.63	30.00						
40	0.425	157.80	132.50	25.30	80.25							
80	0.177	139.30	132.50	6.80	57.13							
200	0.075			24.00	30.00							
GRAFÍA ENSAYO GRANULOMÉTRICO												
DIÁMETRO mm	% QUE PASA	LADRILLERA SÁNCHEZ										
2.0000	118.6250											
0.4250	80.2500											
0.1770	57.1250											
0.0750	30.0000											
0.0353	19.5098											
0.0227	16.9085											
0.0132	14.3072											
0.0095	11.7059											
0.0068	9.1046											
0.0031	5.59											
0.0014	3.51											
GRAVA %	0.00											

TABLA L. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices.
Ladrillera Sánchez (BARRO NEGRO)

LADRILLERA SÁNCHEZ													
DESCRIPCIÓN DEL SUELO								MUESTRA					
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 0.5 a 1.20 metros aproximado				HIDRÓMETRO No. 62969				AGENTE DISPERSANTE Hexametáfosfato				CANTIDAD 125 ml	
GRAVEDAD ESPECÍFICA		A		PESO SUELO Ws(gr)				CORRECCIÓN DE CERO		CORRECCIÓN DEL MENISCO			
2.5		1.04		80.00				3		1			
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN													
FECHA	HORA DE LECTURA	TIEMPO MIN t	TEMP.	CT TABLA	LECTURA REAL HIDRÓMETRO R _{real}	LEC. CORREGIDA HIDRÓMETRO R _c	% FINOS	HIDRÓMETRO CORREGIDO MENISCO R	PROFUNDIDAD EFECTIVA L TABLA	Lt	K TABLA	DIÁMETRO MILÍMETRO	
12/09/2005	12:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12/09/2005	12:32	2	24.0	1.00	26.0	24.00	31.13	27.0	11.9	5.9500	0.0136	0.03317	
12/09/2005	12:35	5	24.0	1.00	22.0	20.00	25.94	23.0	12.5	2.5000	0.0136	0.02150	
12/09/2005	12:45	15	24.0	1.00	19.0	17.00	22.05	20.0	13.0	0.8667	0.0136	0.01266	
12/09/2005	13:00	30	24.0	1.00	16.0	14.00	18.16	17.0	13.5	0.4500	0.0136	0.00912	
12/09/2005	13:30	60	25.0	1.30	13.0	11.30	14.66	14.0	14.0	0.2333	0.0135	0.00652	
12/09/2005	15:30	300	25.0	1.30	8.0	6.30	8.17	9.0	14.8	0.0493	0.0135	0.00300	
13/09/2005	12:30	1440	23.0	0.70	7.0	4.70	6.10	8.0	15.0	0.0104	0.0139	0.00142	
ANÁLISIS POR TAMICES													
MALLA	ABERTURA mm	PESO BRUTO gr	TARA gr	PESO NETO gr	%	PORCENTAJE DE FINOS							
10	2.000	172.80	128.40	44.40	104.13	44.50							
40	0.425	151.90	128.40	23.50	78.00								
80	0.177	137.40	128.40	9.00	59.88								
200	0.075			35.60	44.50								
GRAFÍA ENSAYO GRANULOMÉTRICO													
DIÁMETRO mm	% QUE PASA	LADRILLERA SÁNCHEZ											
2.0000	104.1250												
0.4250	78.0000												
0.1770	59.8750												
0.0750	44.5000												
0.0332	31.1321												
0.0215	25.9434												
0.0127	22.0519												
0.0091	18.1604												
0.0065	14.6680												
0.0030	8.17												
0.0014	6.10												
GRAVA %	0.00	ARENA %	55.50	LIMO %	32.00	ARCILLA %	12.50						

TABLA LI. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices.
Ladrillera Sánchez (ARCILLA)

LADRILLERA SÁNCHEZ														
DESCRIPCIÓN DEL SUELO								MUESTRA						
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 1.20 a 2.30 metros aproximado								HIDRÓMETRO No. 62969		AGENTE DISPERSANTE Hexametáfosfato		CANTIDAD 125 ml		
GRAVEDAD ESPECÍFICA 2.48		A 1.04		PESO SUELO Ws(gr) 80.00		CORRECCIÓN DE CERO 3		CORRECCIÓN DEL MENISCO 1						
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN														
FECHA	HORA DE LECTURA	TIEMPO MIN t	TEMP.	CT TABLA	LECTURA REAL HIDRÓMETRO Rreal	LEC. CORREGIDA HIDRÓMETRO Rc	% FINOS	HIDRÓMETRO CORREGIDO MENISCO R	PROFUNDIDAD EFECTIVA L TABLA	Lt	K TABLA	DIÁMETRO MILÍMETRO		
12/09/2005	12:52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12/09/2005	12:54	2	24.0	1.00	38.0	36.00	46.95	39.0	9.9	4.9500	0.0137	0.03048		
12/09/2005	12:57	5	24.0	1.00	33.0	31.00	40.43	34.0	10.7	2.1400	0.0137	0.02004		
12/09/2005	13:07	15	24.0	1.00	26.0	24.00	31.30	27.0	11.9	0.7933	0.0137	0.01220		
12/09/2005	13:22	30	25.0	1.30	23.0	21.30	27.78	24.0	12.4	0.4133	0.0136	0.00874		
12/09/2005	13:52	60	25.0	1.30	20.0	18.30	23.87	21.0	12.9	0.2150	0.0136	0.00631		
12/09/2005	15:52	300	25.0	1.30	15.0	13.30	17.35	16.0	13.7	0.0457	0.0136	0.00291		
13/09/2005	12:52	1440	23.0	0.70	13.0	10.70	13.95	14.0	14.0	0.0097	0.0139	0.00137		
ANÁLISIS POR TAMICES														
MALLA	ABERTURA mm	PESO BRUTO gr	TARA gr	PESO NETO gr	%	PORCENTAJE DE FINOS								
10	2.000	191.00	171.00	20.00	73.63	75.00								
40	0.425	187.70	171.00	16.70	69.50									
80	0.177	178.70	171.00	7.70	58.25									
200	0.075			60.00	75.00									
GRAFÍA ENSAYO GRANULOMÉTRICO														
DIÁMETRO mm	% QUE PASA	LADRILLERA SÁNCHEZ												
2.0000	73.6290													
0.4250	69.5000													
0.1770	58.2500													
0.0750	75.0000													
0.0305	46.9505													
0.0200	40.4296													
0.0122	31.3004													
0.0087	27.7791													
0.0063	23.8665													
0.0029	17.35													
0.0014	13.95													
GRAVA %	0.00												ARENA %	25.00

TABLA LII. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices.
Ladrillera Tikal (Suelo Orgánico + Barro Negro + Arcilla)

LADRILLERA TIKAL													
DESCRIPCIÓN DEL SUELO								MUESTRA					
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 2.5 metros aproximado								HIDRÓMETRO No. 62969		AGENTE DISPERSANTE Hexametáfosfato		CANTIDAD 125 ml	
GRAVEDAD ESPECÍFICA 2.55		A 1.02		PESO SUELO Ws(gr) 80.00		CORRECCIÓN DE CERO 3		CORRECCIÓN DEL MENISCO 1					
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN													
FECHA	HORA DE LECTURA	TIEMPO MIN t	TEMP.	CT TABLA	LECTURA REAL HIDRÓMETRO R _{real}	LEC. CORREGIDA HIDRÓMETRO R _c	% FINOS	HIDRÓMETRO CORREGIDO MENISCO R	PROFUNDIDAD EFECTIVA L TABLA	Lt	K TABLA	DIÁMETRO MILÍMETRO	
05/09/2005	10:54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
05/09/2005	10:56	2	23.0	0.70	30.0	27.70	35.47	31.0	11.2	5.6000	0.0136	0.03218	
05/09/2005	10:59	5	23.0	0.70	27.0	24.70	31.63	28.0	11.7	2.3400	0.0136	0.02080	
05/09/2005	11:04	15	24.0	1.00	24.0	22.00	28.17	25.0	12.2	0.8133	0.0134	0.01208	
05/09/2005	11:19	30	24.0	1.00	23.0	21.00	26.89	24.0	12.4	0.4133	0.0134	0.00861	
05/09/2005	11:49	60	24.0	1.00	20.0	18.00	23.05	21.0	12.9	0.2150	0.0134	0.00621	
05/09/2005	15:49	300	26.0	1.65	14.0	12.65	16.20	15.0	13.8	0.0460	0.0131	0.00281	
06/09/2005	10:54	1440	23.0	0.70	12.0	9.70	12.42	13.0	14.2	0.0099	0.0136	0.00135	
ANÁLISIS POR TAMICES													
MALLA	ABERTURA mm	PESO BRUTO gr	TARA gr	PESO NETO gr	%	PORCENTAJE DE FINOS							
10	2.000	477.00	433.10	43.90	100.00	45.13							
40	0.425	458.90	433.10	25.80	77.38								
80	0.177	440.90	433.10	7.80	54.88								
200	0.075			36.10	45.13								
GRAFÍA ENSAYO GRANULOMÉTRICO													
DIÁMETRO mm	% QUE PASA	LADRILLERA TIKAL											
2.0000	100.0000												
0.4250	77.3750												
0.1770	54.8750												
0.0750	45.1250												
0.0322	35.4680												
0.0208	31.6267												
0.0121	28.1695												
0.0086	26.8891												
0.0062	23.0478												
0.0028	16.20												
0.0014	12.42												
GRAVA %	0.00	ARENA %	54.88	LIMO %	23.63	ARCILLA %	21.50						

TABLA LIII. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices.
Ladrillera Tikal (SUELO ORGÁNICO)

LADRILLERA TIKAL												
DESCRIPCIÓN DEL SUELO							MUESTRA					
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA				HIDRÓMETRO			AGENTE DISPERSANTE			CANTIDAD		
0.50 metros aproximado				No. 62969			Hexametáfosfato			125 ml		
GRAVEDAD ESPECÍFICA		A		PESO SUELO Ws(gr)			CORRECCIÓN DE CERO			CORRECCIÓN DEL MENISCO		
2.48		1.04		80.00			3			1		
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN												
FECHA	HORA DE LECTURA	TIEMPO MIN t	TEMP.	CT TABLA	LECTURA REAL HIDRÓMETRO Rreal	LEC. CORREGIDA HIDRÓMETRO Rc	% FINOS	HIDRÓMETRO CORREGIDO MENISCO R	PROFUNDIDAD EFECTIVA L TABLA	Lt	K TABLA	DIÁMETRO MILÍMETRO
05/09/2005	11:27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05/09/2005	11:29	2	23.0	0.70	15.0	12.70	16.56	16.0	13.7	6.6500	0.0139	0.03638
05/09/2005	11:32	5	23.0	0.70	14.0	11.70	15.26	15.0	13.8	2.7600	0.0139	0.02309
05/09/2005	11:42	15	23.0	0.70	12.0	9.70	12.65	13.0	14.2	0.9467	0.0139	0.01352
05/09/2005	11:57	30	24.0	1.00	12.0	10.00	13.04	13.0	14.2	0.4733	0.0137	0.00943
05/09/2005	12:27	60	24.0	1.00	11.0	9.00	11.74	12.0	14.3	0.2383	0.0137	0.00669
05/09/2005	14:27	300	26.0	1.65	7.0	5.65	7.37	8.0	15.0	0.0500	0.0134	0.00300
06/09/2005	11:27	1440	22.0	0.40	7.0	4.40	5.74	8.0	15.0	0.0104	0.0140	0.00143
ANÁLISIS POR TAMICES												
MALLA	ABERTURA mm	PESO BRUTO gr	TARA gr	PESO NETO gr	%	PORCENTAJE DE FINOS						
10	2.000	230.30	171.00	59.30	119.25	25.88						
40	0.425	203.90	171.00	32.90	86.25							
80	0.177	181.60	171.00	10.60	58.38							
200	0.075			20.70	25.88							
GRAFÍA ENSAYO GRANULOMÉTRICO												
DIÁMETRO mm	% QUE PASA	LADRILLERA TIKAL										
2.0000	119.2500											
0.4250	86.2500											
0.1770	58.3750											
0.0750	25.8750											
0.0364	16.5631											
0.0231	15.2589											
0.0135	12.6506											
0.0094	13.0418											
0.0067	11.7376											
0.0030	7.37											
0.0014	5.74											
GRAVA %	0.00											

TABLA LIV. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices.
Ladrillera Tikal (BARRO NEGRO)

LADRILLERA TIKAL													
DESCRIPCIÓN DEL SUELO								MUESTRA					
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 0.50 a 1.50 metros aproximado				HIDRÓMETRO No. 62969				AGENTE DISPERSANTE Hexametáfosfato				CANTIDAD 125 ml	
GRAVEDAD ESPECÍFICA		A		PESO SUELO Ws(gr)				CORRECCIÓN DE CERO		CORRECCIÓN DEL MENISCO			
2.54		1.03		80.00				3		1			
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN													
FECHA	HORA DE LECTURA	TIEMPO MIN t	TEMP.	CT TABLA	LECTURA REAL HIDRÓMETRO R _{real}	LEC. CORREGIDA HIDRÓMETRO R _c	% FINOS	HIDRÓMETRO CORREGIDO MENISCO R	PROFUNDIDAD EFECTIVA L TABLA	Lt	K TABLA	DIÁMETRO MILÍMETRO	
07/09/2005	11:13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
07/09/2005	11:15	2	23.0	0.70	16.0	13.70	17.59	17.0	13.5	6.7500	0.0136	0.03533	
07/09/2005	11:18	5	23.0	0.70	15.0	12.70	16.30	16.0	13.7	2.7400	0.0136	0.02251	
07/09/2005	11:28	15	23.0	0.70	13.0	10.70	13.74	14.0	14.0	0.9333	0.0136	0.01314	
07/09/2005	11:43	30	24.0	1.00	12.0	10.00	12.84	13.0	14.2	0.4733	0.0135	0.00929	
07/09/2005	12:13	60	24.0	1.00	11.0	9.00	11.55	12.0	14.3	0.2383	0.0135	0.00659	
07/09/2005	14:13	300	26.0	1.65	6.0	4.65	5.97	7.0	15.2	0.0507	0.0131	0.00295	
08/09/2005	11:13	1440	22.0	0.40	6.0	3.40	4.36	7.0	15.2	0.0106	0.0138	0.00142	
ANÁLISIS POR TAMICES													
MALLA	ABERTURA mm	PESO BRUTO gr	TARA gr	PESO NETO gr	%	PORCENTAJE DE FINOS							
10	2.000	249.40	190.90	58.50	118.25	26.88							
40	0.425	223.30	190.90	32.40	85.63								
80	0.177	202.10	190.90	11.20	59.13								
200	0.075			21.50	26.88								
GRAFÍA ENSAYO GRANULOMÉTRICO													
DIÁMETRO mm	% QUE PASA	LADRILLERA TIKAL											
2.0000	118.2500												
0.4250	85.6250												
0.1770	59.1250												
0.0750	26.8750												
0.0353	17.5866												
0.0225	16.3029												
0.0131	13.7355												
0.0093	12.8369												
0.0066	11.5532												
0.0029	5.97												
0.0014	4.36												
GRAVA %	0.00												

TABLA LV. Análisis Granulométrico por sedimentación y tamices.
Ladrillera Tikal (ARCILLA)

LADRILLERA TIKAL												
DESCRIPCIÓN DEL SUELO								MUESTRA				
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA 1.50 a 2.50 metros aproximado				HIDRÓMETRO No. 62969		AGENTE DISPERSANTE Hexametáfosfato		CANTIDAD 125 ml				
GRAVEDAD ESPECÍFICA 2.43		A 1.06		PESO SUELO Ws(gr) 80.00		CORRECCIÓN DE CERO 3		CORRECCIÓN DEL MENISCO 1				
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN												
FECHA	HORA DE LECTURA	TIEMPO MIN t	TEMP.	CT TABLA	LECTURA REAL HIDRÓMETRO Rreal	LEC. CORREGIDA HIDRÓMETRO Rc	% FINOS	HIDRÓMETRO CORREGIDO MENISCO R	PROFUNDIDAD EFECTIVA L TABLA	Lt	K TABLA	DIÁMETRO MILÍMETRO
07/09/2005	08:52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/09/2005	08:54	2	22.0	0.40	48.0	45.40	60.04	49.0	8.3	4.1500	0.0143	0.02913
07/09/2005	08:57	5	22.0	0.40	46.0	43.40	57.40	47.0	8.6	1.7200	0.0143	0.01875
07/09/2005	09:07	15	23.0	0.70	43.0	40.70	53.83	44.0	9.1	0.6067	0.0142	0.01106
07/09/2005	09:22	30	23.0	0.70	41.0	38.70	51.18	42.0	9.4	0.3133	0.0142	0.00795
07/09/2005	09:52	60	23.0	0.70	39.0	36.70	48.54	40.0	9.7	0.1617	0.0142	0.00571
07/09/2005	13:52	300	27.0	2.00	33.0	32.00	42.32	34.0	10.7	0.0357	0.0135	0.00255
08/09/2005	08:52	1440	22.0	0.40	31.0	28.40	37.56	32.0	11.1	0.0077	0.0143	0.00126
ANÁLISIS POR TAMICES												
MALLA	ABERTURA mm	PESO BRUTO gr	TARA gr	PESO NETO gr	%	PORCENTAJE DE FINOS						
10	2.000	142.60	128.00	14.60	63.38	81.75						
40	0.425	140.60	128.00	12.60	60.88							
80	0.177	134.70	128.00	6.70	53.50							
200	0.075			65.40	81.75							
GRAFÍA ENSAYO GRANULOMÉTRICO												
DIÁMETRO mm	% QUE PASA	LADRILLERA TIKAL										
2.0000	63.3750											
0.4250	60.8750											
0.1770	53.5000											
0.0750	81.7500											
0.0291	60.0446											
0.0188	57.3995											
0.0111	53.8286											
0.0079	51.1834											
0.0057	48.5383											
0.0025	42.32											
0.0013	37.56											
GRAVA %	0.00											

5.2.2 Características Químicas

La composición química es la propiedad más importante para identificar los minerales de un suelo y para distinguirlos entre sí. El conocimiento de la composición de las arcillas es vital en la evaluación del uso específico.

Para caracterizar químicamente las arcillas, se enviaron muestras de cada una de las fábricas ladrilleras artesanales al laboratorio de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, donde se les solicitó que se determinara el contenido de calcio, magnesio, hierro y aluminio. El contenido de silicio fue determinado en el Laboratorio Técnico de la Sección de Minerales del Ministerio de Energía y Minas.

Se presenta la siguiente tabla con los resultados de los análisis de las muestras; el informe de laboratorio se presenta en el anexo.

Figura 19. Análisis Químicos



Tabla LVI. Análisis Químico (Muestra: Suelo Orgánico)

SUELO ORGÁNICO				
PARÁMETRO	LAD. MORAZÁN	LAD. MAZATECA	LAD. TIKAL	LAD. SÁNCHEZ
Óxido de Calcio	1.65	1.65	2.20	2.47
Óxido de Magnesio	0.59	0.59	0.69	0.89
Óxido de Hierro	2.35	2.35	1.96	1.17
Óxido de Aluminio	4.43	4.92	7.37	1.47
Óxido de Silicio	48.09	51.54	49.21	47.90
Silicio	22.48	24.09	23.00	22.39

Tabla LVII. Análisis Químico (Muestra: Barro Negro)

BARRO NEGRO				
PARÁMETRO	LAD. MORAZÁN	LAD. MAZATECA	LAD. TIKAL	LAD. SÁNCHEZ
Óxido de Calcio	1.83	1.65	2.28	1.65
Óxido de Magnesio	1.36	0.59	0.46	0.59
Óxido de Hierro	1.17	2.35	1.17	2.35
Óxido de Aluminio	6.15	3.94	2.95	9.84
Óxido de Silicio	49.08	52.63	48.17	47.96
Silicio	22.49	24.60	22.52	22.42

Tabla LVIII. Análisis Químico (Muestra: Arcilla)

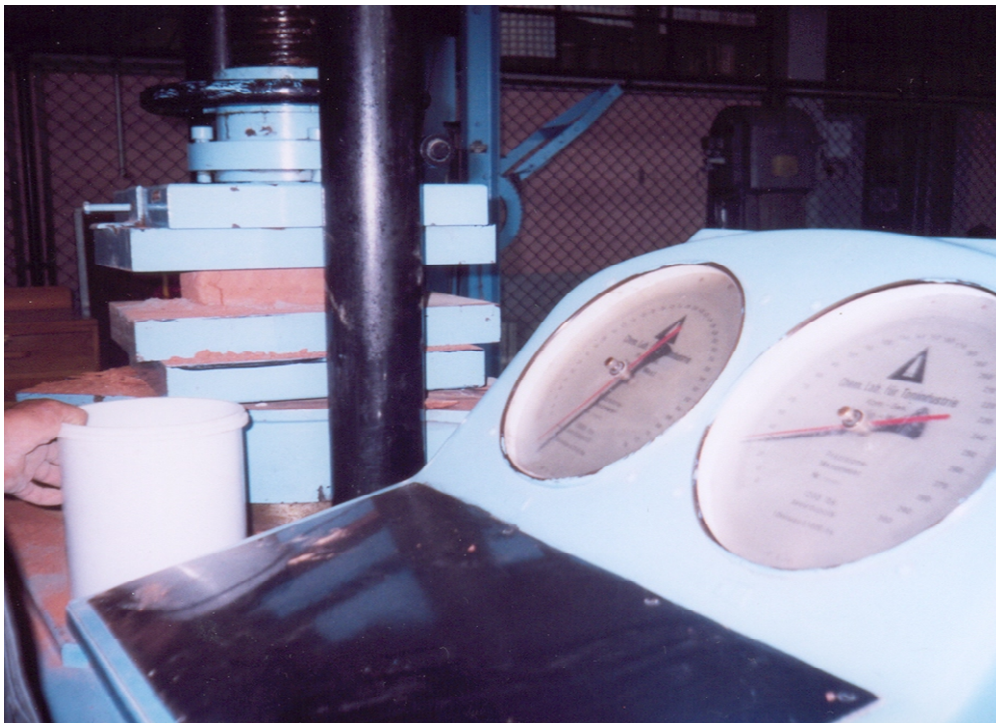
ARCILLA				
PARÁMETRO	LAD. MORAZÁN	LAD. MAZATECA	LAD. TIKAL	LAD. SÁNCHEZ
Óxido de Calcio	2.47	0.83	0.82	0.83
Óxido de Magnesio	1.06	0.59	0.66	0.59
Óxido de Hierro	2.35	2.35	2.35	2.35
Óxido de Aluminio	24.06	10.09	20.38	6.15
Óxido de Silicio	47.71	45.86	45.10	43.55
Silicio	22.30	21.44	21.08	20.36

5.2.3 Propiedades Mecánicas

La determinación de las propiedades mecánicas (% de absorción y resistencia a la compresión) de los ladrillos cocidos fabricados artesanalmente, indicarán la calidad de la pieza como producto final, esto permitirá analizar el proceso de fabricación del ladrillo con el objetivo de poder 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 de cada una de las ladrilleras se tomaron piezas tanto de la parte baja media y alta del horno, para realizarles los ensayos de compresión y % de absorción.

Figura 20. Ensayo a compresión



Se presentan los resultados de los ensayos a compresión y el % de absorción de los ladrillos ensayados. Se utilizó la denominación de cama inferior para las piezas que se colocan en la parte baja del horno, cama media a los colocados en la parte intermedia del horno y cama superior a los ladrillos que están en la parte más alta del horno. Los ensayos fueron efectuados en la sección de Metales y Productos Manufacturados del Centro de Investigaciones de Ingeniería, los informes de los resultados se presentan en el anexo.

Tabla LIX. Ensayos mecánicos Ladrillera Mazateca

LADRILLERA MAZATECA								
Muestra		Largo cms	Ancho cms	Alto cms	Peso Kg.	Esfuerzo a compresión Kg/cm²		Absorción %
						Primero	Último	
Promedio	Cama Inferior	23.20	11.10	5.07	2.02	34.25	41.68	21.55
	Cama Media	23.17	11.27	5.03	1.98	34.37	46.56	22.72
	Cama Superior	23.27	11.13	5.10	2.036	48.87	57.47	24.05

Tabla LX. Ensayos mecánicos Ladrillera Morazán

LADRILLERA MORAZÁN								
Muestra		Largo cms	Ancho cms	Alto cms	Peso Kg.	Esfuerzo a compresión Kg/cm²		Absorción %
						Primero	Último	
Promedio	Cama Inferior	23.17	11.10	5.30	2.04	30.53	63.00	21.74
	Cama Media	23.10	11.20	5.13	1.98	50.56	68.07	23.24
	Cama Superior	23.27	11.23	5.30	2.05	48.36	54.19	22.36

Tabla LXI. Ensayos mecánicos Ladrillera Sánchez

LADRILLERA SÁNCHEZ								
Muestra		Largo cms	Ancho cms	Alto cms	Peso Kg.	Esfuerzo a compresión Kg/cm ²		Absorción %
						Primero	Último	
Promedio	Cama Inferior	23.13	11.27	5.2	2.03	40.56	48.38	20.91
	Cama Media	23.34	11.23	5.17	2.02	38.34	50.54	22.32
	Cama Superior	23.13	11.27	5.17	2.05	31.60	39.97	22.55

Tabla LXII. Ensayos mecánicos Ladrillera Tikal

LADRILLERA TIKAL								
Muestra		Largo cms	Ancho cms	Alto cms	Peso Kg.	Esfuerzo Kg/cm ²		Absorción %
						Primero	Último	
Promedio	Cama Inferior	21.17	11.07	5.17	2.02	71.68	74.43	20.97
	Cama Media	23.30	11.30	5.13	2.03	28.93	47.41	22.24
	Cama Superior	23.20	11.33	5.067	2.03	15.80	26.53	19.81

5.3 Presentación 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 les realizaron a cada una de las muestras de las diferente fábricas artesanales de ladrillos cocidos.

Presentación de resultados de los ensayos, de cada fábrica artesanal:

Tabla LXIII. Resultados de las pruebas de laboratorio
Fábrica Artesanal La Mazateca

LADRILLERA LA MAZATECA			
Análisis	Suelo Orgánico	Barro Negro	Arcilla
Límite Líquido	*****	34.80	34.03
Límite Plástico	*****	24.84	23.38
Índice de Plasticidad	*****	9.96	10.64
Gravedad Específica	2.33	2.37	2.46
% de Finos	23.88	55.25	58.50
% de Arcilla	6.50	34.00	27.50
% de Limos	17.38	21.25	31.00
% de Arena	76.13	44.75	41.50
Óxido de Calcio %	1.65	1.65	0.83
Óxido de Magnesio %	0.59	0.59	0.59
Óxido de Hierro %	2.35	2.35	2.35
Óxido de Aluminio %	4.92	3.94	10.09
Óxido de Silicio %	51.54	52.63	45.86
Características del Ladrillo como Producto Final			
% Absorción		22.77	
Resistencia Kg/cm²	Primera	39.16	
	Máxima	48.57	

Tabla LXIV. Resultados de las pruebas de laboratorio
Fábrica Artesanal Morazán

LADRILLERA MORAZÁN			
Análisis	Suelo Orgánico	Barro Negro	Arcilla
Límite Líquido	34.88	33.05	32.92
Límite Plástico	26.94	20.49	22.41
Índice de Plasticidad	7.93	12.56	10.51
Gravedad Específica	2.42	2.45	2.39
% de Finos	43.25	53.75	61.00
% de Arcilla	17.50	20.70	15.75
% de Limos	25.75	33.05	45.25
% de Arena	56.75	46.25	39.00
Óxido de Calcio %	1.65	1.83	2.47
Óxido de Magnesio %	0.59	1.36	1.06
Óxido de Hierro %	2.35	1.17	2.35
Óxido de Aluminio %	4.43	6.15	24.06
Óxido de Silicio %	48.09	49.08	47.71
Características del Ladrillo como Producto Final			
% Absorción	22.45		
Resistencia Kg/cm²	Primera	43.15	
	Máxima	61.75	

Tabla LXV. Resultados de las pruebas de laboratorio
Fábrica Artesanal Sánchez

LADRILLERA SÁNCHEZ			
Análisis	Suelo Orgánico	Barro Negro	Arcilla
Límite Líquido	26.28	28.57	48.86
Límite Plástico	23.91	23.41	30.54
Índice de Plasticidad	2.37	5.16	18.32
Gravedad Específica	2.49	2.54	2.43
% de Finos	30.00	44.50	75.00
% de Arcilla	7.80	12.50	22.00
% de Limos	22.20	32.00	53.00
% de Arena	70.00	55.50	25.00
Óxido de Calcio %	2.47	1.65	0.83
Óxido de Magnesio %	0.89	0.59	0.59
Óxido de Hierro %	1.17	2.35	2.35
Óxido de Aluminio %	1.47	9.84	6.15
Óxido de Silicio %	47.90	47.96	43.55
Características del Ladrillo como Producto Final			
% Absorción	21.93		
Resistencia Kg/cm²	Primera	36.83	
	Máxima	46.30	

Tabla LXVI. Resultados de las pruebas de laboratorio
Fábrica Artesanal Sánchez

LADRILLERA TIKAL			
Análisis	Suelo Orgánico	Barro Negro	Arcilla
Límite Líquido	*****	*****	46.64
Límite Plástico	*****	*****	25.08
Índice de Plasticidad	*****	*****	21.56
Gravedad Específica	2.48	2.50	2.48
% de Finos	25.88	26.88	81.75
% de Arcilla	10.20	9.75	47.00
% de Limos	15.68	17.13	34.75
% de Arena	74.13	73.13	18.25
Óxido de Calcio %	2.20	2.28	0.82
Óxido de Magnesio %	0.89	0.46	0.66
Óxido de Hierro %	1.17	1.17	2.35
Óxido de Aluminio %	1.47	2.95	20.38
Óxido de Silicio %	47.39	48.17	45.10
Características del Ladrillo como Producto Final			
% Absorción		21.00	
Resistencia Kg/cm²	Primera	38.80	
	Máxima	49.46	

Recopilación de los datos obtenidos de las pruebas de laboratorio, realizando una evaluación comparativa entre las cuatro fábricas artesanales.

Tabla LXVII. Resultados de los ensayos por tipo de suelo de cada fábrica artesanal (Suelo Orgánico)

MUESTRA SUELO ORGÁNICO				
Análisis	Ladrillera La Mazateca	Ladrillera Morazán	Ladrillera Sánchez	Ladrillera Tikal
Límite Líquido	*****	34.88	26.28	*****
Límite Plástico	*****	26.94	23.91	*****
Índice de Plasticidad	*****	7.93	2.37	*****
Gravedad Específica	2.33	2.42	2.49	2.48
% de Finos	23.88	43.25	30.00	25.88
% de Arcilla	6.50	17.50	7.80	10.20
% de Limos	17.38	25.75	22.20	15.68
% de Arena	76.13	56.75	70.00	74.13
Óxido de Calcio %	1.65	1.65	2.47	2.20
Óxido de Magnesio %	0.59	0.59	0.89	0.89
Óxido de Hierro %	2.35	2.35	1.17	1.17
Óxido de Aluminio %	4.92	4.43	1.47	1.47
Óxido de Silicio %	51.54	48.09	47.90	47.39

Tabla LXVIII. Resultados de los ensayos por tipo de suelo de cada fábrica artesanal (Barro Negro)

MUESTRA BARRO NEGRO				
Análisis	Ladrillera La Mazateca	Ladrillera Morazán	Ladrillera Sánchez	Ladrillera Tikal
Límite Líquido	34.80	33.05	28.57	*****
Límite Plástico	24.84	20.49	23.41	*****
Índice de Plasticidad	9.96	12.56	5.16	*****
Gravedad Específica	2.37	2.45	2.54	2.50
% de Finos	55.25	53.75	44.50	26.88
% de Arcilla	34.00	20.70	12.50	9.75
% de Limos	21.25	33.05	32.00	17.13
% de Arena	44.75	46.25	55.50	73.13
Óxido de Calcio %	1.65	1.83	1.65	2.28
Óxido de Magnesio %	0.59	1.36	0.59	0.46
Óxido de Hierro %	2.35	1.17	2.35	1.17
Óxido de Aluminio %	3.94	6.15	9.84	2.95
Óxido de Silicio %	52.63	49.08	47.96	48.17

Tabla LXIX. Resultados de los ensayos por tipo de suelo de cada fábrica artesanal (Arcilla)

MUESTRA ARCILLA				
Análisis	Ladrillera La Mazateca	Ladrillera Morazán	Ladrillera Sánchez	Ladrillera Tikal
Límite Líquido	34.03	32.92	48.86	46.64
Límite Plástico	23.38	22.41	30.54	25.08
Índice de Plasticidad	10.64	10.51	18.32	21.56
Gravedad Específica	2.46	2.39	2.43	2.48
% de Finos	58.50	61.00	75.00	81.75
% de Arcilla	27.50	15.75	22.00	47.00
% de Limos	31.00	45.25	53.00	34.75
% de Arena	41.50	39.00	25.00	18.25
Óxido de Calcio %	0.83	2.47	0.83	0.82
Óxido de Magnesio %	0.59	1.06	0.59	0.66
Óxido de Hierro %	2.35	2.35	2.35	2.35
Óxido de Aluminio %	10.09	24.06	6.15	20.38
Óxido de Silicio %	45.86	47.71	43.55	45.10

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

Características del Ladrillo como Producto Final			
Fábrica	% Absorción	Resistencia Kg/cm²	
		Primera	Máxima
Ladrillera Mazateca	22.77	39.16	48.57
Ladrillera Morazán	22.45	43.15	61.75
Ladrillera Sánchez	21.93	36.83	46.30
Ladrillera Tikal	21.00	38.80	49.46

5.4 Análisis e interpretación de resultados

La denominación que utilizan los artesanos de la región del Tejar, Chimaltenango para nombrar los suelos que conforman la mezcla para la fabricación del ladrillo cocido, es la misma con que se nombró a cada una de las muestras (suelo orgánico, barro negro y arcilla) de las diferentes fábricas artesanales. A través del análisis e interpretación de cada uno de los ensayos realizados a las muestras, se nombran correctamente los diferentes suelos 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, los suelos se caracterizan de la siguiente manera:

Tabla LXXI. Caracterización de los suelos utilizados en la mezcla del ladrillo Fábrica Artesanal Mazateca

Ladrillera Mazateca		
Denominación Artesanal	Denominación de acuerdo a sus características físicas	
Suelo Orgánico	Arena Limpia	Poco o nada de partículas finas. Carece de plasticidad. % de arena mayor del 50% (76.13)
Barro Negro	Limo Arcilloso	Medianamente Plásticos
Arcilla	Arcillas Limosa	Medianamente Plásticos

Fuente: Sistema unificado de calcificación de suelos.

Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Ing. Carlos Crespo

Tabla LXXII. Caracterización de los suelos utilizados en la mezcla del ladrillo Fábrica Artesanal Morazán

Ladrillera Morazán		
Denominación Artesanal	Denominación de acuerdo a sus características físicas	
Suelo Orgánico	Limos Inorgánicos	Medianamente Plásticos
Barro Negro	Arcillas Limosa	Medianamente Plásticos
Arcilla	Limo Arcilloso	Medianamente Plásticos

Tabla LXXIII. Caracterización de los suelos utilizados en la mezcla del ladrillo Fábrica Artesanal Sánchez

Ladrillera Sánchez		
Denominación Artesanal	Denominación de acuerdo a sus características físicas	
Suelo Orgánico	Arena Limosa	Baja Plasticidad. % de arena mayor del 50% (70%)
Barro Negro	Arcilla Arenosa	Baja Plasticidad.
Arcilla	Arcillas Limosa	Alta Plasticidad

Tabla LXXIV. Caracterización de los suelos utilizados en la mezcla del ladrillo Fábrica Artesanal Tikal

Ladrillera Tikal		
Denominación Artesanal	Denominación de acuerdo a sus características físicas	
Suelo Orgánico	Arena Limpia	Poco o nada de partículas finas. Carece de plasticidad. % de arena mayor del 50% (74.13)
Barro Negro	Arena con Finos	Cantidad apreciable de partículas finas. Carece de plasticidad
Arcilla	Arcillas Inorgánica	Alta Plasticidad

De acuerdo a la composición química de las muestras de cada uno de los suelos y los resultados del ensayo de la gravedad específica, se denominan de la siguiente manera:

Tabla LXXV. Caracterización según composición química y gravedad específica Fábrica Artesanal Mazateca

Ladrillera Mazateca				
Denominación Artesanal	Gravedad Específica	Color	Composición Química	Nombre
Suelo orgánico	2.33	Café oscuro	Óxido de sílice y aluminio	Suelo Sílico-alumínico
Barro Negro	2.37	Café oscuro	Alto contenido de óxido de silicio y hierro	Arcilla Férrica Oscura
Arcilla	2.46	Café Claro	Alto contenido de óxido de silicio y aluminio	Arcilla Sílico-alumínica

Tabla LXXVI. Caracterización según composición química y gravedad específica Fábrica Artesanal Morazán

Ladrillera Morazán				
Denominación Artesanal	Gravedad Específica	Color	Composición Química	Nombre
Suelo orgánico	2.42	Café	Óxido de silicio y óxido de hierro	Suelo orgánico
Barro Negro	2.45	Café oscuro	Alto contenido de óxido de silicio y aluminio	Arcilla Sílico-alumínico
Arcilla	2.39	Café oscuro	Alto contenido de óxido de silicio	Arcilla Arenosa

Tabla LXXVII. Caracterización según composición química y gravedad específica Fábrica Artesanal Sánchez

Ladrillera Sánchez				
Denominación Artesanal	Gravedad Específica	Color	Composición Química	Nombre
Suelo orgánico	2.49	Café claro	Alto contenido de sílice y muy poco aluminio	Suelo silíceo
Barro Negro	2.5	Café	Alto contenido de aluminio	Arcilla alumínica
Arcilla	2.48	Beige	Alto contenido de óxido de silicio y bajo aluminio	Arcilla Silícica

Tabla LXXVIII. Caracterización según composición química y gravedad específica Fábrica Artesanal Tikal

Ladrillera Tikal				
Denominación Artesanal	Gravedad Específica	Color	Composición Química	Nombre
Suelo orgánico	2.48	Café claro	Alto contenido de sílice y aluminio	Suelo Alumínico
Barro Negro	2.54	Café	Alto contenido de óxido de silicio	Arcilla Silícica
Arcilla	2.43	Café oscuro	Alto contenido de óxido de silicio y aluminio	Arcilla Oscura

Tabla LXXIX. Características del ladrillo como producto final

Características del Ladrillo como Producto Final			
Fábrica	% Absorción	Resistencia Kg/cm²	
		Primera	Máxima
Ladrillera Mazateca	22.77	39.16	48.57
Ladrillera Morazán	22.45	43.15	61.75
Ladrillera Sánchez	21.93	36.83	46.30
Ladrillera Tikal	21.00	38.80	49.46

CONCLUSIONES

1. No puede determinarse por simple inspección visual, si el tipo de arcilla que se extrae de los bancos de materiales, es el adecuado para formar parte de la mezcla con la que se fabrica el ladrillo artesanal, debe someterse a una serie de ensayos físicos, ensayos mecánicos y análisis químico para determinar sus características y propiedades.
2. No existe un control de calidad en la producción del ladrillo artesanal, se realiza de manera empírica, utilizando los métodos heredados de generación tras generación, esto provoca que no se ofrezca al usuario un producto de confianza, uniforme, de propiedades químicas y físicas fijas con formas y acabados definidos.
3. Los bancos de materiales del Tejar Chimaltenango de las diferentes ladrilleras artesanales, están ubicados en la misma área; esto hace que los diferentes suelos que se utilizan en la fabricación del ladrillo cocido tengan características tanto físicas como mecánicas similares.
4. La relación existente entre el límite líquido y el índice plástico ofrece una gran información acerca de la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla.

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

6. Las normas establecen parámetros que permiten aprobar el uso del material para la fabricación del ladrillo, pero eso no significa que los materiales con dichas características tengan un comportamiento idéntico a materiales que hayan sido ensayados con anterioridad, pues, es necesario realizar análisis de forma constante.

7. Los suelos que tienen un alto contenido de óxido de hierro tienden a tomar un color rojizo más oscuro durante la cocción.

8. Con la determinación de las características de los suelos que utilizan los artesanos en la fabricación del ladrillo, se establece una proporción adecuada de la mezcla, para ofrecer un producto de calidad que se utilizará en la construcción.

9. El color y calidad de los ladrillos varían según la clase de arcilla empleada en su elaboración.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que en cada una de las fábricas productoras de ladrillos cocidos tipo artesanal, se den controles de calidad en todo su proceso de producción, para obtener un producto competitivo dentro del campo de la construcción.
2. Realizar ensayos físicos y mecánicos a los suelos que se extraen de los distintos bancos de materiales para determinar sus características y, de esta forma, establecer una mezcla con porcentajes ideales para la producción del ladrillo cocido.
3. 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.
4. Introducir nuevas técnicas para la fabricación del ladrillo artesanal, haciendo uso de los mismos recursos existentes en las fábricas ladrilleras.
5. Implementación de lineamientos prácticos y accesibles, que se adapten en lo posible a las normas de fabricación de ladrillos cocidos.
6. Establecer un control de calidad en todas las etapas de producción del ladrillo cocido, orientando al fabricante a seguir criterios prácticos para la obtención de un mejor producto.

REFERENCIAS

1. Frederick S. Merritt. Jonathan T. Rickettes. **Manual integral para diseño y construcción.** (5ª Edición; Colombia: Editorial McGRAW-HILL 1997) p. 4.29
2. Donald R. Askeland. **La ciencia e ingeniería de los materiales.** (México: Grupo Editorial Iberoamérica, S.A. de C.V. 1987) p.229
3. Spingler, Karl. **Manual de técnica ladrillera.** (Madrid-España: Editorial Reverte, 1954) pp. 322-329
4. García Rodríguez, Carlos Humberto. **Productos manufacturados y derivados del cemento en la construcción, tecnología y ensayos.** (Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1971) p. 66
5. Océano Centrum. **Biblioteca atrium de la construcción.** (Barcelona-España: Océano Grupo Editorial, S.A.) pp. 34-36

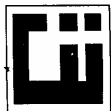
BIBLIOGRAFÍA

1. Galan Huertos, E. **Arcillas**. España: Textos Universitarios (C.S.I.C), 1990. 130pp.
2. González, I. **Arcillas comunes**. España: Textos Universitarios (C.S.I.C), 1990. 112pp
3. Jiménez Salas, J. A. **Geotecnia y Cimientos**. España: Editorial Rueda, 1975. 466pp.
4. Karl, Spingler. **Manual de técnicas ladrilleras**. Madrid-España: Editorial Reverte, 1954. 348pp.
5. Karl, Spingler. **Defectos en la fabricación ladrillos** Madrid-España: Editorial Reverte, 1954. 299pp.
6. F. Singer. **Enciclopedia de la química industrial**. España: Editorial URMO, 1971. 420pp
7. Bowles, Joseph E. **Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil**. Bogota-Colombia: Editorial McGRAW-HILL, 1981. 220pp
8. Crespo Villalaz, Carlos. **Mecánica de Suelos y Cimentaciones**. 4ª ed. Mexico: Editorial Limusa, S.A. de C.V. 1998. 640pp
9. Bolger, R. **Industrial Minerals in Pharmaceuticals**. España: Editorial August, 1995. 98pp.

ANEXOS

A continuación se presentan los resultados de los ensayos mecánicos (ensayo a compresión y porcentaje de absorción), realizados en la sección de Metales y Productos Manufacturados del Centro de Investigación de Ingeniería (CII); indicando la resistencia que los ladrillos fabricados artesanalmente presentan al ser sometidos a cierta cantidad de carga y la capacidad de absorción del material.

Se muestran los resultados del análisis químico efectuado a cada uno de los suelos que componen la mezcla del ladrillo. Los análisis del contenido de óxido de calcio, óxido de aluminio, óxido de hierro y óxido de magnesio fueron realizados en el laboratorio de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) y el resultado del análisis de óxido de silicio fue obtenido de la sección de Minerales del Ministerio de Energía y Minas.



O.T. No. 18227

INFORME No. 34-M

INTERESADO: NORMA LISSETTE ZEA OSORIO
PROYECTO: CARACTERIZACION DE LAS ARCILLAS PARA LA
FABRICACION DE LADRILLOS ARTESANALES.
ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION
FECHA: GUATEMALA, 09 DE FEBRERO DE 2005.

Antecedentes

La estudiante **Norma Lissette Zea Osorio**, con carne **96-16043** de la carrera de Ingeniería civil, solicito a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara ensayo a compresión a ladrillos de barro cocido, los ensayos en cuestión son parte de su trabajo de tesis "**Caracterización de las Arcillas para la Fabricación de Ladrillos Artesanales**".

Resultados

Ladrillera Morazán

Camara Inferior

Muestra	Largo cms	Ancho cms	Alto cms	Peso Kg.	Esfuerzo kg/cm ²		% de absorción
					Primera	ultimo	
01	23.0	11.1	5.3	2.050	***	63.97	21.58
02	23.2	11.1	5.3	1.992	***	74.52	21.35
03	23.3	11.1	5.3	2.082	30.53	49.72	22.29

Camara Media

Muestra	Largo cms	Ancho cms	Alto cms	Peso Kg.	Esfuerzo kg/cm ²		% de absorción
					Primera	ultimo	
04	23.2	11.3	5.0	1.992	55.82	65.41	23.59
05	23.1	11.2	5.2	1.990	53.10	66.38	23.06
06	23.0	11.1	5.2	1.965	42.76	72.43	23.06

Camara Superior

Muestra	Largo cms	Ancho cms	Alto cms	Peso Kg.	Esfuerzo kg/cm ²		% de absorción
					Primera	ultimo	
07	23.2	11.3	5.5	2.139	54.75	58.89	22.03
08	23.4	11.2	5.3	2.007	50.28	52.80	22.17
09	23.2	11.2	5.1	1.995	40.05	50.90	22.89





O.T. No. 18227

INFORME No. 886-M

INTERESADO: NORMA LISSETTE ZEA OSORIO
PROYECTO: CARACTERIZACION DE LAS ARCILLAS PARA LA
FABRICACION DE LADRILLOS ARTESANALES.

LADRILLERA MAZATECA

CAMA INFERIOR

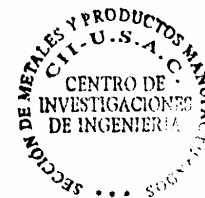
Muestra	Largo cms	Ancho cms	Alto cms	Peso Kg.	Esfuerzo kg/cm ²		% de absorción
					Primera	ultimo	
10	23.1	11.1	5.1	2.035	**	40.57	21.58
11	23.2	11.2	5.0	2.050	**	43.36	21.45
12	23.3	11.0	5.1	1.964	34.25	41.10	21.63

CAMA MEDIA

Muestra	Largo cms	Ancho cms	Alto cms	Peso Kg.	Esfuerzo kg/cm ²		% de absorción
					Primera	ultimo	
13	23.2	11.3	5.0	1.973	32.76	47.88	22.48
14	23.1	11.2	5.1	1.953	33.63	41.19	22.62
15	23.2	11.3	5.0	2.023	36.73	50.61	23.05

CAMA SUPERIOR

Muestra	Largo cms	Ancho cms	Alto cms	Peso Kg.	Esfuerzo kg/cm ²		% de absorción
					Primera	ultimo	
16	23.2	11.1	5.2	2.044	44.41	49.74	24.41
17	23.1	11.3	5.0	2.038	**	60.30	23.88
18	23.5	11.0	5.1	2.027	53.34	62.36	23.87





O.T. No. 18227

INFORME No. 886-M

INTERESADO: NORMA LISSETTE ZEA OSORIO
PROYECTO: CARACTERIZACION DE LAS ARCILLAS PARA LA
FABRICACION DE LADRILLOS ARTESANALES.

LADRILLERA TIKAL

CAMA INFERIOR

Muestra	Largo cms	Ancho cms	Alto cms	Peso Kg.	Esfuerzo kg/cm ²		% de absorción
					Primera	ultimo	
19	23.0	11.0	5.2	2.060	70.64	74.00	20.80
20	23.4	11.2	5.1	2.025	***	73.27	21.08
21	23.1	11.0	5.2	1.962	72.72	76.02	21.03

CAMA MEDIA

Muestra	Largo cms	Ancho cms	Alto cms	Peso Kg.	Esfuerzo kg/cm ²		% de absorción
					Primera	ultimo	
22	23.4	11.3	5.0	2.050	31.44	44.01	22.39
23	23.2	11.2	5.1	1.975	39.10	46.93	22.09
24	23.3	11.4	5.3	2.057	16.24	51.30	22.23

CAMA SUPERIOR

Muestra	Largo cms	Ancho cms	Alto cms	Peso Kg.	Esfuerzo kg/cm ²		% de absorción
					Primera	ultimo	
25	23.2	11.4	5.0	2.025	0.843	20.23	20.12
26	23.3	11.2	5.1	2.031	18.79	27.24	19.37
27	23.1	11.4	5.1	2.027	27.77	32.11	19.95





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



O.T. No. 18227

INFORME No. 886-M
INTERESADO: NORMA LISSETTE ZEA OSORIO
PROYECTO: CARACTERIZACION DE LAS ARCILLAS PARA LA
FABRICACION DE LADRILLOS ARTESANALES.

LADRILLERA SANCHEZ

CAMA INFERIOR

Muestra	Largo cms	Ancho cms	Alto cms	Peso Kg.	Esfuerzo kg/cm ²		% de absorción
					Primera	ultimo	
28	23.0	11.2	5.1	1.997	42.88	47.47	21.01
29	23.3	11.3	5.2	1.988	44.82	58.61	20.95
30	23.2	11.3	5.3	2.106	33.98	39.07	20.77

CAMA MEDIA

Muestra	Largo cms	Ancho cms	Alto cms	Peso Kg.	Esfuerzo kg/cm ²		% de absorción
					Primera	ultimo	
31	23.3	11.2	5.3	2.043	10.81	39.08	22.18
32	23.6	11.4	5.1	2.025	56.93	61.18	22.46
33	23.2	11.1	5.1	2.006	47.29	51.36	22.33

CAMA SUPERIOR

Muestra	Largo cms	Ancho cms	Alto cms	Peso Kg.	Esfuerzo kg/cm ²		% de absorción
					Primera	ultimo	
34	23.1	11.3	5.2	2.054	40.79	45.89	22.56
35	23.2	11.2	5.1	2.023	19.03	30.27	22.55
36	23.1	11.3	5.2	2.087	34.99	43.74	22.55

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

/cbr

Atentamente,

Vo.Bo.
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR C.I.I.





O.T No. 18340

No. Informe Lab. 3-05

Interesado: Norma Zea Osorio
Muestra: 12 muestras de suelo arcilloso
Fecha: 16 de febrero de 2005

Evaluación del porcentaje de óxido de calcio, óxido de magnesio, óxido de hierro y óxido de aluminio por método complexométrico, de muestras de suelos arcillosos.

LADRILLERA MORAZAN

PARAMETRO	MUESTRA*		
	Suelo orgánico	Barro Negro	Arcilla
Óxido de calcio CaO (%)	1.65	1.83	2.47
Óxido de magnesio MgO (%)	0.59	1.36	1.06
Óxido de hierro Fe ₂ O ₃ (%)	2.35	1.17	2.35
Óxido de aluminio Al ₂ O ₃ (%)	4.43	6.15	24.06

*Muestra proporcionada por el interesado.

Pag. 1 de 3



O.T No. 18340

No. Informe Lab. 3-05

LADRILLERA MAZATECA

PARAMETRO	MUESTRA*		
	Suelo orgánico	Barro Negro	Arcilla
Óxido de calcio CaO (%)	1.65	1.65	0.83
Óxido de magnesio MgO (%)	0.59	0.59	0.59
Óxido de hierro Fe ₂ O ₃ (%)	2.35	2.35	2.35
Óxido de aluminio Al ₂ O ₃ (%)	4.92	3.94	10.09

*Muestra proporcionada por el interesado.

LADRILLERA TIKAL

PARAMETRO	MUESTRA*		
	Suelo orgánico	Barro Negro	Arcilla
Óxido de calcio CaO (%)	2.20	2.28	0.82
Óxido de magnesio MgO (%)	0.69	0.46	0.66
Óxido de hierro Fe ₂ O ₃ (%)	1.96	1.17	2.35
Óxido de aluminio Al ₂ O ₃ (%)	7.37	2.95	20.38

*Muestra proporcionada por el interesado.

Pag. 2 de 3

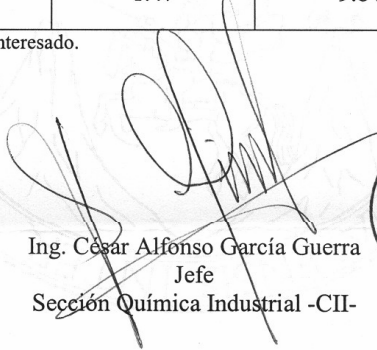


O.T No. 18340
No. Informe Lab. 3-05

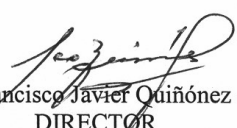
LADRILLERA SÁNCHEZ

PARAMETRO	MUESTRA*		
	Sueio orgánico	Barro Negro	Arcilla
Óxido de calcio CaO (%)	2.47	1.65	0.83
Óxido de magnesio MgO (%)	0.89	0.59	0.59
Óxido de hierro Fe ₂ O ₃ (%)	1.17	2.35	2.35
Óxido de aluminio Al ₂ O ₃ (%)	1.47	9.84	6.15

*Muestra proporcionada por el interesado.


Ing. César Alfonso García Guerra
Jefe
Sección Química Industrial -CII-




Vo.Bo. Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR
Centro de Investigaciones de Ingeniería - CII -

Pag. 3 de 3

RESULTADOS DE ANÁLISIS

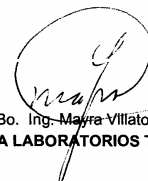
MUESTRAS: 12 Suelos
 PRESENTADAS POR: Norma Zea Osorio
 ANALISTA: Byron Rosales
 FECHA: 17-03-05

DESCRIPCION	SILICIO	
	SI	SiO ₂
Ladrillera Morazán (barro negro)	22.94	49.08
Ladrillera Morazán (arcilla losa)	22.30	47.71
Ladrillera Morazán (suelo orgánico)	22.48	48.09
Ladrillera Tikal (suelo orgánico)	23.00	49.21
Ladrillera Tikal (barro negro)	22.52	48.17
Ladrillera Tikal (arcilla losa)	21.08	45.10
Ladrillera Mazateca (suelo orgánico)	24.09	51.54
Ladrillera Mazateca (barro negro)	24.60	52.63
Ladrillera Mazateca (arcilla losa)	21.44	45.86
Ladrillera Sánchez (suelo orgánico)	22.39	47.90
Ladrillera Sánchez (barro negro)	22.42	47.96
Ladrillera Sánchez (arcilla losa)	20.36	43.55

Notas: Técnica de análisis: Espectrometría de absorción atómica
 Los resultados se obtuvieron en forma elemental y por estequiometría se trasladaron a sus respectivos óxidos. Esta conversión no garantiza que el elemento se encuentre presente en forma oxidada.
 La técnica utilizada es específica para concentraciones bajas, para concentraciones altas existe la tendencia a que se incremente el error, por lo que los resultados son bastante aproximados.


 Ing. Bertoldo Benzo
 SECCION DE MINERALES




 Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro
 COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.