



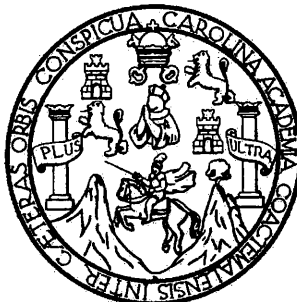
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

## **METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE MEZCLAS PARA PISOS DE VIVIENDA DEL ÁREA RURAL**

**Revi Balencia del Cid Cruz**  
Asesorado por el Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz

Guatemala, noviembre de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE MEZCLAS PARA  
PISOS DE VIVIENDA DEL ÁREA RURAL**

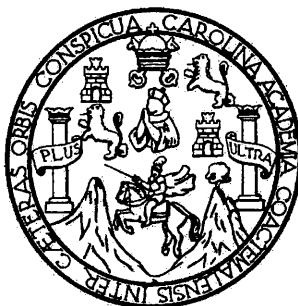
TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**REVI BALENCIA DEL CID CRUZ**  
ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑONEZ DE LA CRUZ  
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE MEZCLAS PARA PISOS DE VIVIENDA DEL ÁREA RURAL,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 16 de febrero de 2009.



Revi Balencia del Cid Cruz





Guatemala, 27 de octubre de 2 009

Ingeniero  
Sydney Alexander Samuels Milson  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

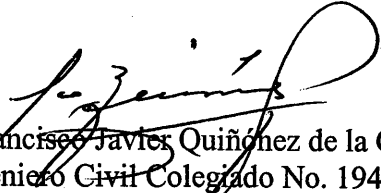
Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“Metodología de elaboración y evaluación de mezclas para pisos de vivienda del área rural”**, realizado por el estudiante universitario **Revi Balencia del Cid Cruz**, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **del Cid Cruz**, cumple con los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Ingeniero Civil Colegiado No. 1941  
Asesor

Cc archivo



Guatemala, 27 de octubre de 2 009

Ingeniero  
Sydney Alexander Samuels Milson  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

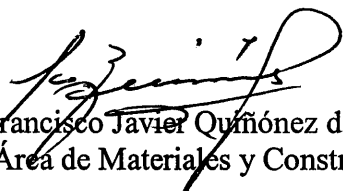
Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“Metodología de elaboración y evaluación de mezclas para pisos de vivienda del área rural”**, realizado por el estudiante universitario **Revi Balencia del Cid Cruz**, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **del Cid Cruz**, cumple con los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. Francisco Javier Quirón de la Cruz  
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

Cc archivo



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Revi Balencia del Cid Cruz, titulado **METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE MEZCLAS PARA PISOS DE VIVIENDA DEL ÁREA RURAL**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Mgter. Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, noviembre 2009

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE MEZCLAS PARA PISOS DE VIVIENDA DEL AREA RURAL**, presentado por el estudiante universitario **Revi Balencia del Cid Cruz**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, noviembre de 2009

/cc

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	III
<b>GLOSARIO</b>	VII
<b>RUSUMEN</b>	IX
<b>OBJETIVOS</b>	XI
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XIII
<b>1. GENERALIDADES</b>	1
1.1 Antecedentes históricos	4
1.1.1 Piso de suelo cemento	9
1.1.2 Piso de piedra bola con suelo-cal	9
1.1.3 Piso de tierra apisonada	9
1.1.4 Piso de suelo-cal	10
<b>2. PARTE TEÓRICA</b>	11
2.1 Sistema constructivo	11
2.1.1 Suelo estable	11
2.1.2 Estabilización mecánica de un suelo	12
2.1.3 Estabilización química de un suelo	15
2.2 Definición de cal	17
2.3 La cal como agente estabilizador	18
2.4 La estabilización con cal	20
<b>3. PARTE EXPERIMENTAL</b>	23
3.1 Localización de bancos de materiales	26
3.2 Características de los materiales	29
3.2.1 Análisis granulométrico	29
3.2.2 Límites de Atterberg	33
3.2.3 Gravedad específica	38

3.2.4.	Ensayo de compactación	40
3.2.5.	Estimación de pH	43
3.3	Caracterización de mezclas	45
3.3.1.	Esfuerzo a compresión	48
3.4	Elaboración de muestras de piso	50
3.4.1	Ensayo de adherencia	52
3.4.2	Ensayo de impacto	55
3.4.3	Ensayo de permeabilidad	57
3.4.4	Ensayo de absorción	59
<b>4.</b>	<b>SISTEMA CONSTRUCTIVO</b>	<b>61</b>
4.1.	Tecnología de piso seleccionado para aplicación	61
4.1.1.	Preparación del terreno	62
4.1.2.	Preparación de los materiales	64
4.1.3.	Aplicación del Piso	66
4.2.	Evaluación y extracción de testigos del piso	72
<b>5.</b>	<b>RESUMEN DE RESULTADOS</b>	<b>75</b>
<b>6.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>85</b>
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>89</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>91</b>
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>93</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>95</b>
	<b>APÉNDICE</b>	<b>97</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Evaluación de las viviendas en las aldeas	24
2.	Entrevista con los pobladores en las aldeas	24
3.	Piso de piedra existente en aldea El Tule	25
4.	Piso de granito existente en aldea El Tule	25
5.	Piso de tierra existente en aldea El Tule	26
6.	Piso de tierra existente en aldea La Brea	26
7.	Extracción de muestra de materiales Los Pósitos	28
8.	Extracción de muestra de materiales La Brea	28
9.	Lavado de suelo para ensayo de granulometría	31
10.	Colocación de muestra de suelo en tamices	31
11.	Tamizado de material	32
12.	Pesado de material retenido por tamiz	33
13.	Muestra de suelo lista para ensayo de plasticidad	34
14.	Ensayo de límite líquido	35
15.	Muestra de materiales colocados en horno	36
16.	Elaboración de cilindros para límite plástico	37
17.	Cilindros en tarros colocados en el horno	38
18.	Matraz más materia más agua, granulometría	39
19.	Peso de matraz con agua y suelo	40
20.	Equipo para ensayo de compactación	41
21.	Preparación de mezcla	42
22.	Compactación de las capas ensayo de proctor	43
23.	Equipo para calcular el pH de las mezclas	44
24.	Calentamiento de agua para cálculo de pH	45
25.	Elaboración de mezclas para cilindros	47
26.	Probetas para ensayo de esfuerzo a compresión	48

27.	Maquina para ensayo de esfuerzo a compresión	49
28.	Probeta centrada, presentando primer falla	49
29.	Falla total por la aplicación de carga a compresión	50
30.	Croquis de las mezclas elaboradas en laboratorio	51
31.	Placas pegadas a las probetas listas para ensayo	52
32.	Mecanismo de aplicación de carga para ensayo	53
33.	Desprendimiento del acabado en la unión con la base	54
34.	Desprendimiento de la capa con el acabado	55
35.	Equipo para ensayo de impacto	56
36.	Probeta después del impacto	56
37.	Falla después del impacto en la probeta	57
38.	Sistema para determinar la permeabilidad de los acabados	58
39.	Filtración de agua en uno de los acabados	58
40.	Limpieza y preparación del terreno	62
41.	Nivelación del terreno con manguera	63
42.	Terreno limpio y nivelado listo para aplicación	63
43.	Arcilla y selecto pasado por arnero	64
44.	Arcilla, selecto y cal listo para mezclar	65
45.	Forma correcta de revolver los materiales	65
46.	Mezcla humedecida hasta llegar a la humedad	66
47.	Mezcla colocada en área para nivelación y compactación	67
48.	Compactación de la capa base	67
49.	Nivelación de la mezcla ya compactada	68
50.	Material pasado por arnero para segunda capa	69
51.	Material preparado y listo para aplicación	69
52.	Aplicación de segunda capa	70
53.	Textura del piso sin acabado final	70
54.	Preparación de material para la capa final	71
55.	Aplicación de la tercera capa, acabado final	71
56.	Equipo utilizado para extracción de testigos	72
57.	Testigo extraído para determinar porcentaje de humedad	73
58.	Gráfica porcentaje de cal versus pH	78



59.	Gráfica de Proctor, El Cuje	110
60.	Gráfica de Proctor, La Brea	112
61.	Gráfica de Proctor, El Guayabal	114

## TABLAS

I	Clasificación de los departamentos de Guatemala	2
II	Material predominante en el piso según departamento	7
III	Caracterización de mezclas, porcentaje de cal y cemento	46
IV	Caracterización de mezclas, porcentaje de ceniza y arena	46
V	Mezclas sin contenido de cal ni cemento	46
VI	Descripción de las muestras de pisos	51
VII	Resultados de ensayos realizados a muestras de, El Tule	75
VIII	Resultados de ensayos realizados a muestras de, La Brea	76
IX	Resultados de ensayos realizados a Los Pósitos	76
X	Determinación del pH de varios bancos de material	77
XI	Resultado de ensayo de esfuerzo a compresión	79
XII	Resultado de ensayo de adherencia	80
XIII	Resultado de ensayo de impacto	81
XIV	Resultado de ensayo de permeabilidad	82
XV	Resultado de ensayo de absorción	83
XVI	Determinación de porcentaje de humedad, La Brea	84
XVII	Determinación de porcentaje de humedad, El Tule	84
XVIII	Determinación de granulometría, El Cuje	99
XIX	Determinación de granulometría, La Tejera	100
XX	Determinación de granulometría, El Guayabal	101
XXI	Determinación de granulometría, Los Pósitos	102
XXII	Determinación de límites de Atterberg, El Cuje	103
XXIII	Determinación de Límites, La Tejera	104
XXIV	Determinación de Límites, El Guayabal	105
XXV	Determinación de Gravedad Específica, El Tule	107

XXVI	Determinación de Gravedad Específica, La Tejera	107
XXVII	Determinación de Gravedad Específica, El Guayabal	108
XXVIII	Determinación de Gravedad Específica, Los Pósitos	108
XXIX	Determinación de Proctor, El Cuje	109
XXX	Determinación de Proctor, La Tejera	111
XXXI	Determinación de Proctor, El Guayabal	113
XXXII	Determinación del pH	115
XXXIII	Descripción de los materiales usados en capa base	117
XXXIV	Descripción de los materiales usados en segunda capa	117
XXXV	Descripción de los materiales usados capa de acabado	117

## GLOSARIO

<b>ALCALINO</b>	Son aquellos metales que están situados en el grupo IA de la tabla periódica (excepto el Hidrógeno que es un gas).
<b>APISONADA</b>	Apretar y allanar la tierra u otra superficie por medio de una apisonadora o de una máquina parecida.
<b>BACHADA</b>	Parte de los lineamientos de control de calidad para los materiales que se utilizarán en una construcción.
<b>BAJAREQUE</b>	Pared de palos entre tejidas con cañas y barro.
<b>BASALTO</b>	De color oscuro, es la roca más abundante en la corteza terrestre, formada por enfriamiento rápido del magma expulsado del manto por los volcanes.
<b>COHESIVO</b>	Que produce una unión entre dos elementos, por ejemplo, el pegamento.
<b>COLOIDE</b>	Es un sistema físico-químico formado por dos fases: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas.

<b>ENJUTAMIENTO</b>	Cuando el agua falta en el subsuelo, los interfectos se convierten en vacíos y genera un asentamiento en la parte superficial.
<b>FALLA</b>	Es una discontinuidad que se forma en las superficiales por fractura, cuando las fuerzas aplicadas superan la resistencia de las superficies.
<b>MORTERO</b>	Mezcla de conglomerantes inorgánicos, áridos y agua, y también, posibles aditivos.
<b>PIROCLASTICO</b>	Este fenómeno se produce cuando líquido con alto contenido en gases (por ejemplo dióxidos, sulfuros o vapor de agua) se enfría y descomprime al alcanzar la superficie durante una erupción.
<b>RECINTO</b>	Espacio comprendido dentro de ciertos límites.
<b>REVOQUE</b>	Se emplea para revestir todo tipo de estructuras, paramentos, o cualquier otro elemento al que se tenga que incrementar su resistencia o estabilidad.

## RESUMEN

En Guatemala existe un alto porcentaje de viviendas en el área rural que no cuentan con los medios y recursos suficientes para adquirir la implementación de pisos manufacturados, por lo tanto, sabiendo que el piso juega un papel importante en la salud de las personas surge la necesidad de crear esta alternativa que permita a la población del área rural el desarrollo e implementación de pisos utilizando los recursos disponibles en el lugar que habitan.

El trabajo de graduación es el resultado de un proyecto de investigación enfocado en la mejora de viviendas para el área rural. Se hace énfasis en el diseño de una metodología de elaboración y evaluación de mezclas para pisos de tierra estabilizados con cal.

Se describe el procedimiento necesario para la construcción de este, como también las condiciones a las cuales esta sujeto para tener las distintas mezclas y proporciones adecuadas para un mejor rendimiento y resultados.

En este proyecto se involucró el conocimiento empírico y se trató de validarlo con el apoyo del conocimiento científico. Se estudiaron los materiales y la metodología a lo largo de un año siete meses, exponiéndolos a distintas condiciones del clima. Se evaluó principalmente la resistencia y el comportamiento expuesto al uso diario en una vivienda y a todos los factores que con este lleva.



## OBJETIVOS

- **GENERAL:**

Proponer un método de elaboración y evaluación de pisos para viviendas, construidos con suelo estabilizado con cal.

- **ESPECÍFICOS:**

1. Determinar una metodología de piso que cumpla con los requerimientos necesarios y se adapte a las necesidades primordiales de las viviendas del área rural del país.
2. Conocer las características físicas y mecánicas de los suelos obtenidos de las aldeas La Brea y El Tule, Quezada, Jutiapa, para la elaboración de la metodología piso de tierra estabilizado con cal.
3. Realizar diferentes tipos de mezclas con combinaciones de materiales para lograr determinar cuál de ellas cumple con los requerimientos necesarios para la construcción del piso tierra-cal.
4. Comparar los resultados de las pruebas de laboratorio para determinar el grado de mejoramiento en la calidad de los suelos estabilizados en relación al suelo natural.
5. Conocer el impacto que tiene la metodología propuesta en lo que se refiere a mejora de viviendas y salubridad de las personas.





## INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una gran variedad de pisos en el mercado local, que van desde simples baldosas de cemento líquido hasta de planchas de mármol y otros materiales igualmente sofisticados, como los mosaicos de madera y alfombras.

Estos sistemas constructivos varían en su costo y en la forma de su instalación, pero la situación económica y los escasos recursos del mayor porcentaje de viviendas del área rural no permiten la implementación de ellos.

Este proyecto ha sido orientado a los hogares cuyos habitantes son de escasos recursos económicos, y que no está dentro de sus posibilidades comprar e instalar un sistema de piso de los que se consideran más baratos dentro del mercado local.

El presente consta de la metodología y evaluación de un sistema de piso, a base de tierra estabilizada con cal. El cual se llevó a cabo por medio de recopilación de datos bibliográficos y de campo, obtenidos con la colaboración de los habitantes de las aldeas El Tule y La Brea, Quezada, Jutiapa, por medio de encuestas, inspección visual y entrevistas con los pobladores.

Se estudiaron todos aquellos factores, que de una manera u otra están involucrados con la elaboración del piso, como agentes biológicos, medio ambiente, ámbito social y la salubridad de las personas.

Para el desarrollo del proyecto se hicieron estudios de los materiales obtenidos provenientes de las aldeas, realizando ensayos como; granulometría, límites de Atterberg, gravedad específica, ensayo de compactación, ensayo de compresión, que son explicados detalladamente mas adelante, y sirven para determinar el mejoramiento al momento de hacer la estabilización con cal, así también la estabilización mecánica, como es la compactación.

Analizando los resultados obtenidos de los ensayos anteriormente mencionados, se establece que la metodología propuesta es un sistema económico, no requiere de mano de obra especializada, servicio de transporte, ni de la compra de materiales ajenos al lugar, si no de la utilización de recursos humanos y materiales locales.

Se concluye que el piso es uno de los elementos más importantes dentro de toda edificación, ya que está sometido directamente al tránsito de personas, mobiliario y equipo. Que tiene un impacto de gran intensidad en la salud de las personas y en su habitad social.

## 1. GENERALIDADES

El marco de referencia en que se encuentra la tipología de la vivienda está en función de los recursos disponibles y las características del país en el orden cultural, social y económico, incluyendo desde luego las diferencias existentes en los tipos de clima, recursos hídricos, ecológicos y tipos de suelos, conforme cambia la altitud, zona vegetativa, morfología del terreno, etc.

Guatemala está dividida en ocho regiones, las cuales abarcan varios departamentos, esta regionalización fue realizada con base a razones históricas, étnicas y facilidad de comunicación. Se cuenta con 20,485 lugares poblados.<sup>1</sup>

A estas regiones se puede asignar un número y los departamentos que lo conforman, clasificándose también por la localización cardinal dentro del mapa de Guatemala (ver tabla I).

---

<sup>1</sup> Censo Nacional Instituto Nacional de Estadística, (INE). 2,002.

**Tabla I. Clasificación de los departamentos de Guatemala por regiones**

REGION	DEPARTAMENTOS
Región I	La ciudad de Guatemala
Región II (Norte)	Baja Verapaz y Alta Verapaz
Región III (Nororiente)	El progreso, Izabal, Zacapa y Chiquimula
Región IV (Suroriente)	Santa Rosa, Jalapa y Jutiapa
Región V (Central)	Sacatepequez, Escuintla y Chimaltenango
Región VI (Suroccidente)	Sololá, Totonicapán, Quetzaltenango, Suchitepequez, Retahuleu y San Marcos
Región VII (Noroccidental)	Huehuetengo y Quiché
Región VIII (Petén)	Petén

**Fuente: Instituto Nacional de Estadística, INE.**

El Instituto Nacional de Estadística estima que aproximadamente 50% de hogares del área metropolitana de Guatemala y 60% de otros centros urbanos habitan en asentamientos en condiciones deficientes y en el área rural al menos el 80% de los hogares habitan en condiciones precarias en cuanto a seguridad en la tenencia de servicios básicos y equipamiento social.

Para clasificar la vivienda según las regiones propuestas y la tipología, se procedió a dividir la vivienda, según la definición del Instituto Nacional de Estadística.

Casa formal: es todo recinto separado e independiente que fue construido, adaptado o dispuesto al alojamiento de uno o más hogares y que al momento del censo no se utiliza totalmente para otros fines.

Se caracteriza porque la construcción se encuentra rodeada de paredes divisorias, muros, cercas, jardines o terrenos que separan una casa de otra.

Corresponde también a este tipo de locales aquellos que tienen un techo único para dos o más viviendas contiguas, y que asimismo cuentan con servicios exclusivos de agua, electricidad y servicio sanitario.

Apartamento: conjunto de cuartos que forman parte de un edificio de dos o más pisos y se encuentra separado de otros apartamentos similares por paredes divisorias que van desde el piso hasta el techo. Se caracteriza por tener acceso a través de un área común y cuenta con servicios exclusivos de agua, electricidad y servicios sanitarios.

Cuarto de vecindad: local de habitación construido, adaptado o dispuesto, para el alojamiento de tantos hogares como cuartos tenga dicho edificio. Cada cuarto se caracteriza por tener una entrada directa desde un pasillo, patio, corredor, etc. Generalmente estos locales de habitación cuentan con servicio colectivo de agua, servicio sanitario y baño. Un hogar puede ocupar uno o más de éstos cuartos, en cuyo caso se considera al conjunto de cuartos ocupados por este hogar, como un solo local de habitación.

Rancho: local de habitación con uno o más cuartos que generalmente ha sido construido con materiales naturales de origen local, las paredes son de bajareque, barro, corteza, palo o caña y el techo de paja, palma o similares, con piso de tierra.

Casa improvisada: aquella construcción independiente de carácter provisional, construida con materiales de desecho (plástico, cartón, madera, lámina de cinc, etc.), sin un plan preconcebido para servir de habitación a uno o más hogares.

En el caso de los pisos, se pretende que de las propuestas surjan ideas y métodos constructivos que se pueden ir perfeccionando de unas comunidades a otras a través de la experiencia de los constructores.

Esto para dar una respuesta digna y efectiva a las necesidades de habitabilidad de los ranchos y casas de estar, que son las que en su mayoría cuentan con piso de tierra.

### **1.1 Antecedentes históricos**

El piso es un sistema de revestimiento que conforma el suelo transitable de cualquier espacio construido, se apoyan sobre elementos estructurales sensiblemente horizontales, como los terrenos estabilizados, soleras y losas.<sup>2</sup>

Las principales funciones que desempeñan son el aislamiento y la ornamentación, pero al mismo tiempo deben resistir las abrasiones y los punzonamientos (esfuerzos cortantes) producidos por el paso de personas o mobiliarios, la caída de objetos y la compresión de los elementos que se apoyan.

---

<sup>2</sup>Evaluación de un Sistema de Piso de Tierra Apisonada Estabilizada con Cal. Dumas, Gustavo Adolfo, Guatemala, julio 1,990.

Además, muchos pisos tienen que ser inmunes a la acción de agentes químicos, como agua, aceites, sales o ácidos, a las agresiones de seres vivos e incluso a la propia luz solar.

Los pisos se pueden clasificar, atendiendo al método de construcción, en continuos y discontinuos.

Los pisos continuos, se definen como los que se extienden en grandes superficies, suelen fabricarse con piedras artificiales como morteros hidráulicos, hormigones o gravas asfaltadas, todos ellos monolíticamente. Entre los más comunes se encuentran los pisos industriales de hormigón, recubrimientos asfálticos de carreteras, etc.

Los pisos discontinuos o modulares, por el contrario, abarcan toda la variedad conocida de materiales, la piedra natural y artificial, los adoquinados, los pisos de baldosas, los de chapas de acero o los de cemento líquido.

La construcción de viviendas ha empleado a lo largo de la historia múltiples pisos con carácter decorativo. Uno de los medios más comunes ha sido utilizar grandes losas de piedras ornamentales como mármol, laja, basalto o jaspe.

En la actualidad cuando se habla sobre piso, se entiende que es una superficie terminada, con textura y apariencia cómoda de una vivienda o edificación.

El piso es un tema al que se le ha dado una atención diferente en comparación con otros elementos que forman la construcción y la habitabilidad de una vivienda, debido al impacto que tiene en la salud y bienestar de las personas.

Desde el punto de vista arquitectónico, se dice que el piso no es un elemento que incide directamente en el cerramiento del objeto arquitectónico.

Desde el punto de vista de ingeniería, el piso juega un papel predominante en la vivienda, la resistencia es el principal requerimiento de un sistema constructivo de piso, para lo cual se debe tomar en cuenta la estética y la economía. Una de las alternativas para la fabricación de sistemas de piso monolíticos es usar los materiales predominantes en el lugar, por ejemplo, la tierra.

Cuando se construye una vivienda con materiales locales, por ejemplo con adobe, la utilización que se le da a la tierra sobrante como resultado de las excavaciones y de los movimientos para nivelar el terreno, es la de relleno y construcción de piso. Muchas veces esta tierra no es la adecuada, debido a que en ella se está mezclando la tierra superficial que tiene alto contenido de materia orgánica.

Las técnicas de construcción no son las adecuadas, este problema es ligado con el bajo presupuesto con que se cuenta en las viviendas rurales, a tal punto que en algunos casos se puede ver claramente la humedad ascendente del terreno natural hacia la capa final del piso, las fallas prematuras en los pisos mal compactados, y el desgaste cuando se barre.



En el tipo de vivienda de rancho y casa provisional, clasificado por el Instituto Nacional de Estadística, se cuenta principalmente con piso de tierra, que en la mayoría de los casos es el terreno natural. Y con grandes ventajas pero siendo poco utilizados los pisos de ladrillo cerámico, pisos de madera, pisos de cemento líquido, baldosa de barro cocido, entre otros.

**Tabla II. Material predominante en el piso según departamento**

Departamento	Total de Viviendas	% Material predominante en el piso							
		Ladrillo cerámico	Ladrillo de Cemento	Ladrillo de Barro	Torta de Cemento	Entarimado	Madera	Tierra	Otro
Guatemala	619,636	13,3	36,8	0,42	28,3	0,19	0,3	7,35	13,34
El Progreso	36209	3,02	17,83	0,9	41,42	0,02	0,37	18,45	17,99
Sacatepéquez	54414	6,92	18	1,21	48,98	0,15	0,29	8,66	15,79
Chimaltenango	93655	3,25	15,73	0,72	40,1	0,46	0,48	25,96	13,3
Escuintla	129208	3,45	11	0,3	56,09	0,19	0,48	13,1	15,39
Santa Rosa	74458	2,3	16,33	0,91	36,03	0,11	0,25	26,22	17,85
Sololá	62890	2,71	9,15	0,59	36,87	0,048	0,49	34,52	15,62
Totonicapán	75502	1,91	5,86	0,64	22,71	0,026	0,54	45,28	23,03
Quetzaltenango	143085	5,42	15,56	0,44	39,1	0,06	0,35	18,45	20,62
Suchitepéquez	90628	2,78	8,17	0,29	46,32	0,05	0,39	27,22	14,78
Retalhuleu	54720	4,56	7,89	0,26	43,08	0,09	0,53	28,4	15,19
San Marcos	177946	2,07	5,04	0,24	31,88	0,07	0,7	37,13	22,87
Huehuetenango	196257	1,9	6,37	0,53	20,92	0,05	0,68	42,1	27,45
Quiché	140046	0,78	3,87	0,39	15,39	0,02	0,73	57,83	20,99
Baja Verapaz	52980	1,22	4	0,63	28,97	0,07	0,39	43,02	21,7
Alta Verapaz	149996	1,14	5,01	0,12	19,61	0,03	0,9	61,21	11,98
Petén	81652	1,72	3,5	0,15	29,31	0,04	1,41	46,26	17,61
Izabal	76572	2,93	8,22	0,29	43,03	0,09	2,02	25,36	18,06
Zacapa	49958	2,89	9,63	1,37	49,66	0,11	0,2	19,48	16,66
Chiquimula	69507	2,75	15,01	0,86	24,33	0,02	0,28	40,77	15,98
Jalapa	54139	1,36	18,61	1,28	12,58	0,01	0,4	49,37	16,39
Jutiapa	94807	2,17	26,71	1,53	20,59	0,05	0,26	31,9	16,79

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, INE.

Esto se debe principalmente al alza de los materiales y al bajo poder adquisitivo de las personas en el área rural. Estos datos se pueden apreciar claramente (ver tabla II), en donde se cuenta con información del material utilizado como piso en viviendas provisionales y ranchos.

Los pisos al igual que otros elementos que forman parte de una vivienda, deben cumplir con ciertos requisitos o características, que los hacen elementos necesarios y de suma importancia para mejorar la calidad de vida de las personas.

- Comodidad al caminar.
- Temperatura cómoda.
- Protección contra insectos.
- Protección contra la humedad.
- Resistencia a la flexión.
- Resistencia al impacto.
- Resistencia al desgaste.

Además de tener una buena apariencia y ser un elemento decorativo.

El suelo natural no cumple con estas características, por lo cual se mencionan algunos tipos de pisos de bajo costo a base de tierra, que pueden ser usados en la vivienda rural, donde se parte de la idea principal que es la economía y satisfacción del usuario.

### **1.1.1 Pisos de suelo cemento.**

En los pisos de este tipo, el material predominante es la tierra, pues en la mezcla que forma el suelo cemento existen proporciones de 1:7 hasta 1:16, lo cual indica que la tierra es el mayor componente. La tierra que será usada, debe ser de excavación y no superficial, dado que esta última tiene un alto contenido de materia orgánica.

### **1.1.2 Piso de piedra bola con suelo-cal**

Este piso es sin duda uno de los más resistentes a las fuerzas de abrasión y punzonamientos producidos por el uso continuo. Y se puede fabricar de manera económica. Los materiales que se usan son; piedra bola de río con diámetro de 4 cm, cal y material o suelo seleccionado.

### **1.1.3 Piso de tierra apisonada.**

El sistema de piso de mayor uso en Guatemala es el sistema de tierra compactada, o apisonada, el cual no requiere de una tecnología elevada para su elaboración. Por ejemplo, en la construcción con adobe y otras viviendas rurales económicas, el piso que usan es simplemente la tierra que se encuentra en el lugar, dicha tierra se le agrega cierta humedad y luego se apisona para que con el paso del tiempo, el tráfico a que es sometido, y el desgaste debido al uso, tienda a formar una superficie plana, libre de polvo y de aspecto resistente.

El uso que frecuentemente se le da a este piso es para los interiores y exteriores de viviendas, siendo más frecuente y más notorio en cocinas y corredores.

#### **1.1.4 Piso de suelo-cal**

Entre los sistemas constructivos de pisos recomendados para la construcción de la vivienda económica, se encuentra este tipo de piso ya que resulta muy eficiente y económico, pues en el se presenta la utilización de un estabilizador de bajo costo como la cal hidratada, en conjunto con los siguientes materiales, arena de río o ceniza volcánica (puzolana o selecto), arcilla y agua.

Este último proceso, es en el cual esta enfocado el presente trabajo de graduación ya que la finalidad es buscar el método más práctico y económico para ser aplicado en las viviendas del área rural.

## **2. PARTE TEÓRICA**

### **2.1 Sistema constructivo**

El sistema constructivo enfocado desde un punto de vista general, representa el conjunto de procedimientos teóricos empleados para la elaboración de ésta clase de pisos de una manera sencilla y racional, los cuales pueden resumirse y describirse como sigue.

#### **2.1.1 Suelo estable**

Cuando un suelo presenta suficiente resistencia para no sufrir deformaciones ni desgastes inadmisibles por la acción del uso o de los agentes atmosféricos y conserva además esta condición bajo los efectos climatológicos normales de la localidad se dice que el suelo es estable.<sup>3</sup>

La estabilización de los suelos también se puede lograr por medio de diferentes métodos entre los que se puede mencionar:

- Estabilización mecánica.
- Estabilización física.
- Estabilización química.
- Estabilización físico química.
- Mixta

<sup>3</sup> Tesis Sistema Constructivo de Piso Tierra-Cal, Wayne Albert Farrington Acuña, marzo de 1,987.

De los métodos ya mencionados, solo se tomarán en cuenta para este trabajo dos de ellos que son: la Estabilización Mecánica y la Estabilización Química.

### **2.1.2 Estabilización mecánica de un suelo**

Este método comprende dos procedimientos para mejorar las características del suelo.

- Reordenamiento de las partículas del suelo.
- Adición o remoción de las partículas del suelo.

El primero se conoce como compactación y consiste en un mejoramiento artificial de las propiedades de los suelos, por medios mecánicos, incrementando la resistencia y disminuyendo la capacidad de deformación. Esta última se obtiene al someter el suelo a técnicas adecuadas que aumentan su peso específico seco y disminuyen sus vacíos.

La compactación se produce de varias maneras, a) Reorientando las partículas del suelo; b) Por la fractura de los granos o de las ligaduras entre ellos seguida por reorientación, y c) Por la flexión o distorsión de las partículas y sus capas absorbidas.

En términos generales, existen dos clases de suelo, los cohesivos y los no cohesivos. En un suelo cohesivo la compactación está acompañada principalmente por distorsión y reorientación, las cuales son resistidas por las fuerzas atractivas de la cohesión.

A medida que la humedad del suelo aumenta, la cohesión disminuye, la resistencia se hace menor, y el esfuerzo más efectivo. En un suelo no cohesivo, o en una roca partida, la compactación del suelo se logra principalmente por la reorientación de los granos, aunque la apertura de los granos en los puntos de contacto es algunas veces un factor secundario, pero que no por esto, deja de tener importancia. La reorientación es resistida por el rozamiento entre partículas. La tensión capilar de la película de humedad entre los granos aumenta la presión de contacto y por lo tanto la fricción, a medida que la humedad aumenta, la tensión capilar disminuye y el esfuerzo de compactación se hace más efectivo.

Los métodos usados para la compactación de los suelos, dependen del tipo de materiales con los que se trabaje en cada caso; por ejemplo, para materiales puramente friccionantes como la arena, ésta se compacta eficientemente por métodos vibratorios, en tanto que para los suelos plásticos el procedimiento de carga estática resulta más ventajoso.

Los factores más importantes de la compactación de un suelo son: a) El contenido de agua del suelo antes de iniciarse el proceso de compactación y b) la energía específica empleada en dicho proceso.

El segundo método se denomina; Estabilización de Mezcla de Suelos. El principio básico consiste en el mejoramiento del suelo por el cambio de granulometría y tiene como objeto mezclar dos o más suelos naturales para obtener un material compuesto que sea superior a cualquiera de sus componentes, sin embargo, debe incluirse la adición de roca triturada o escoria y la tamización del suelo para remover las partículas de mayor tamaño.

Existen dos procedimientos por medio de los cuales se llega a la estabilización del suelo mediante mezclas del mismo. El primero de ellos involucra el concepto de graduación ideal y se explica así; una cantidad de partículas grandes son arregladas en su estado más denso y las que la siguen en tamaño se agrupan dentro de los espacios existentes entre granos. La teoría indica que, si este proceso se continuara indefinidamente, se obtendría al final una masa óptima, sólida y resistente. Sin embargo, cuando las partículas que se involucran son de distinta forma, el concepto de graduación ideal se torna inaplicable, por lo que será necesario hacer una distribución de los suelos para llevar a cabo una mezcla ideal.

El segundo procedimiento es el concepto de agregado ligador, en el cual, se considera al suelo formado por dos componentes así; el agregado compuesto de granos grandes, y el ligador que consiste en el grano fino y las arcillas.

Se pretende que el agregado sea compactado en su estado más denso, para luego llenar los espacios existentes entre dichos granos con el ligador compactado y producir la máxima densidad. El papel que juega cada uno de estos elementos es el siguiente. El agregado proporciona la fricción interna y la incompresibilidad que idealmente consiste en partículas fuertes, angulosas y bien graduadas; y el ligante por su parte, proporciona la cohesión y la impermeabilidad, debiendo tener suficiente plasticidad para producir gran cohesión, pero no tanta que sea expansivo.



### **2.1.3 Estabilización química de un suelo**

Los estabilizantes químicos pueden ser de naturaleza orgánica o inorgánica. Los segundos a su vez pueden subdividirse en estabilizantes de tipo ácido, de tipo neutral y de tipo alcalino. El primero y el tercero de estos grupos actúan atacando químicamente los componentes del suelo, especialmente los minerales de arcilla, que durante la reacción producen compuestos nuevos de naturaleza cementante, además, los estabilizantes neutros alteran principalmente las propiedades físicas del suelo como el peso volumétrico.

El cometido más importante de los estabilizantes químicos lo constituye la reducción del agua contenida entre las partículas del suelo, aumentando así el número de vacíos y facilitando grandemente la compactación.

El agua absorbida es uno de los más graves componentes para la estabilización de los suelos. Esta agua no puede ser extraída por medios mecánicos, ya que existen películas de agua adheridas a las superficies de los coloides, con una fuerza que en ocasiones, sobrepasa las diez mil atmósferas. El aumento o disminución de esta agua es decisivo para la unión de las partículas del suelo.

En general puede decirse que no todos los suelos pueden ser utilizados debido a que los estabilizantes químicos actúan exclusivamente sobre la fracción de elementos finos como lo son las arcillas o limos.

Entre los elementos químicos utilizados comúnmente para la estabilización de los suelos se encuentran los siguientes:

- Acido fosfórico y fosfatos
- Hidróxido de sodio (sosa cáustica)
- Resinas y polímeros
- Silicato de sodio
- Sulfatos de calcio (yeso) y cloruro de calcio
- Cemento
- Cal

Siendo así, éste último el elemento químico utilizado para la estabilización de suelos para piso, enfocado en el presente trabajo.

Unos de los materiales mas usados para pisos en Guatemala, se conoce con el nombre de Talpetate, el cual es un producto de arena limo-arcillosa de color café claro y también, es el resultado de la intemperización de suelos conformados de arena pómez de origen piroclástico muy abundante en la franja central de Guatemala.

En una forma general se puede decir que la arena no es apropiada para construir si se usa como un material solo. El barro arenoso y el arcillo-arenoso, son apropiados para apisonados y construcción con bloques cuando estos son prensados y hechos a maquina. La arcilla-arenosa es apropiada para adobes, la arcilla limosa, y las tierras arcillosas son apropiadas para construcción, siempre y cuando se usen mezclas adecuadas.

Generalmente la fuerza compresiva de los materiales secos preparados con tierra se debe a la proporción de arcilla, mientras que la arena reduce el enjutamiento y la formación de grietas.

Una tierra que contenga menos del 70% de arena no es muy apropiada para apisonado, o la preparación de bloques con máquina, y si el contenido de arena es menor del 60%, esta tierra no debe usarse para tal propósito. Si el contenido de arena es entre el 50% y 60%, la tierra será adecuada para la preparación de adobes únicamente.

## **2.2 Definición de cal**

Para el tratamiento de suelos se puede utilizar cal viva (óxido de calcio – CaO), cal hidratada (hidróxido de calcio – Ca[OH]2) o una lechada de cal.<sup>4</sup>

La cal viva se produce de la transformación química del carbonato de calcio (piedra caliza – CaCO<sub>3</sub>) en óxido de calcio. La cal hidratada se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua. La cal hidratada (hidróxido de calcio) es la que reacciona con las partículas arcillosas y las transforma permanentemente en una fuerte matriz cementante.

La cal más utilizada para el tratamiento de suelos es la cal alta en calcio, que contiene un máximo de 5% de óxido o hidróxido de magnesio. Sin embargo, en algunas ocasiones se utiliza cal dolomítica. La cal dolomítica contiene de 35 a 46% de óxido o hidróxido de magnesio. Con la cal dolomítica se puede lograr la estabilización, aunque la fracción de magnesio reacciona más lentamente que la fracción de calcio.

---

<sup>4</sup> Manual de Estabilización de Suelo Tratado con Cal, enero 2004

Algunas veces el término “cal” se utiliza para referirse a la cal agrícola que, por lo general, es piedra caliza finamente molida, un útil correctivo agrícola que no tiene la suficiente reactividad química para lograr la estabilización del suelo.

Otras veces el término “cal” es utilizado para referirse a los subproductos del proceso de fabricación de cal (como el polvo de horno de cal), que, aunque contienen alguna cal reactiva, generalmente sólo posee una fracción del óxido o el contenido de hidróxido del producto fabricado. En este trabajo, "cal" significa cal viva, cal hidratada, o la lechada de cal hidratada.

La cal hidratada es procesada en fábrica y se ofrece ya afinada y viene en bolsas de 50 libras. La cal viva se vende por quintal y para poder emplearla para la estabilización de suelos para pisos es necesario triturarla e hidratarla previamente, a este proceso se le denomina podrir la cal, y se logra mediante la adición de agua ya sea por aspersion, fusión o inmersión, durante el periodo de por lo menos 72 horas. Mientras mayor tiempo se conserve este material en proceso de hidratación, mejores serán los resultados.

### **2.3 La cal como agente estabilizador**

La cal, sola o en combinación con otros materiales, puede ser utilizada para tratar una gama de tipos de suelos. Las propiedades mineralógicas de los suelos determinarán su grado de reactividad con la cal y la resistencia final que las capas estabilizadas desarrollarán.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Manual de Estabilización de Suelo Tratado con Cal, enero 2,004

En general, los suelos arcillosos de grano fino (con un mínimo del 25% que pasa el tamiz 200 -75 $\mu$ m- y un Índice de Plasticidad mayor que 10) se consideran buenos candidatos para la estabilización. Los suelos que contienen cantidades significativas de material orgánico (mayor que 1 por ciento) o sulfatos (mayor que el 0.3 por ciento) pueden requerir cal adicional y/o procedimientos de construcción especiales.

La estabilización del suelo cambia considerablemente las características del mismo, produciendo resistencia y estabilidad a largo plazo, en forma permanente, en particular en lo que concierne a la acción del agua.

La cal puede estabilizar permanentemente el suelo fino empleado como una sub-base, para crear una capa con un valor estructural significativo en un sistema de construcción. Los suelos tratados pueden ser del lugar o bien, de materiales de préstamo. La estabilización de la sub-base por lo general implica mezcla en el lugar y generalmente requiere la adición de cal de 3% a 6% en peso del suelo seco.

La cal puede estabilizar permanentemente materiales que no cumplen con las características mínimas para funcionar como una base (como la grava con arcilla, gravas "sucias", o bases contaminadas en general) que contienen al menos el 50 por ciento de material grueso retenido en la malla o tamiz No. 4. La estabilización de bases es utilizada para la construcción de caminos o para bases de pisos. La cal también se usa para mejorar las características de las mezclas de suelo y agregados en "el reciclaje de espesor completo".

## 2.4 La estabilización con cal

No todos los suelos son apropiados para la hechura de pisos de tierra estabilizados con cal. Los mas adecuados son los que tienen entre 55% a 75% de arena y entre 25% a 45% de finos (limos y arcillas). El porcentaje de arcilla debe variar entre 15% a 18%; además, no deben tener material orgánico ni sales en un porcentaje mayor del 0.3%.<sup>4</sup>

En suelos con materiales de base arcillosa, lo apropiado para su estabilización es la cal, en virtud de que su reacción química y física al mezclarse con la arcilla da por resultado un material estable óptimo para ser usado en la pavimentación de calles, avenidas, bulevares, áreas de estacionamiento, patios, centros comerciales y aeropuertos o cualquier superficie donde se quieran evitar hundimientos debido a la naturaleza arcillosa del terreno.

La cal hidratada es el agente estabilizador que se ha usado más profusamente a través de la historia, pero solo recientemente se han hecho estudios científicos relacionados a su empleo como estabilizador de suelos y se han cuantificados sus magníficos resultados.

Cuando se tiene arcillas muy plásticas se puede disminuir dicha plasticidad y consecuentemente los cambios volumétricos de la misma asociados a la variación en los contenidos de humedad con el solo hecho de agregarle una pequeña proporción de cal.

---

<sup>4</sup> Manual de Estabilización de Suelo Tratado con Cal, enero 2,004

Este es un método económico para disminuir la plasticidad de los suelos y darle un aumento en la resistencia. Los porcentajes por agregar varían del 2 al 6% con respecto al suelo seco del material para estabilizar, con estos porcentajes se consigue estabilizar la actividad de las arcillas obteniéndose un descenso en el índice plástico y un aumento en la resistencia.

Es recomendable no usar más del 6%, ya que con esto se aumenta la resistencia pero también se observa un incremento en la plasticidad. Los estudios que se deben realizar a suelos estabilizados con cal son: límites de Atterberg, granulometría, valor cementante, equivalente de arena, compresión.

Se ha determinado que al mezclar la arcilla con cal apagada los iones de calcio sustituyen algunos iones metálicos presentes en la película de agua que rodea a la partícula de arcilla y que son responsables de los cambios volumétricos, además, si el suelo tratado contiene suficiente sílice y alúmina estos pueden reaccionar formando silicatos de calcio y alúmina. Estos silicatos tienen un gran poder cementante, lo que implica que al agregar cal también se logra aumentar la resistencia del suelo.

Como se especifica anteriormente, la dosificación dependerá del tipo de arcilla, se agregará de 1% al 6% de cal por peso seco. Este porcentaje debe determinarse en el laboratorio, pero lo más común en la mayoría de los casos se requiere de un porcentaje cerca del 3%.

Cuando se añaden las cantidades adecuadas de cal y agua, el pH del suelo aumenta rápidamente arriba de 10.5, lo que permite romper las partículas de arcilla.

La determinación de la cantidad de cal necesaria es parte del proceso de diseño y se estima por pruebas como la de Eades y Grim (ASTM D6276). Se liberan la sílice y la alúmina y reaccionan con el calcio de la cal para formar hidratos de calcio-silicatos (CSH) e hidratos de calcio-aluminatos (CAH). CSH y CAH que son productos cementantes similares a aquellos formados en el Cemento de Pórtland. Ellos forman la matriz que contribuye a la resistencia de las capas de suelo estabilizadas con cal.

Cuando se forma esta matriz, el suelo se transforma de un material arenoso granular, a una capa dura relativamente impermeable, con una capacidad de carga significativa. El proceso se inicia en unas horas y puede continuar durante años, en un sistema diseñado correctamente. La matriz formada es permanente, duradera, y significativamente impermeable, produciendo una capa estructural que es tan fuerte como flexible.



### **3. PARTE EXPERIMENTAL**

La parte experimental se realizó y enfocó en un área seleccionada del país, donde se utiliza el adobe como elemento principal para la construcción de viviendas, las cuales se observa que tienen condiciones de muy bajo porcentaje de habitabilidad y están afectadas por factores que ponen en riesgo la salud y la vida de las personas entre otros, por lo cual se vio con la necesidad de aplicar un método constructivo de piso, económico y práctico, para beneficio de los habitantes.

La región seleccionada fueron las aldeas El Tule y La Brea del municipio de Quezada, Jutiapa. Donde se contactó a pobladores quienes hablaron sobre su conocimiento acerca de los diferentes tipos de piso y su aplicación.

También se pudo compartir con sus costumbres, cultura, experiencia y vivencias, lo cual permitió lograr un mejor conocimiento en el trabajo de campo. La información se obtuvo mediante la observación, entrevistas, encuestas, muestras de distintos bancos de materiales y fotografías del lugar, (ver figura 1).

**Figura 1. Evaluación de las viviendas en las aldeas**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, marzo 2008

**Figura 2. Entrevista con los pobladores en las aldeas**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, marzo 2008

Con las entrevistas realizadas y las evaluaciones por medio de inspección visual, (ver figura 2). Se obtuvo la información necesaria sobre los diferentes tipos de piso existentes en las aldeas, como materiales utilizados y métodos de aplicación.

Es de hacer notar que en los pisos ya existentes se utilizan materiales como cemento, cal hidratada, arena, agregado grueso, arcilla, piedra bola entre otros, (ver figuras 3,4).

**Figura 3. Pisos de piedra existente en aldea El Tule**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, marzo 2008

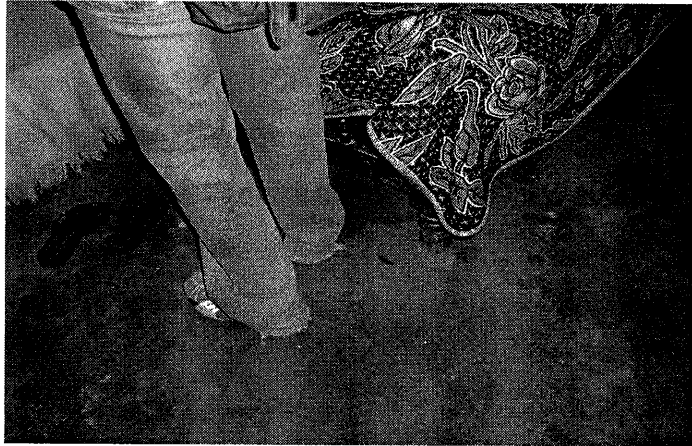
**Figura 4. Piso de cemento líquido, existente en aldea El Tule**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, marzo 2008

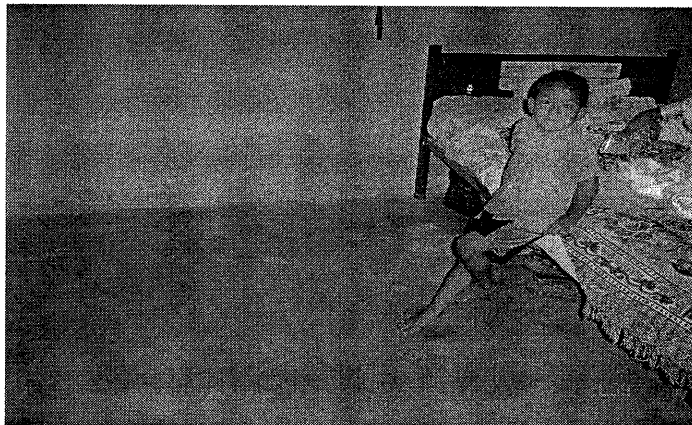
Aunque el porcentaje de pisos existentes es muy bajo, la mayoría son de piso de tierra, (ver figuras 5,6).

**Figura 5. Piso de tierra existente aldea El Tule**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, marzo 2008

**Figura 6. Piso de tierra existente aldea La Brea**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, marzo 2008

### **3.1 Localización de bancos de materiales**

En las aldeas El Tule y La Brea se hizo un reconocimiento de los diferentes bancos de materiales que se han utilizado para la elaboración de adobes, tejas y revoques en la localidad.

Se realizó recolección de muestras de material de cada uno de los bancos, para el respectivo análisis de laboratorio y caracterización de los mismos.

Los bancos de materiales de donde se recolectaron las muestras son los siguientes:

**Aldea El Tule:**

- La Tejera
- El Guayabal
- El Cuje

**Aldea La Brea:**

- La Tejera del Coche
- La Adobera del Puente

De estos se analizaron y caracterizaron únicamente los bancos, El Guayabal, El Cuje y La Tejera del Coche, ya que de los otros es muy difícil el acceso y la extracción de los materiales. También se extrajo una muestra de material de ceniza volcánica en el lugar denominado Los Positos, Quesada, Jutiapa, (ver figuras 7,8)

**Figura 7. Extracción de muestra de materiales Los Positos**



**Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, abril 2008**

**Figura 8. Extracción de muestras de materiales La Brea**



**Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, abril 2008**

### **3.2 Caracterización de los materiales**

En el reconocimiento de los distintos bancos de suelo de la región seleccionada, se recolectaron materiales (arcillas, arenas y limos), los cuales fueron ensayados y caracterizados en los laboratorios de Mecánica de Suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Según los requerimientos de la investigación.

Ensayos realizados para la caracterización de las muestras extraídas de las aldeas:

- Análisis granulométrico
- Límites Atterberg
- Gravedad específica
- Ensayo compactación
- Estimación del pH

#### **3.2.1 Análisis granulométrico, según norma AASHTO T-27. Standard Method of Test for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.**

El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en por ciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Para clasificar por tamaños las partículas gruesas el procedimiento más expedito es el del tamizado.

El análisis granulométrico se utiliza como parámetro exacto de la determinación de la cantidad de arena que contiene el suelo que se va a utilizar como materia prima.

El procedimiento más utilizado para el análisis granulométrico es el de tamizado con lavado, siendo éste el que se describirá a continuación.

El equipo y la maquinaria utilizados para la realización de este ensayo es el siguiente:

- Balanza con capacidad de 1 kg o más con aproximación a 0.1 gr.
- Tamizadora para agregado fino con tamices  $\frac{3}{4}$ " , No. 4, 10, 40, 200 y fondo.
- Horno a temperatura uniforme de  $230 \pm 9$  °F ( $110 \pm 5$  °C).
- Cepillo de alambre.
- Recipientes.

Tomar una muestra de suelo de aproximadamente 1000 gr. secar al horno durante 24 horas. Tomar la masa de la muestra y lavar para desechar los finos hasta que el agua salga clara, pasándola por el tamiz 200, llevar al horno nuevamente durante 24 horas, (ver figura 9).



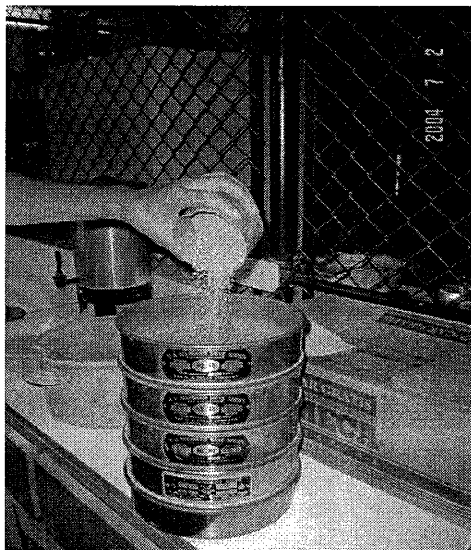
**Figura 9. Lavado de suelo para ensayo de granulometría**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, julio 2008

Colocar los tamices en orden de tamaño descendente, con fondo en la parte inferior y tapa en la parte superior, vaciar la muestra dentro del tamiz superior, (ver figura 10).

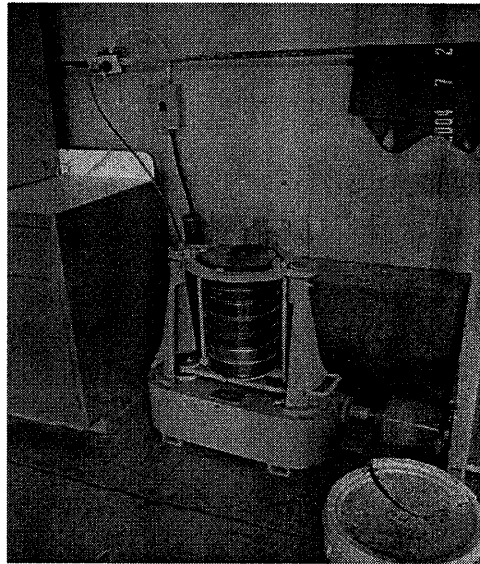
**Figura 10. Colocación de muestra de suelo en tamices**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, julio 2008

Tamizar de 5 a 7 minutos, con el fin de acomodar las partículas de la muestra de suelo por tamaños, (ver figura 11).

**Figura 11. Tamizado de material de 5 a 7 minutos**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, julio 2008

Tomar la masa de la muestra de suelo retenido en cada tamiz, de forma acumulada, comenzando por el tamiz de menor abertura sin tomar en cuenta el fondo y terminando con el tamiz de mayor abertura. Es importante procurar que no quede nada o casi nada de material en los tamices, pues la pérdida de suelo no debe sobrepasar el 0.3% de la masa original, (ver figura 12).

**Figura 12. Pesado de material retenido por tamiz**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, julio 2008

### **3.2.2 Límites de Atterberg, según normas AASHTO T-146, T-89, T-90, ASTM D-4318. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils**

**Límite líquido:** es el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra con el cual el suelo cambia del estado líquido al estado plástico.

Este método está basado en los experimentos realizados por Casagrande con una copa de bronce, que es conocida como Copa de Casagrande.

El equipo utilizado para la realización de este ensayo es el siguiente:

- Copa de Casagrande.
- Ranurador laminar.
- Balanza con capacidad de 1 kg o más con aproximación a 0.1 gr o menos.
- Horno a temperatura uniforme de  $230 \pm 9$  °F ( $110 \pm 5$  °C).
- Cápsulas de porcelana.
- Tarros de aluminio.
- Espátula.

Pasar la muestra por el tamiz No. 40, desechando lo que quede retenido en él, colocar la muestra en la cápsula de porcelana y añadir agua mezclando con la espátula hasta obtener una consistencia suave y uniforme,(ver figura 13).

**Figura 13. Muestra de suelo lista para ensayo de plasticidad**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, julio 2008

Colocar una porción de la muestra en la Copa de Casagrande, con un espesor máximo de 1 cm en la parte más honda de la copa y con superficie uniforme, con el ranurador hacer una ranura manteniendo el mismo en posición normal a la superficie de la muestra, en todo su recorrido, (ver figura 14).

**Figura 14. Ensayo de límite líquido, en la copa de casagrande**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, julio 2008

Accionar la copa a razón de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes necesarios para que la parte inferior del talud de la ranura correspondiente se cierre 0.5". La ranura deberá cerrarse por flujo del suelo y no por el deslizamiento del mismo respecto a la copa. Este ensayo debe realizarse 3 veces y si el número de golpes en los 3 es cercano se procede con el siguiente paso. (El número de golpes no debe diferir por más de un golpe en cada ensayo y debe estar en un rango de 6 a 35 golpes).

Tomar dos muestras de suelo de  $\pm 10$  gr y colocarlas en los tarros tarados e identificados, tomar el peso húmedo de las muestras y secar al horno durante  $\pm 24$  horas y tomar el peso seco de las muestras, (ver figura 15).

**Figura 15. Muestras de materiales colocados en el horno**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, julio 2008

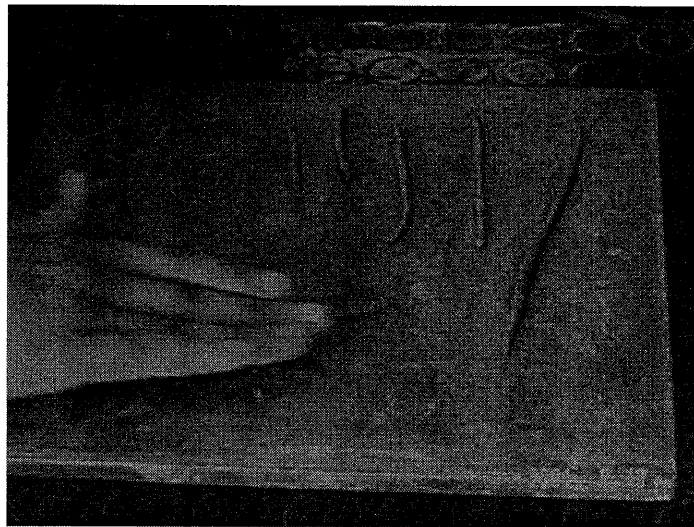
**Límite plástico:** Es el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra con el cual el suelo cambia del estado plástico al estado semi-sólido.

El equipo necesario para realizar este ensayo es el siguiente:

- Ranurador laminar.
- Balanza con capacidad de 1 kg o más con aproximación a 0.1 gr o menos.
- Horno a temperatura uniforme de  $230 \pm 9$  °F ( $110 \pm 5$  °C).
- Cápsulas de porcelana.
- Tarros de aluminio.
- Espátula.
- Placa de vidrio.

Se puede utilizar una muestra de la utilizada para realizar el ensayo de L.L. tomar pequeñas cantidades y rotarlas sobre la placa de vidrio hasta conseguir la forma de cilindros de 3 mm de diámetro, repetir el procedimiento hasta que el cilindro presente señales de desmoronamiento y agrietamiento en su superficie al alcanzar el diámetro indicado, (ver figura 16).

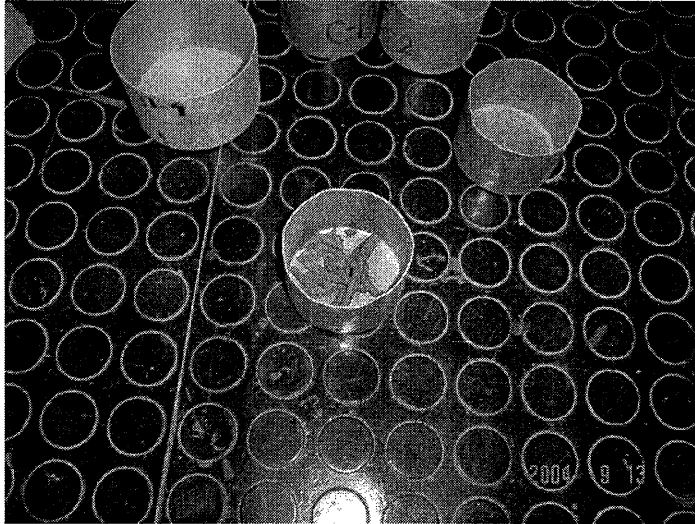
**Figura 16. Elaboración de cilindros para L.P.**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, julio 2008

Cuando ya se tenga la consistencia esperada, tomar dichos cilindros y colocarlos dentro de los tarros, previamente tarados e identificados, tomar el peso húmedo de las muestras, secar al horno durante  $\pm 24$  horas y tomar el peso seco de las muestras, (ver figura 17).

**Figura 17. Cilindros en tarros colocados en el horno**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, julio 2008

### **3.2.3 Gravedad específica, según norma ASTM C – 128. Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate**

La gravedad específica es utilizada para calcular el volumen ocupado por los diferentes tipos de partículas, para este ensayo se utilizan 200 grs. de suelo.

El equipo utilizado para la realización de este ensayo es el siguiente:

- Balanza con capacidad de 1 kg o más con aproximación a 0.1 gr o menos.
- Matraz con volumen de 500 cm<sup>3</sup>.
- Pipeta con capacidad para 0.15 ml.
- Cono metálico con diámetro interno superior de  $40 \pm 3$  mm, diámetro interno inferior de  $90 \pm 3$  mm, altura de  $75 \pm 3$  mm y espesor de 0.8 mm.



En este proceso se pasa la muestra de agregado por el tamiz 635, se desecha lo que quede retenido, se toma la masa del matraz vacío y se vierte aproximadamente 200 gr de agregado dentro del matraz y se toma la masa del matraz + material, se agrega agua hasta un poco más del nivel indicado y remover para eliminar las burbujas de aire, (ver figura 18).

**Figura 18. Matraz más material más agua, granulometría**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, julio 2008

Completar el nivel de agua con la pipeta o si fuera el caso, retirar el exceso de la misma, tomar la masa del matraz + material + agua, vaciar el contenido del matraz y lavarlo evitando que queden partículas de agregado dentro de él, (ver figura 19).

**Figura 19. Peso de matraz con agua y suelo**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, julio 2008

Llenar el matraz de agua hasta el nivel indicado, secar su superficie y tomar la masa del matraz + agua. Este ensayo se realiza 3 veces para promediar los resultados.

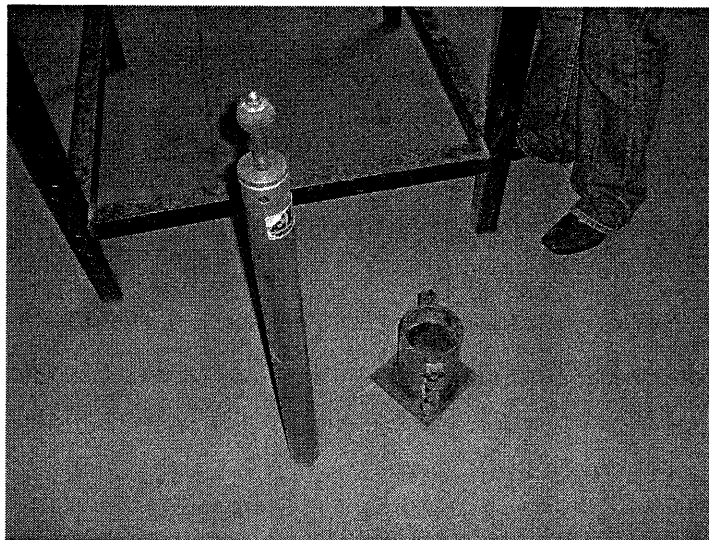
#### **3.2.4. Ensayo de compactación, según norma AASHTO T – 180. Standard Method of Test for Moisture-Relation of Soils.**

El principal objetivo del ensayo es determinar la densidad máxima del terreno y la humedad óptima con que es alcanzada dicha densidad.

El equipo utilizado para la realización del ensayo se describe a continuación:

- Cilindro de Proctor de compactación de 10.2 cm de diámetro interior y 12.3 cm de altura.
- Extensión del cilindro del igual diámetro interior y 6.5 cm de altura.
- Martillo cilíndrico de 5 cm de diámetro en la base y un peso de 10 lb, con una caída libre de 18", (ver figura 20).

**Figura 20. Equipo para ensayo de compactación**

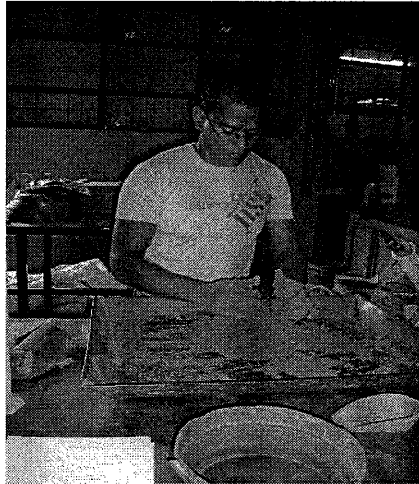


Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, julio 2008

- Bandeja de lámina galvanizada.
- Espátulas y cucharón.
- Horno a temperatura uniforme de  $230 \pm 9$  °F ( $110 \pm 5$  °C).
- Balanza con capacidad de 2 kg o más con aproximación a 0.1 gr o menos.
- Probetas de plástico transparente, graduadas en ml.
- Tarros pequeños, numerados y tarados.

El método de determinación de la densidad máxima o prueba de proctor consiste esencialmente en colocar el suelo en un molde apropiado en capas (tres capas para el estándar y cinco para el modificado), iguales cada una se somete a un grado específico de energía de compactación a través de los martillos para ensayo estándar y modificado, este suelo antes de compactar se le da un porcentaje de humedad, (ver figura 21).

**Figura 21. Preparación de mezcla para ensayo con la humedad necesaria**

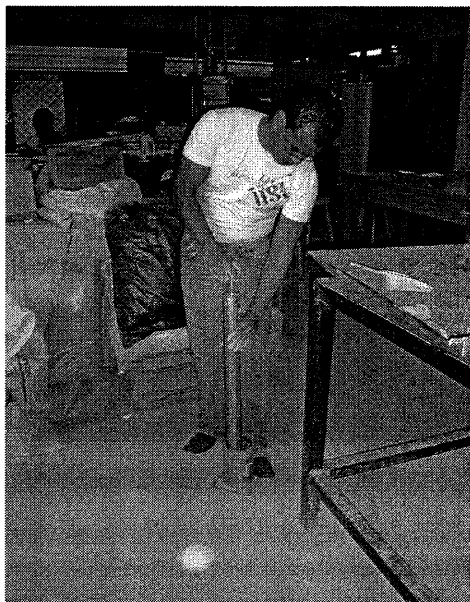


Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, julio 2008

Después de compactar la capa final, se determina la densidad total del suelo en el molde pesándola. Se desaloja el suelo del molde y se toman dos muestras, se pesan y luego se meten al horno durante aproximadamente 24 horas, después del horno se pesan nuevamente, y así tenemos peso húmedo y peso seco, con lo cual podemos determinar su humedad.

Este procedimiento de compactar las capas debe realizarse por lo menos cinco veces, (ver figura 22). Solamente varía el porcentaje de humedad que debe doblarse por cada ciclo. Luego trazamos la curva humedad/densidad.

**Figura 22. Compactación de las capas, ensayo de proctor**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, julio 2008

### **3.2.5. Estimación del pH, según norma ASTM D 6276 – 99<sup>a</sup>. Standard Test Method for using pH to Estimate the Soil-Lime Proportion Requirement for Soil Stabilization**

Este método experimental provee una forma para estimar la proporción requerida de cal para la estabilización de un terreno. Este método experimental es realizado en suelos que pasan por el tamiz 425-  $\mu\text{m}$  (No. 40). La proporción óptima de suelo-cal para la estabilización del suelo es determinada por pruebas de características específicas del suelo estabilizado como: índice de fuerza ilimitada compresiva o de plasticidad.

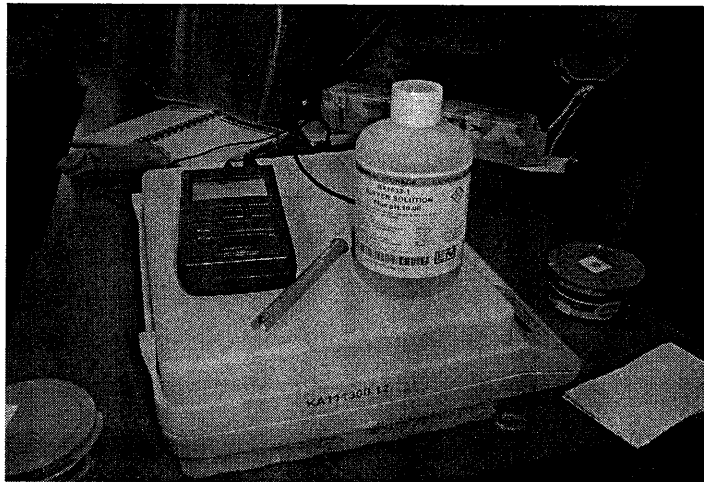
Este método experimental se usa para determinar el porcentaje mínimo de cal que resulta en un pH de suelo-cal de 12.4.

La prueba del pH de la mezcla suelo-cal es realizada como una prueba para indicar la proporción de suelo-cal necesario para mantener el pH necesario o requerido para estabilizar un suelo.

El equipo utilizado para la realización del ensayo se describe a continuación:

- Balanza
- Tamiz de 425  $\mu$  m (No. 40)
- Botellas plásticas
- Un medidor de pH
- Horno de secado
- Equipo Misceláneo, (ver figura 23)

**Figura 23. Equipo para medir el pH de las mezclas**



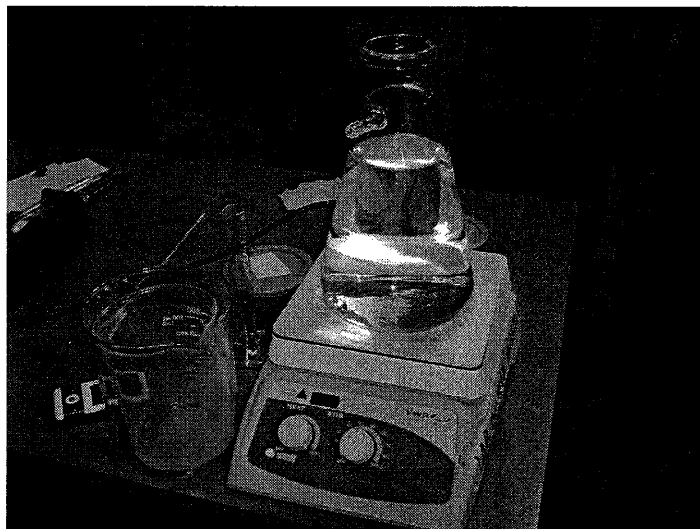
Fuente: Área de prefabricados, Facultad de Ingeniería, USAC, junio 2008

Este proceso consta de tener 6 muestras de cal con 2, 3, 4, 5, 6% del equivalente a 25 gr. de suelo, la sexta muestra con 2 gr de cal representa una solución saturada.

Agregar la cal al suelo y agregar 100 ml de agua a cada uno de ellos, sierre herméticamente y sacuda o revuelva cada una de ellas por un mínimo de 30 segundos cada 10 minutos por una hora.

Dentro de 15 min después del fin del período de mezclado de 1-h, determine el pH de cada mezcla suelo-cal-agua y la mezcla de cal-agua de 0.01 unidades pH. Mantenga la temperatura de la mezcla a  $25 \pm 1$  ° C al determinar pH, (ver figura 24).

**Figura 24. Calentamiento de agua para mantener la temperatura para cálculo de pH**



Fuente: Área de prefabricados, Facultad de Ingeniería, USAC, junio 2008

### **3.3 Caracterización de mezclas**

Debido a las diferentes muestras de suelo y al resultado obtenido de los ensayos de laboratorio, es necesario crear una variedad de mezclas posibles con diferentes porcentajes de materiales, cal, arena, suelo y cemento.

Así determinar cual de las mezclas tiene la consistencia, la estabilización y las características necesarias para la construcción y aplicación del piso, (ver tablas III, IV, V).

Descripción de las mezclas:

**Tabla III. Caracterización de mezclas, porcentajes de cal y cemento**

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
A	2% de cal
B	4% de cal
C	2% de cemento
D	4% de cemento
E	2% de cal + 2% de cemento
F	4% de cal + 4% de cemento

**Tabla IV. Caracterización de mezclas porcentajes de ceniza y arena**

Nombre	MEZCLAS						No. Probetas
	1		2		3		
	Ceniza	Arena	Ceniza	Arena	Ceniza	Arena	
	10%	90%	20%	80%	30%	70%	
A	A1		A2		A3		6
B	B1		B2		B3		6
C	C1		C2		C3		6
D	D1		D2		D3		6
E	E1		E2		E3		6
F	F1		F2		F3		6

Las mezclas G y H no contienen ningún porcentaje de cal ni de cemento.

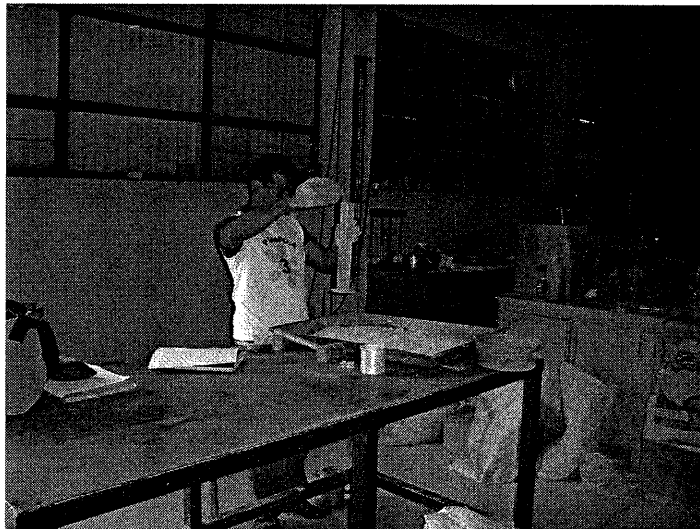
**Tabla V. Mezclas sin contenido de cal ni cemento**

G	20% de ceniza + 10% arcilla + 70% de arena
H	90% de arcilla + 10% de arena



Con estas mezclas se realizaron probetas o cilindros por medio del ensayo de compactación (Proctor), a los cuales se les aplicó el ensayo de esfuerzo a compresión, (ver figura 25).

**Figura 25. Elaboración de mezclas para cilindros**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, agosto 2008

Después de tener preparada la mezcla con la humedad óptima se procedió a realizar el ensayo de compactación proctor, como se mostro anteriormente, (sección 3.2.4). Para luego obtener las probetas o cilindros que sirven para el ensayo de resistencia de esfuerzo a compresión, (ver figura 26).

**Figura 26. Probetas para ensayo de esfuerzo a compresión**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, julio 2008

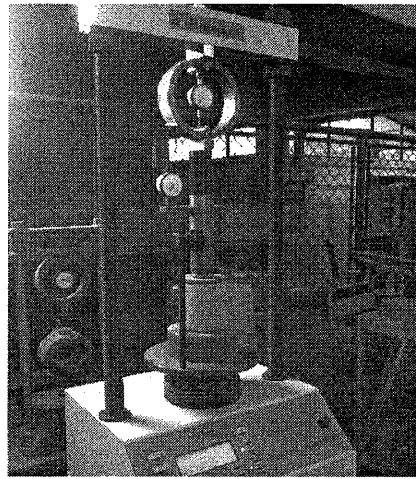
### **3.3.1 Esfuerzo a compresión en cilindros, según norma ASTM C – 39. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens**

Los resultados obtenidos en la realización de este ensayo, generalmente se utilizan como base par el control de calidad en la proporción de los materiales, su resistencia a la compresión, el tipo de mezclas, etc.

El esfuerzo que soportan los cilindros bajo carga de presión no depende únicamente de los materiales utilizados en su fabricación, sino también de la proporción utilizada, la forma de mezclar, el tipo de bachada, la temperatura, las dimensiones del cilindro, la humedad durante el curado y la edad de los mismos, entre otros factores.

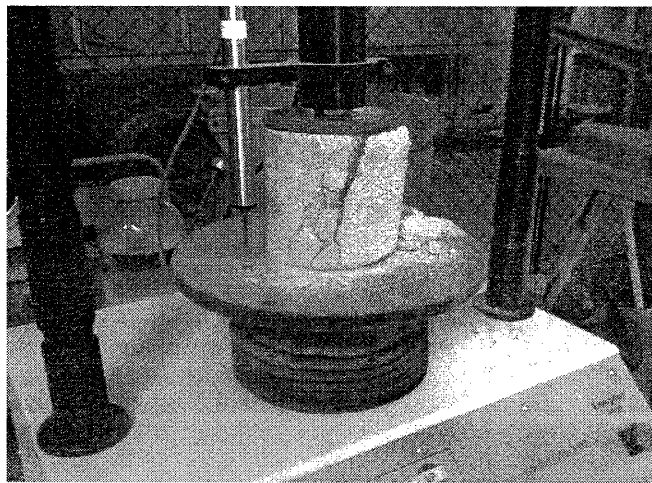
Para el proceso de este ensayo se debe alinear el cilindro entre el centro del plato y la rótula en la máquina a compresión. Vigilar la velocidad de aplicación de la carga con una velocidad continua, hasta que el espécimen falle. Anotar la carga máxima, el tipo de falla y la apariencia del cilindro, (ver figuras 27, 28, 29).

**Figura 27. Máquina para ensayo de esfuerzo a compresión**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, marzo 2009

**Figura 28. Probeta centrada y presentando primer falla por aplicación de carga a compresión**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, julio 2008

**Figura 29. Falla total por la aplicación de carga a compresión**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC, julio 2008

### **3.4 Elaboración de muestras de piso**

En la tabla VI se presentan una serie de muestras de piso de suelo cal, en los cuales se usó materiales como; arena de río, ceniza (selecto) y cemento en distintas proporciones por encontrarse en la mayoría de regiones de Guatemala.

Los ensayos que se les practico a las muestras fueron, ensayo de adherencia, ensayo de impacto, ensayo de permeabilidad, ensayo de absorción.

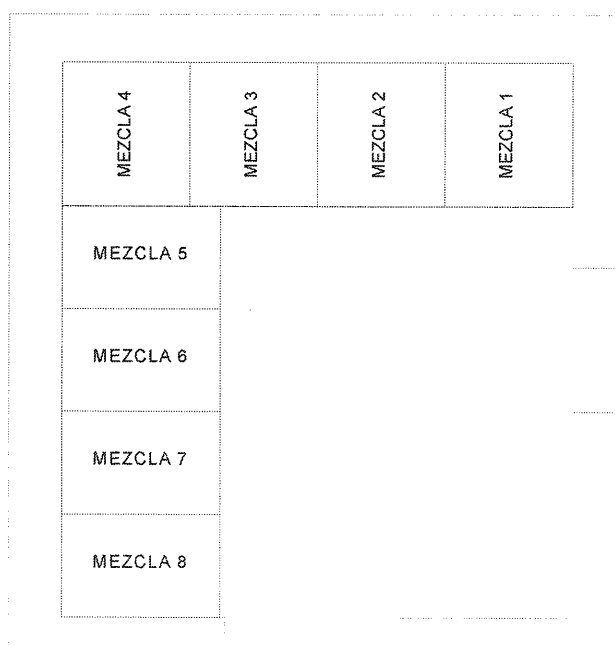
Las muestras consisten en 8 probetas las cuales se describen a continuación, (ver tabla VI).

**Tabla VI. Descripción de las muestras de pisos**

No. Probeta \ Material	Suelo volumen (pie <sup>3</sup> )	Arena de rio volumen (pie <sup>3</sup> )	Ceniza volumen (pie <sup>3</sup> )	Cal volumen (pie <sup>3</sup> )	Cemento volumen (pie <sup>3</sup> )
1	0,8	0,20	-----	0,015	-----
2	0,8	0,20	-----	0,03	-----
3	0,5	0,30	0,20	0,03	-----
4	0,75	-----	0,25	0,03	-----
5	1	-----	-----	0,03	-----
6	-----	0,75	0,25	0,03	-----
7	-----	-----	1	-----	0,01
8	-----	-----	1	0,01	-----

Estas muestras de piso para practicar los ensayos se elaboraron en el área de prefabricados en un cuarto de adobe, (ver figura 30).

**Figura 30. Croquis de las mezclas elaboradas en laboratorio.**

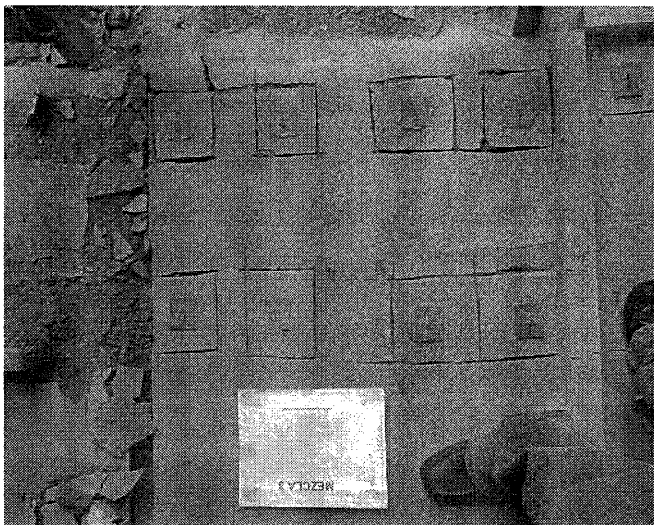


Estas probetas tienen variación en la aplicación del acabado final como en la proporción de los materiales utilizados, las primeras 5 tienen un acabado de suelo con cemento, de la 6 a la 8 tienen un acabado de ceniza con cemento. Todas divididas en cuatro partes con diferentes proporciones.

### **3.4.1 Ensayo de adherencia, según norma francesa, NF 169 Methodes M.1 -Annexe 1B (2002). Determination de la Traction**

El ensayo consistió en adherir placas metálicas de 0.05 x 0.05 m., en la superficie del piso, al estar adherida la placa al piso se hizo una zanja alrededor de la misma con una profundidad igual al espesor de la capa del acabado, con el fin de lograr un área efectiva, (ver figura 31).

**Figura 31. Placas pegadas a las probetas listas para ensayo**

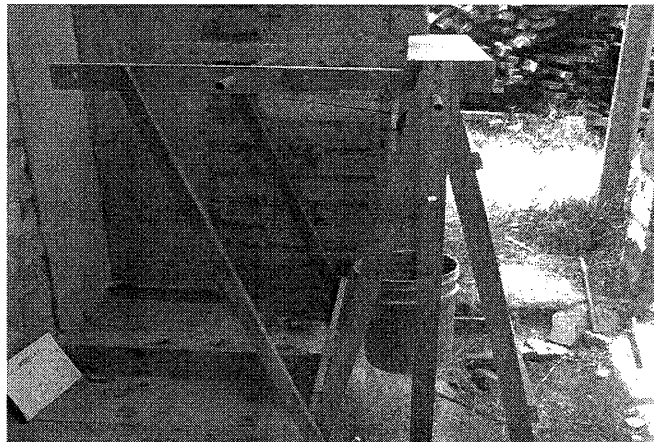


Fuente: Área de prefabricados, Facultad de Ingeniería, mayo 2009

Para que al momento de aplicación de la carga normal a la placa el esfuerzo actué en el área efectiva y no en toda el área y así lograr resultados concretos de adherencia.

La implementación del equipo de ensayo constó de un marco o estructura de madera que es ajustable en la distancia horizontal por medio de unos tubos de acero y dos poleas que también se pueden ajustar a todo lo largo del marco deslizándose a través de los tubos. A través de las poleas paso una cuerda que en un extremo estaba atada a un gancho de acero, en el cual se encontraba un recipiente de aproximadamente 5 galones de capacidad; y en el otro extremo de la cuerda iba colocado un gancho de acero el cual estaba puesto en la argolla de la placa metálica que estaba adherida al piso, (ver figura 32).

**Figura 32. Mecanismo de aplicación de carga ensayo de adherencia**



Fuente: Área de prefabricados, Facultad de Ingeniería, mayo 2009

La aplicación de la carga para arrancar las placas metálicas, se realizó a través del equipo para ensayo de adherencia ya antes descrito, según el siguiente procedimiento:

Primero se niveló el sistema de ensayo, al colocar en un ángulo recto vertical la cuerda que va de la polea hacia la placa, así como también el otro extremo que va verticalmente de la otra polea hacia el recipiente.

Luego se sujetó cada placa al sistema y se procedió a agregar arena en el recipiente a una velocidad constante, hasta producir la falla. Después de haber fallado el piso se procedió a pesar el recipiente con arena, para obtener el peso en kilogramos que es igual a la carga de arrancamiento, (ver figura 33, 34).

**Figura 33. Desprendimiento del acabado en la unión con la base**



Fuente: Área de prefabricados, Facultad de Ingeniería, mayo 2009



**Figura 34. Desprendimiento de la placa con el acabado**



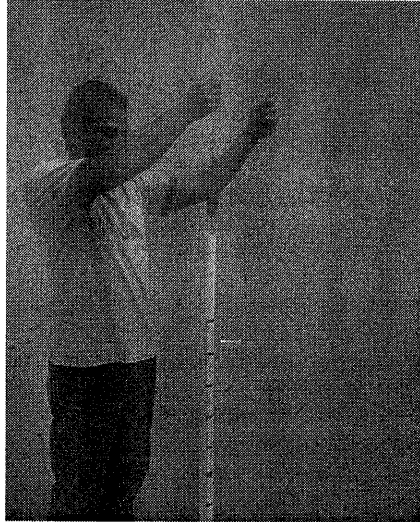
Fuente: Área de prefabricados, Facultad de Ingeniería, mayo 2009

### **3.4.2 Ensayo de Impacto, según norma ASTM F 1265-89. Standard Test Method for Resistance to Impact for Resilient Floor Tile**

Este método de prueba determina la resistencia al impacto de pisos.

El aparato medidor de impacto (ver figura 35), consiste esencialmente de un sopote de la probeta, bola de acero y un dispositivo para guiar un peso uniforme. La bola de acero con un peso de  $5 \pm 0.1$  kg. y un dispositivo de guía graduado con sisas a cada 0.10 m.

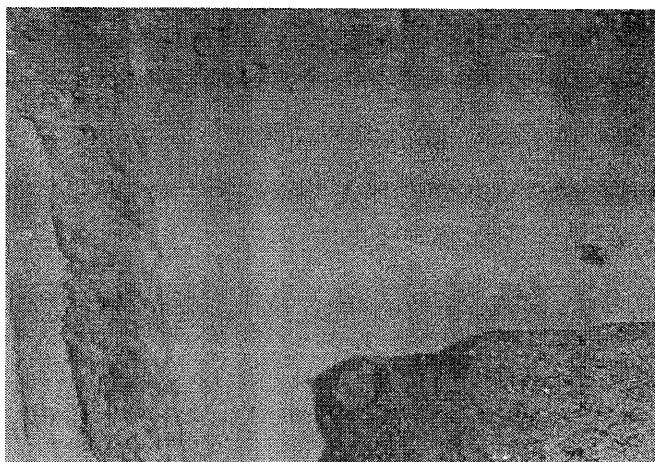
**Figura 35. Equipo para ensayo de impacto**



Fuente: Área de prefabricados, Facultad de Ingeniería, junio 2009

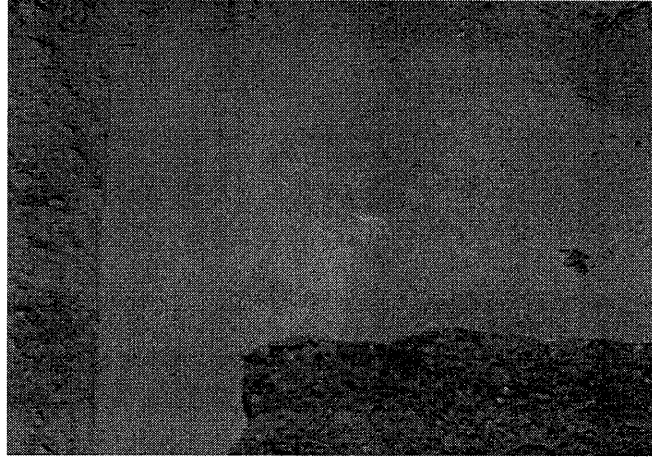
Se coloca el equipo de ensayo sobre el centro de la superficie de cada una de las probetas de piso ya elaborada anteriormente para prueba, se deja caer la masa utilizada para el ensayo y golpea el centro de la probeta dentro de alturas y tiempos determinados, desgastando la probeta formando un círculo y provocando un hundimiento, (ver figura 36).

**Figura 36. Probeta de piso después del impacto**



Fuente: Área de prefabricados, Facultad de Ingeniería, junio 2009

**Figura 37. Falla después del impacto en la probeta**



Fuente: Área de prefabricados, Facultad de Ingeniería, junio 2009

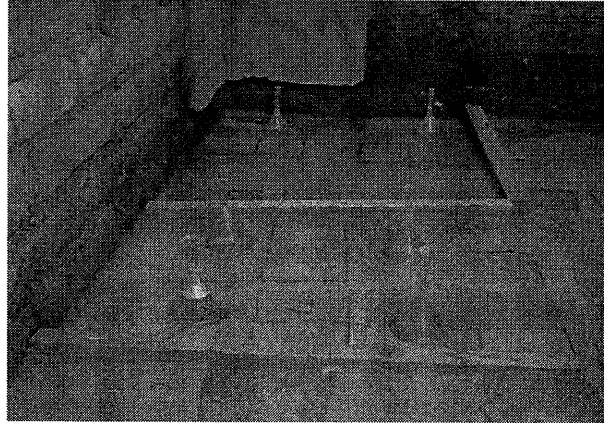
Cuidadosamente se retira el equipo de su posición original después de cada impacto, para que con el último impacto se examine si no existen grietas que se extiendan más allá del círculo, (ver figura 37).

### **3.4.3 Ensayo de permeabilidad, según norma FRANCESA CSTB "Cahier 1779". Modalités d'essais des enduits extérieurs d'imperméabilisation de mur a base de liants hydrauliques**

Este ensayo consiste en determinar la cantidad de agua que se filtra en los distintos tipos de acabado aplicados en las probetas, como también la velocidad a la cual se filtra.

Cada probeta tiene colocada durante 24 horas un montaje que permite mantener una altura de agua de 100 mm en la superficie de la probeta y para poder medir la cantidad de agua que se filtra con forme el transcurso del tiempo, (ver figura 38).

**Figura 38. Sistema para determinar la permeabilidad de los acabados aplicados**

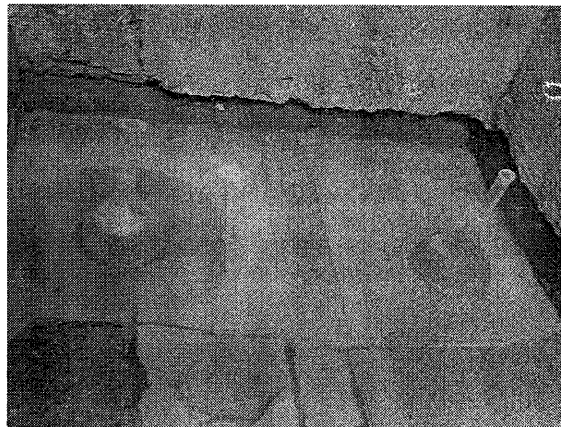


Fuente: Área de prefabricados, Facultad de Ingeniería, julio 2009

El equipo utilizado para este ensayo fue elaborado con embudos plásticos y jeringas, los cuales fueron pegados y adaptados para obtener el equipo determinado por la norma.

En la figura 39 se puede observar la diferencia entre dos tipos de acabado, el que esta al lado derecho no presenta ningún tipo de filtración de agua, mientras que en el que esta a lado izquierdo se puede observar la humedad del agua filtrada alrededor del embudo.

**Figura 39. Filtración de agua en uno de los acabados**



Fuente: Área de prefabricados, Facultad de Ingeniería, junio 2009

#### **3.4.4 Ensayo de absorción, según Una Norma Española, UNE 41 008. Baldosas de cemento.**

Determinación de la absorción de agua de piso de terrazo. Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar la absorción de agua de los pisos de terrazo.

Este ensayo consiste en introducir los especímenes en agua durante cierto tiempo, luego a un horno, y de acuerdo a una relación adecuada encontrar la absorción de agua absoluta y relativa.

Se utiliza una balanza capaz de apreciar 0.1 gr., se usó un dinamómetro, un horno. Se pueden usar pedazos de pisos fracturados con anterioridad o sobrantes de cortado de pisos, deberán estar limpios, secos y a temperatura ambiente.

Se introducen los especímenes en agua a temperatura ambiente durante 24 horas, luego de este tiempo se sacan, se dejan drenar un minuto y se elimina el agua sobrante de las muestras con un paño húmedo; se pesan y se anotan los valores. Ahora se procede a introducirlos a un horno a 100 ° - 110 °C., durante 24 horas, luego se sacan permitiendo que lleguen a la temperatura ambiente, se pesan y se anota su peso; entonces se pesan flotando en agua y se anota este valor. La absorción de agua de cada espécimen se expresa en  $\text{kg/m}^3$  de material.



## **4. SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL PISO**

Como se ha podido percatar el lector, en el capítulo 3 se realizó ensayos físico-mecánicos y químicos, para poder concluir en las mejores mezclas y sistema constructivo, que cumplan con los objetivos de este trabajo, los cuales son economía y durabilidad.

Con base en las pruebas realizadas, es comprobado que el mejor sistema es la construcción de piso monolítico compactado o apisonado. Y la mezcla más económica pero al mismo tiempo eficiente en su comportamiento al ser sometida a los esfuerzos que sufren los pisos, debido al uso del suelo, ceniza volcánica o puzolana (selecto) y cal. Las proporciones de los materiales a utilizar para distintas áreas, se presenta en Apéndice F.

### **4.1 Tecnología de piso seleccionada para aplicación.**

En una vivienda rural, generalmente se cuenta con una superficie de tierra un poco estabilizada. Estas condiciones pueden ser mejoradas, utilizando un piso de tierra cal con acabado final.

De esta forma se obtiene un área de estar más agradable y confortable, la cual puede ser duradera y lo más importante que es más económica que el piso de cemento líquido y la torta de cemento.

En base a la propuesta de piso se procedió a construir un sistema en una vivienda de adobe, la cual tiene 4.00 m. de ancho y 4.25 m. de fondo estas dimensiones son mayores a las que tienen las muestras fabricadas en el presente estudio.

El procedimiento de fabricación es básicamente el que se menciona a continuación.

#### **4.1.1 Preparación del terreno.**

Se procede a limpiar el terreno para remover toda clase de materiales extraños que exista, con el empleo de herramientas como (palas, azadones, piochas, etc.), se levanta una capa de 15 cm., de suelo superficial conteniendo materia orgánica si es el caso o se levanta una capa de 5 a 10 cm., (ver figura 40).

**Figura 40. Limpieza y preparación del terreno**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, noviembre 2008



Luego se procede a efectuar una nivelación del lugar de donde se va a aplicar el piso de tierra-cal, esta nivelación puede hacerse por medio de una manguera de material plástico, con nivel de mano, o con una regla y escuadra de albañil, (ver figura 41).

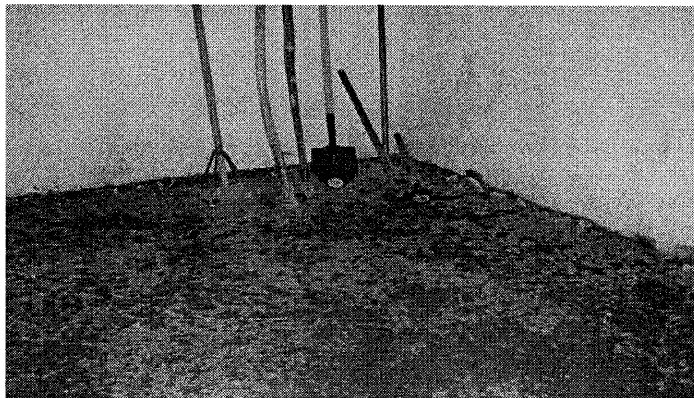
**Figura 41. Nivelación del terreno con manguera**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, noviembre 2008

Luego del trazo con la escuadra y el nivel en varios puntos de la habitación se empareja hasta conseguir por medio de un apisonador manual un área debidamente nivelada, (ver figura 42)

**Figura 42. Terreno limpio y nivelado listo para aplicación.**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, noviembre 2008

#### **4.1.2 Preparación de los materiales.**

El material como arcilla (suelo) y la puzolana, utilizado para la primera capa debe prepararse en seco, debido a que debe ser cernido por un tamiz o arnero grueso. Se recomienda que el material se guarde en un lugar bajo techo para evitar las inclemencias del tiempo y procurar que tenga la menor humedad posible, ya que tiende a absorber agua en gran escala y puede llegar al extremo de aterronarse nuevamente, (ver figura 43).

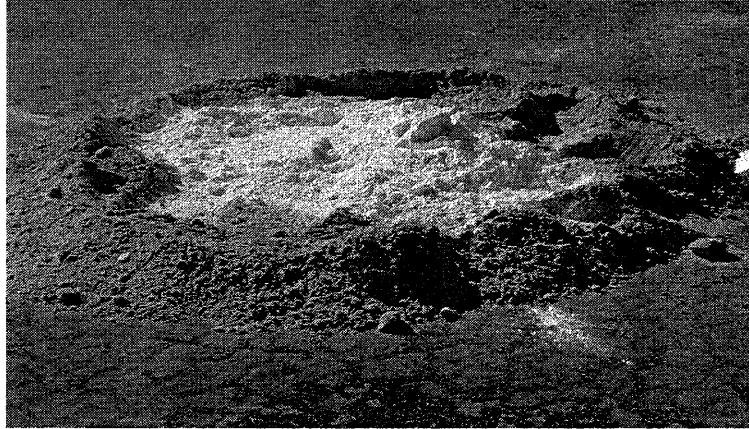
**Figura 43. Arcilla y puzolana pasado por arnero o tamiz grueso**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, noviembre 2008

Luego de haber pasado el material por el tamiz se mide las cantidades requeridas para cubrir el área a trabajar y así agregarle la cantidad de cal necesaria de acuerdo a las proporciones indicadas en la tabla, (ver figura 44).

**Figura 44. Arcilla, puzolana y cal listo para mezclar**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, noviembre 2008

Al tener los tres materiales listos se procede a mezclar, ya que el material tiene que estar homogénea en partes iguales de cada material para obtener la resistencia necesaria, (ver figura 45).

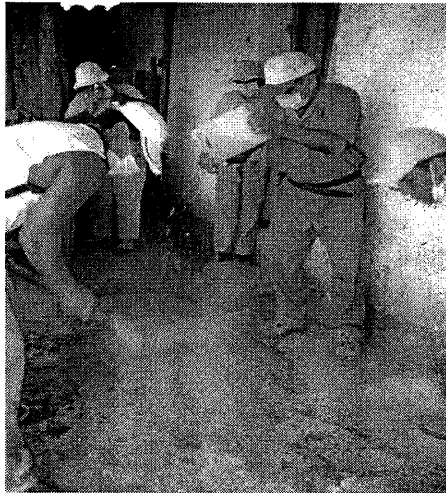
**Figura 45. Forma correcta de mezclar los materiales**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, noviembre 2008

Mezclar los materiales hasta tener un color uniforme, y humedecerla por pocos, cuidando no pasarse del porcentaje de humedad óptimo necesario, un procedimiento empírico para medir la humedad que contiene esta mezcla, consiste en tomar con la mano una muestra y apretarlo hasta formar un grumo sin que escurra agua de ella, entonces se considera que el material esta en su punto óptimo, para poder aplicar la capa base del piso, (ver figura 46).

**Figura 46. Mezcla humedecida poco a poco hasta llegar a la humedad óptima.**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, noviembre 2008

#### **4.1.3 Aplicación del piso**

Ya teniendo la mezcla preparada se humedece un poco el área donde se va a colocar la mezcla para la primera capa o sea la base del piso, esto se hace con la finalidad de que no se reseque la capa base, (ver figura 47).

**Figura 47. Mezcla colocada en área para nivelación y compactación**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, noviembre 2008

Después de colocada la mezcla, se procede a compactar aplicando aproximadamente 400 golpes por cada metro cuadrado de piso. Para esto se utilizaron apisonadores metálicos de 0.15 x 0.15 m., de sección y un peso aproximado de 15 kg. La primera capa o base debe tener un espesor mínimo de 5 a 8 cm., (ver figura 48).

**Figura 48. Compactación de la capa base**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, noviembre 2008

Para dejar la primera capa a nivel se utilizan palas, azadones y rastras, (reglas de madera recta), que sirven para extraer los sobrantes de material y así permita dejar la base lo mas plana posible, (ver figura 49).

**Figura 49. Nivelación de la mezcla ya compactada**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, noviembre 2008

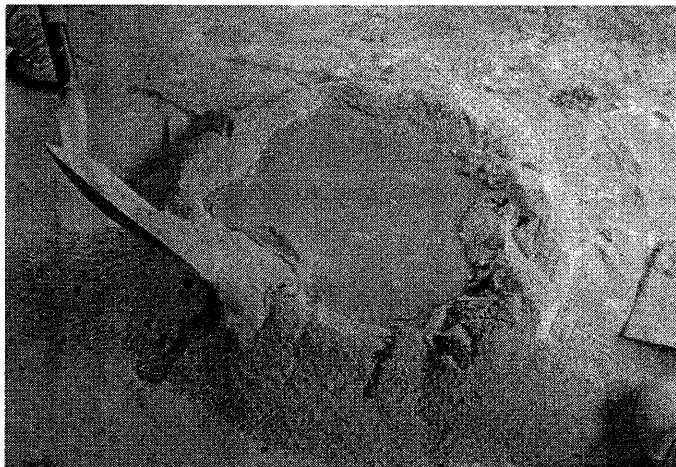
Luego de haber aplicado la primera capa se procede a preparar los materiales utilizados para la segunda capa, las proporciones adecuadas de los materiales también se encuentran en la tabla del apéndice F. Teniendo los materiales listos y preparados se procede a la aplicación de la segunda capa, esta consta de arena de rio, puzolana, estos materiales procesados por el arnero con malla metálica fina, y cemento, (ver figura 50, 51).

**Figura 50. Material pasado por arnero para segunda capa**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, noviembre 2008

**Figura 51. Material preparado y listo para aplicación de la segunda capa**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, noviembre 2008

Para la aplicación de la segunda capa se utilizan planchas de madera y cucharas de albañil, estas ayudan a nivelar y emparejar la segunda capa y eliminar los excesos de material, al aplicar esta segunda capa se verifica que la primera tenga la humedad necesaria para que así exista una mayor adherencia entre ambas y proporcione mejores resultados, esta capa no debe ser mayor a 5 mm de espesor, (ver figura 52).

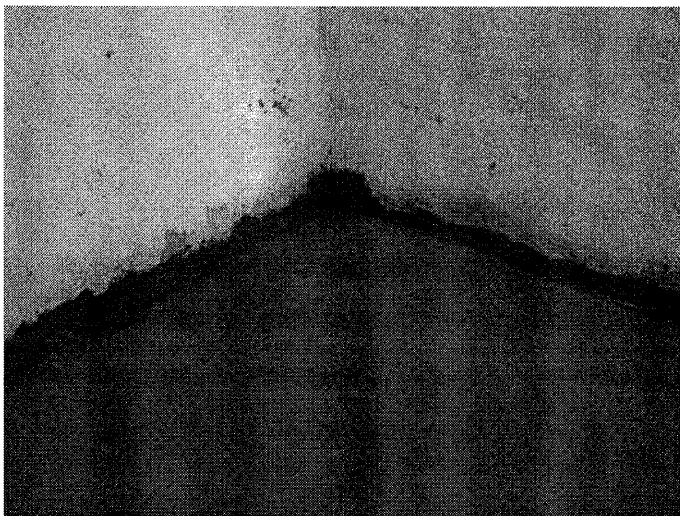
**Figura 52. Aplicación de segunda capa**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, noviembre 2008

La textura del piso puede variar, según sea la disponibilidad del propietario, puede ser rustico o con un diseño y acabado final, aplicando una pastina, la cual consta de cemento, y en su caso si el propietario quiere puede agregarle pigmento con color. (Ver figura 53, 54).

**Figura 53. Textura del piso sin acabado final**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, noviembre 2008



**Figura 54. Preparación de material para la capa final de acabado**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, noviembre 2008

En la aplicación de la última capa o acabado final se utilizan, cucharas de albañil y planchas de metal, las cuales ayudan a darle un acabado liso y de buen gusto para el propietario de la vivienda, (ver figura 55).

**Figura 55. Aplicación de la tercera capa, acabado final**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, noviembre 2008

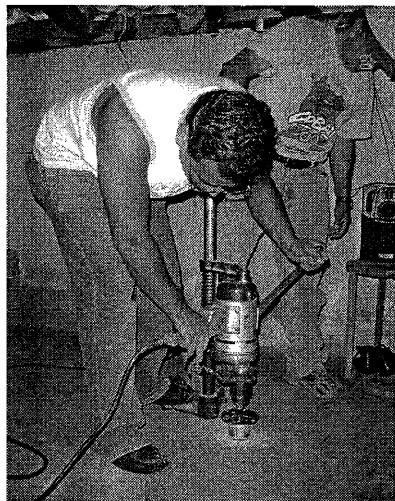
Para curar este sistema de piso se debe aplicar agua en abundancia por 1 semana de 2 a 4 veces por día, y también se puede curar protegiéndolo con bolsas de cemento, cal o costales previamente humedecidos.

## 4.2 Evaluación y extracción de testigos del piso

Después de tres meses de haberse realizado la construcción del piso se hizo una evaluación para determinar el comportamiento y el resultado de la metodología propuesta, haciendo así una extracción de testigos de distintos pisos elaborados para determinar el porcentaje de humedad, la densidad de la mezcla y la adherencia entre las diferentes capas aplicadas, así como una inspección visual del impacto que tuvo en las personas de la vivienda.

En la figura 56 se puede observar el equipo utilizado para la extracción de testigos, un barreno con una broca para sacar cilindros de concreto de 67 mm de diámetro, con un pedestal para una mayor manejabilidad del aparato.

**Figura 56, Equipo utilizado para extracción de testigos**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, julio 2009

Con este equipo se procede a la extracción de testigos de los diferentes pisos construidos para poder determinar el espesor de cada una de las capas como el comportamiento de los mismos después de 3 meses de su construcción y verificar si el clima o el ambiente del lugar tienen algún efecto sobre el mismo, y así dar por concluido el sistema de construcción de piso suelo-cal, (ver figuras 57).

**Figura 57. Testigo extraído para determinar porcentaje de humedad y densidad de la mezcla.**



Fuente: Proyecto de mejora de viviendas Chagas, julio 2009

Al momento de llevar a cabo la extracción de los testigos y la evaluación de los pisos ya construidos con este tipo de metodología se observa que en algunos casos la capa final de acabado muestra agrietamientos y fracturas superficiales, debido fundamentalmente a los cambios bruscos de temperatura y a la resequedad acelerada al momento del curado.



## 5. RESUMEN DE RESULTADOS

**Tabla VII. Resultado de ensayos realizados a muestras de suelo aldea El Tule.**

Aldea	Material	Ensayos a realizar		Resultados de ensayos
EL TULE	El Cuje	Granulometría	Grava	4%
			Arena	95%
			Finos	1%
		Compactación	PUS	1329,6 kg/m <sup>3</sup>
			% H	28,1 %
		Gravedad Específica		2,22
		Límite Líquido		59,46
		Límite Plástico		40,71
		Índice de Plasticidad		18,75
	El Guayabal	Granulometría	Grava	1%
			Arena	96,2%
			Finos	2,8%
		Compactación	PUS	1768,2 kg/m <sup>3</sup>
			% H	15,5 %
		Gravedad Específica		2,11
		Límite Líquido		34,00
Límite Plástico		25,4		
Índice de Plasticidad		8,6		

**Tabla VIII. Resultado de ensayos realizados a muestra de suelo aldea La Brea.**

Aldea	Material	Ensayos a realizar		Resultados de ensayos
LA BREA	La Tejera del Coche	Granulometría	Grava	2,1 %
			Arena	68,6 %
			Finos	29,3 %
		Compactación	PUS	134,6 kg/m <sup>3</sup>
			% H	19,75 %
		Gravedad Específica		2.27
		Límite Líquido		35,48
		Límite Plástico		27,50
		Índice de Plasticidad		7,98

**Tabla IX. Resultado de ensayos realizados a muestra de suelo aldea Los Positos.**

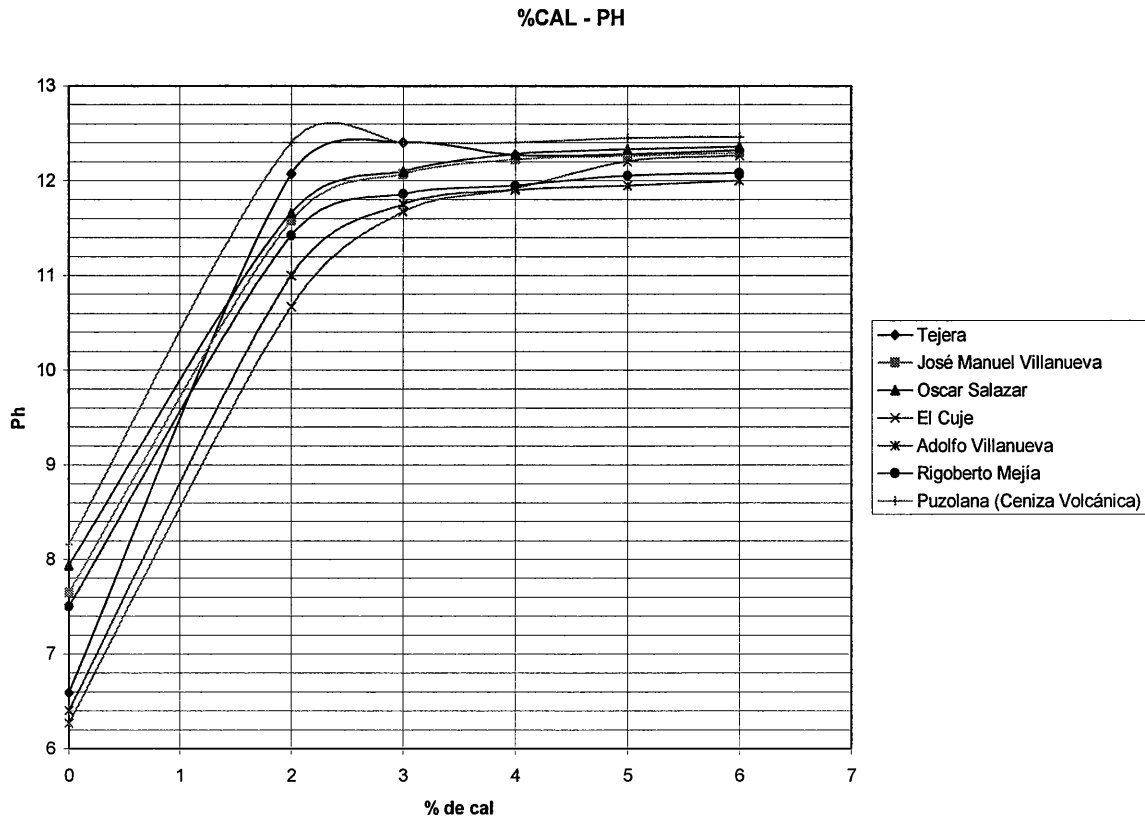
Aldea	Material	Ensayos a realizar		Resultados de ensayos
QUEZADA, JUTIAPA	Los Pósitos	Granulometría	Grava	1,4 %
			Arena	75,9 %
			Finos	22,7 %
		Compactación	PUS	-----
			% H	-----
		Gravedad Específica		2.62
		Límite Líquido		-----
		Límite Plástico		-----
		Índice de Plasticidad		-----

**Tabla X. Determinación del pH de varios bancos de material.**

% Cal	Bancos de materiales y valores de pH						
	Tejera del Coche	José Manuel Villanueva	Oscar Salazar	El Cuje	Adolfo Villa Nueva	Ceniza Volcánica	Rigoberto Mejía
<b>0</b>	6.59	7.651	7.94	6.266	6.40	8.16	7.50
<b>2</b>	12.07	11.581	11.66	10.67	11.00	12.40	11.42
<b>3</b>	12.4	12.073	12.10	11.67	11.75	12.40	11.86
<b>4</b>	12.27	12.221	12.28	11.913	11.90	12.40	11.95
<b>5</b>	12.28	12.261	12.33	12.205	11.95	12.45	12.05
<b>6</b>	12.32	12.292	12.36	12.265	12.00	12.46	12.08
<b>100</b>	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4

Los ensayos a los materiales se realizaron hasta incluir un 6% de porcentaje de cal en el suelo. En la figura 58 se observa el comportamiento de las gráficas de acuerdo al porcentaje de cal aplicado.

Figura 58. Gráfica. %Cal vs. PH



En algunos suelos el pH no superará 12.3, lo cual es muy común en las arcillas ya que éstos están sujetos a iones univalentes como el sodio que están sujetos al cambio; en los suelos de Rigoberto Mejía y Adolfo Villanueva se necesitan porcentajes más altos para subir el nivel de pH en comparación con los otros suelos analizados como se muestra en la gráfica anterior.



**Tabla XI. Resultados de ensayo de esfuerzo a compresión, según norma ASTM C-39**

NOMBRE	MEZCLA	PRIMER FALLA		FALLA FINAL	
		CARGA (kg)	ESFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )	CARGA (kg)	EZFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )
A	A1	759,3	9,29	1249,72	15,29
	A2	809,25	9,90	1526,71	18,68
	A3	713,89	8,74	940,94	11,52
B	B1	1372,32	16,80	2098,87	25,69
	B2	2176,06	26,63	2562,04	31,36
	B3	2371,32	29,02	2852,66	34,91
C	C1	542,16	6,64	812,62	9,95
	C2	564,04	6,90	836,5	10,24
	C3	636,7	7,79	1040,84	12,74
D	D1	1077,16	13,18	2067,08	25,30
	D2	1531,5	18,74	2189,69	26,80
	D3	1326,91	16,24	2030,75	24,85
E	E1	2324,43	28,45	2698,85	33,03
	E2	2534,56	31,02	2805,3	34,33
	E3	2467,78	30,20	2778,12	34,00
F	F1	2876,76	35,21	4035,34	49,39
	F2	2984,34	36,52	4096,86	50,14
	F3	3005,67	36,78	5102,45	62,45
G		15,56	0,19	25,7	0,31
H		22,45	0,27	27,39	0,34

**Tabla XII. Resultado de ensayo de adherencia, según norma francesa “Cahier 1779”**

No. Mezcla		Carga (Lb)	Tipo de falla
1	A-1	9,75	Falla por tracción en la capa base
	A-2	11	Fallo por tracción en la capa base
	A-3	8,3	Falla por adherencia entre capas
	A-4	12,2	Falla por tracción en la capa base
2	A-1	10,9	Falla por adherencia entre capas
	A-2	11,2	Falla por adherencia entre capas
	A-3	12,2	Falla por adherencia entre capas
	A-4	16,1	Falla por tracción en la capa base
3	A-1	35,5	Falla de la silicona
	A-2	41	Falla de la silicona
	A-3	36,5	Falla por adherencia entre capas
	A-4	42,5	Falla por adherencia entre capas
4	A-1	45	Falla de la silicona
	A-2	43	Falla por tracción en la capa base
	A-3	39,25	Falla de la silicona
	A-4	39	Falla por adherencia entre capas
5	A-1	49	Falla de la silicona
	A-2	42,5	Falla por adherencia entre capas
	A-3	36	Falla por tracción en la capa base
	A-4	51	Falla de la silicona
6	A-1	32	Falla por tracción en la capa base
	A-2	35	Falla por adherencia entre capas
	A-3	48	Falla por tracción en la capa base
	A-4	45	Falla de la silicona
7	A-1	38,3	Falla de la silicona
	A-2	44,2	Falla de la silicona
	A-3	37	Falla de la silicona
	A-4	40,5	Falla de la silicona
8	A-1	50	Falla de la silicona
	A-2	46	Falla de la silicona
	A-3	39	Falla de la silicona
	A-4	42,3	Falla de la silicona

**Tabla XIII. Resultado de ensayo de impacto, según norma ASTM F 1265-89**

No. Mezcla		Peso (kg)	H (cm)	Tipo de falla
1	A-1	5	60	hundimiento sección de impacto, no hay grieta
	A-2	5	60	Hundimiento en la sección del impacto
	A-3	5	50	hundimiento solo en la sección del impacto
	A-4	5	40	hundimiento y una grieta diminuta
2	A-1	5	40	hundimiento
	A-2	5	30	hundimiento y grietas
	A-3	5	40	grietas y hundimiento en la sección de impacto
	A-4	5	30	grietas y hundimiento en la sección de impacto
3	A-1	5	90	hundimiento y no hay grieta
	A-2	5	90	hundimiento no presenta fisura
	A-3	5	80	hundimiento y grieta
	A-4	5	80	hundimiento
4	A-1	5	70	hundimiento, no hay grieta
	A-2	5	80	hundimiento, no hay grieta
	A-3	5	80	hundimiento, no hay grieta
	A-4	5	100	hundimiento, pequeña grieta
5	A-1	5	100	hundimiento, pequeña grieta
	A-2	5	90	hundimiento, no hay grieta
	A-3	5	80	hundimiento, pequeña grieta
	A-4	5	80	hundimiento, pequeña grieta
6	A-1	5	130	no presenta falla
	A-2	5	80	hundimiento, grietas
	A-3	5	100	grietas y hundimiento en la sección de impacto
	A-4	5	130	no presenta falla
7	A-1	5	130	hundimiento
	A-2	5	130	no hay falla
	A-3	5	130	no hay falla
	A-4	5	130	no hay falla
8	A-1	5	130	no hay falla
	A-2	5	130	hundimiento leve
	A-3	5	130	no hay falla
	A-4	5	130	no hay falla

**Tabla XIV. Resultado de ensayo de permeabilidad, según norma francesa CSTB  
"Cahier 1779"**

No. Mezcla		Observaciones
1	A-1	Presenta filtración de 2 cm después de 30 minutos, y luego no hay filtración
	A-2	presenta filtración de 1,2 cm después de 30 minutos, no hay mas filtración
	A-3	No presenta filtración
	A-4	Presenta filtración de 2,5 cm, después de 6 horas
2	A-1	No presenta filtración
	A-2	No presenta filtración después de 24 horas
	A-3	Presenta una filtración de 8 cm, después de 24 horas
	A-4	presenta filtración de 2 cm, depuse de 4 horas
3	A-1	No presenta filtración
	A-2	No presenta filtración
	A-3	No presenta filtración
	A-4	Presenta una filtración de 0,01 cm después de 1 hora, luego no hay filtración
4	A-1	No presenta filtración
	A-2	No presenta filtración
	A-3	Presenta una filtración de 5 cm, después de 24 horas
	A-4	No presenta filtración
5	A-1	No presenta filtración
	A-2	Presenta una filtración de 2 cm, después de 24 horas
	A-3	Presenta una filtración de 8 cm, después de 24 horas
	A-4	No presenta filtración
6	A-1	No presenta filtración
	A-2	No presenta filtración
	A-3	No presenta filtración
	A-4	No presenta filtración
7	A-1	No presenta filtración
	A-2	No presenta filtración
	A-3	No presenta filtración
	A-4	No presenta filtración
8	A-1	No presenta filtración
	A-2	No presenta filtración
	A-3	No presenta filtración
	A-4	No presenta filtración

**Tabla XV. Resultado de los ensayos de absorción, según norma ASTM C - 67**

<b>NOMBRE</b>	<b>P.N.S (g)</b>	<b>P.N.H (g)</b>	<b>Ca (%)</b>
<b>1</b>	167,24	205,35	22,79
<b>2</b>	184,73	223,54	21,01
<b>3</b>	205,35	248,73	21,12
<b>4</b>	210,45	265,35	26,09
<b>5</b>	214,42	269,56	25,72
<b>6</b>	217,57	274,37	26,11
<b>7</b>	221,46	287,81	29,96
<b>8</b>	220,62	285,48	29,40

**Nomenclatura:**

P.N.S: Peso Neto Seco

P.N.H: Peso Neto Húmedo

Ca: Coeficiente de absorción

**Tabla XVI. Determinación de porcentaje de humedad y densidad relativa de testigos de pisos extraídos de aldea La Brea**

<b>TARA</b>	<b>E-3</b>	<b>E-5</b>	<b>E-13</b>	<b>E-14</b>	<b>E-15</b>
<b>PESO DE TARA (g)</b>	46,1	42,6	45,3	45,8	45,9
<b>P.B.H. (g)</b>	285,8	186,1	242	346,5	279,9
<b>P.N.H. (g)</b>	239,7	143,5	196,7	300,7	234
<b>P.B.S. (g)</b>	265,9	173,3	227,9	331,6	264,3
<b>P.N.S. (g)</b>	219,8	130,7	182,6	285,8	218,4
<b>% HUMEDAD</b>	<b>9,05</b>	<b>9,79</b>	<b>7,72</b>	<b>5,21</b>	<b>7,14</b>
<b>DENSIDAD (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1,36</b>	<b>1,44</b>	<b>1,23</b>	<b>1,44</b>	<b>1,38</b>

**Tabla XVII. Determinación de porcentaje de humedad y densidad relativa de testigos de pisos extraídos de aldea El Tule**

<b>TARA</b>	<b>A-1</b>	<b>E-1</b>	<b>E-2</b>	<b>E-3</b>	<b>E-4</b>
<b>PESO DE TARA (g)</b>	50,1	44,7	46,9	46,1	45,5
<b>P.B.H. (g)</b>	319,5	299,1	322,5	272,2	329,3
<b>P.N.H. (g)</b>	269,4	254,4	275,6	226,1	283,8
<b>P.B.S. (g)</b>	296,4	284,7	288,6	248,3	308,8
<b>P.N.S. (g)</b>	246,3	240	241,7	202,2	263,3
<b>% HUMEDAD</b>	<b>9,38</b>	<b>6,00</b>	<b>14,03</b>	<b>11,82</b>	<b>7,79</b>
<b>DENSIDAD (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1,34</b>	<b>1,6</b>	<b>1,95</b>	<b>1,42</b>	<b>1,6</b>

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para definir la metodología establecida para la elaboración y evaluación de mezclas para pisos, se estudiaron los diferentes métodos de construcción de pisos con arcilla ya existentes y otros materiales, con lo que se logró determinar que el método suelo-cal es el que mejor se adecua a los requerimientos y características necesarias, economía y durabilidad.

Se puede deducir, según el análisis de granulometría, que los materiales analizados para la fabricación de pisos para el área de Quezada, Jutiapa, tienen bajo contenido de agregado grueso o grava, tiene un porcentaje alto de finos para el área de La Brea y bajo para el área de El Tule, se encuentran en un rango considerable de arena, por lo que se decidió hacer la estabilización de suelo con cal.

En lo que se refiere al ensayo de los Límites de Atterberg se logra determinar que el índice de plasticidad esta en un rango de 7% al 20% por lo que representa que no hay variación considerable en la humedad de los suelos al mantenerlos en estado plástico.

El ensayo de gravedad específica, indica que hay una diferencia considerable del 10% al 15% en el volumen que ocupan las diferentes partículas entre los tres bancos de material, por lo que se puede comparar con los resultados del ensayo de granulometría que indican la ausencia de agregado grueso o grava en los materiales.

De acuerdo al ensayo de compactación Proctor, el porcentaje de humedad óptima para cada banco de suelo varía en un rango de 5% a 8 %, lo cual no permite determinar una cantidad específica de agua que se deba agregar a la mezcla de la capa base, por lo que hay que tener un control de humedad necesario al momento de la elaboración.

De acuerdo a los resultados y a la gráfica del cálculo del pH, en algunos suelos el pH no superará 12.3, lo cual es muy común en las arcillas ya que estos están sujetos al cambio por iones univalentes como el sodio, en otros es necesario un porcentaje más alto de cal para subir el nivel de pH.

Comparando los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados en la caracterización de los bancos de materiales, se observa que hay variación considerable de una muestra a otra, por lo que no se puede establecer un rango de valores que caractericen una sola mezcla.

Los resultados del ensayo a compresión demuestran que la mezcla con mayor resistencia es la que contiene cemento y cal, pero también así representa un costo muy elevado lo cual afecta uno de los propósitos del presente trabajo.

Las fallas producidas en las probetas mediante la aplicación del ensayo de adherencia se determinaron como; falla de la silicona, ocurrió cuando no hubo ningún arrancamiento del acabado y solo se despegó la placa, falla de adherencia entre capas y falla de tracción o corte en el interior de la capa base, ocurre cuando el desprendimiento de la capa es total y se trae consigo parte de la capa base.



En la prueba de impacto en todas las probetas, se observó que la carga utilizada para el impacto no produjo una significativa penetración, ni grieta considerable en la superficie de la misma, por lo cual indica una buena resistencia a la acción de las cargas de impacto.

En lo relacionado a la prueba de permeabilidad y absorción de agua, se pudo determinar que la capa final de acabado proporciona una protección y permeabilidad a la filtración de agua y que la capa base por ser densa y tener la compactación necesaria absorbe menos cantidad de agua.

Para la aplicación del piso en las aldeas, constituido por suelo y cal, se obtuvo una mezcla homogénea y uniforme, lo que permitió que al compactarse quedara una capa consistente y con resultados esperados, siendo un factor muy importante al final del proceso, el tiempo que se dio para el fraguado, ya que se mantuvo un mínimo de 5 días con suficiente agua que cubriera toda la superficie del piso.

En la tercera capa, acabado final se presentaron algunas fisuras, a pesar que se tomaron en cuenta todas las recomendaciones necesarias, esto se debe probablemente al espesor de la capa de acabado o combinación de materiales suelo con el cemento, por lo que deberá estudiarse más.

En general se puede concluir que los resultados obtenidos de los pisos construidos en las aldeas del proyecto, se apegan a los valores y resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, desde las tolerancias establecidas por las normas así como la resistencia máxima y mínima que deben ofrecer los pisos en el área rural.

En cuanto a las funciones que debe cumplir el piso, se puede decir, que si se han cumplido algunas, como los son: comodidad al caminar, temperatura confortable, protección contra la humedad y que tienen un impacto de gran intensidad respecto a la mejora de viviendas del área rural como en el ámbito social y de salubridad, pues la aplicación del mismo disminuye la incrementación de vectores que producen daños a la salud, como insectos y otros focos de infección.

## CONCLUSIONES

1. Proponer una metodología para la elaboración de pisos para viviendas del área rural, lleva a la determinación de la construcción de un sistema que cumpla con las características físicas y mecánicas que resista los esfuerzos y las abrasiones a las que será sometida y que más se adecue a la propuesta, debido a la reducción de costos en los materiales utilizados como es el caso de tierra apisonada y el piso suelo-cal.
2. Con base a los ensayos de laboratorio que fueron sometidos las muestras de suelo y las probetas de piso, se llegó a establecer una mezcla que cumple con los requerimientos necesarios que consta de 50% de arcilla, 50% de ceniza y 5% del volumen obtenido de la mezcla en cal, con una humedad adecuada que permita compactar a 400 golpes por metro cuadrado.
3. Se logró establecer una metodología de ensayo en la cual el equipo se adecuo a los insumos con que se contaba en laboratorio y con modificaciones referente a las normas, que fue pieza fundamental en la obtención de los valores de resultados para la elaboración del piso.
4. Se observó que en algunos casos la última capa de acabado puede sufrir fallas, fracturas y grietas superficiales, debido fundamentalmente a los cambios bruscos de temperatura y a las contracciones al momento del curado.

5. Referente a la caracterización de los materiales se determinó que todo tipo de suelo que posea un 55% a 75% de arena y entre 25% a 45% de finos, son adecuados para la hechura de pisos de tierra estabilizados con cal.
6. El sistema de piso tierra estabilizado con cal, tiene la desventaja que es un método mas trabajoso que otros, requiere de mas esfuerzo físico y disponibilidad de tiempo, pero tiene la ventaja que lo pueden trabajar los mismos propietarios de la vivienda, utilizando material de su terreno y así tener un costo mas bajo que los otros métodos de construcción.
7. La construcción de un sistema monolítico y la construcción de probetas de piso, no difiere en los resultados de laboratorio, dando resultados verídicos, los cuales se pueden utilizar de buena forma en la técnica de construcciones de mayor envergadura tal es el caso de la construcción de un patio, o ambientes mayores.

## RECOMENDACIONES

1. Esta metodología está diseñada para viviendas del área rural, sin embargo, es necesario recopilar información acerca de los tipos de suelos de otras zonas o departamentos del país, y así poder determinar un grado de comparación entre unas y otras.
2. La superficie en donde se va a construir un piso de tierra-cal deberá limpiarse lo mejor posible, tratando de remover toda clase de materiales extraños como raíces de árboles, piedras y en general todos aquellos objetos ajenos al suelo propiamente dicho.
3. Para la elaboración del piso en ambientes de gran tamaño, se recomienda usar apisonadores de mayor área para que permita agilizar el proceso de fabricación y no afectar la humedad adecuada de la mezcla.
4. Es necesario durante el proceso de preparación de los materiales observar y verificar la humedad que contiene tanto el suelo como la puzolana, especialmente el primero que absorbe gran cantidad de agua del medio ambiente, y en mayor cantidad durante la época lluviosa, ya que puede tener una influencia determinante en la mezcla de los materiales.

5. Después de elaboración la mezcla debe ser colocada casi en forma inmediata, para evitar que se aterrone nuevamente y que no pierda agua por evaporación. La cal, el cemento y otros materiales aglutinantes, también deben almacenarse para evitar su deterioro provocado por la humedad del medio ambiente.
  
6. Previo a la utilización del piso, es necesario y recomendable que se sellen todas aquellas fracturas o grietas que puedan haber surgido en la superficie como consecuencia de un curado deficiente. Para el efecto, una lechada hecha a base de algún material aglutinante puede dar buenos resultados.
  
7. Cuando se esté preparando la mezcla deberá evitarse la formación de los grumos producidos por la cal, si quiere tenerse una mezcla lo mas homogénea posible, además de respetar los proporciones y porcentajes de materiales establecidos en la elaboración de la mezcla para obtener los mejores resultados durante el proceso constructivo de esta clase de piso.

## REFERENCIAS

1. Instituto Nacional de Estadística, (INE). Censo Nacional, 2002.
2. Dumas, Gustavo Adolfo. Evaluación de un sistema de piso de tierra apisonada estabilizada con cal en una vivienda en Amatitlan. Tesis Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Julio 1990.
3. Farrington Acuña, Wayne Albert. Sistema constructivo de Piso Tierra-Cal. Tesis Ing. Civil. Universidad de San Carlos, Marzo de 1987.
4. Nacional Lime Association, Manual de Estabilización de suelo tratado con cal, enero 2004. Boletín 326.





## BIBLIOGRAFÍA

1. Ara Arriola, Telésforo. "COMPORTAMIENTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE SUELOS Y LOS MÉTODOS PARA ESTABILIZARLOS". Tesis de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2000.
2. Argueta Martínez, Mario Guilfredo. PROPUESTA Y EVOLUCION DE PISO DE BAJO COSTO A BASE DE TIERRA PARA UNA VIVIENDA RURAL. Trabajo de graduación de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005.
3. Dumas, Gustavo Adolfo. EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE PISOS DE TIERRA APISOMNADA ESTABILIZADA CON CAL EN UNA VIVIENDA EN AMATITLAN. Tesis de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 1990.
4. Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso. "MECÁNICA DE SUELOS". Tomo 1 y 2. México, 1986.
5. Lambe, T. William. "MECÁNICA DE SUELOS". Editorial Noriega Limusa. México, 1995.
6. Little, Dallas N. "DISEÑO DE MEZCLAS Y PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA SUELOS ESTABILIZADOS CON CAL". National Lime Association. Marzo 2000.
7. Lou, Roberto. "BLOQUES DE SUELOS ESTABILIZADOS". Tesis de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería USAC. Guatemala, 1955.
7. "MANUAL DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO TRATADO CON CAL", National Lime Association. Enero 2004.
8. Medrano Mendez, Omar Enrique. RELACIÓN ENTRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MINERALÓGICA Y LA ADHERENCIA MECÁNICA DE SUELOS USADOS EN REVISTIMIENTO DE MUROS DE TIERRA. Trabajo de graduación de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, abril 2004.

9. Molina Gallardo, Jorge Federico. EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE PISOS DE TIERRA COMPACTADA ESTABILIZADA PARA VIVIENDA ECONÓMICA. Tesis de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala ,1986.
10. Parir Quelex, Julio Oswaldo. ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE NORMA PARA CONSTRUCCIÓN DE ADOBE. Trabajo de graduación de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. 2003.
11. Solares Díaz, Jorge Ovidio. MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS. Tesis de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos. 1978.
12. "SUELOS ESTABILIZADOS CON CAL". Calhidra de Sonora S.A. de C.V. Soporte Técnico. Referencia:  
[http://calhidra.com.mx/download/Estabilizacion\\_Sm.pdf](http://calhidra.com.mx/download/Estabilizacion_Sm.pdf), abril 2008.

## APÉNDICE



## APÉNDICE A.

Resultados de ensayos de granulometría.

Tabla XVIII. Determinación de granulometría, según norma AASHTO T - 27

BANCO: El Cuje

ALDEA: El Tule

### MUESTRA TOTAL

Peso Bruto Seco: 768,3 gr.

Tara: 131,7 gr.

Peso Neto Seco: 636,6 gr.

Tamiz No.	Abertura (mm)	Peso Bruto (gr)	Tara (gr)	Peso Neto	Porcentaje
3/4"	19	762	131,7	630,3	100,00
4	4,76	736,3	131,7	604,6	95,96
10	2	614,1	131,7	482,4	76,77
40	0,42	360,9	131,7	229,2	36,99
200	0,074			6,3	0,99

Grava: 4,04 %

Arena: 94,97 %

Finos: 0,99 %

**Tabla XIX. Determinación de granulometría, según norma AASHTO T - 27**

BANCO: La Tejera del coche

ALDEA: La Brea

**MUESTRA TOTAL**

Peso Bruto Seco: 1810 gr.

Tara: 319,7 gr.

Peso Neto Seco: 1490 gr.

Tamiz No.	Abertura (mm)	Peso Bruto (gr.)	Tara (gr.)	Peso Neto	Porcentaje
3/4"	19	1375	319,7	1055,3	100,00
4	4,76	1342,5	319,7	1022,8	97,82
10	2	1294,6	319,7	974,9	94,60
40	0,42	977,8	319,7	658,1	73,34
200	0,074			434,7	29,17

Grava: 2,18 %

Arena: 68,64 %

Finos: 29,17 %

**Tabla XX. Determinación de granulometría, según norma AASHTO T - 27**

BANCO: El Guayabal

ALDEA: El Tule

MUESTRA TOTAL

Peso Bruto Seco: 1200 gr.

Tara: 261,8 gr.

Peso Neto Seco: 938,2 gr.

Tamiz No.	Abertura (mm)	Peso Bruto (gr)	Tara (gr)	Peso Neto	Porcentaje
3/4"	19	1173,7	261,8	911,9	100,00
4	4,76	1165	261,8	903,2	99,07
10	2	1126,5	261,8	864,7	94,97
40	0,42	657,2	261,8	395,4	44,95
200	0,074			26,3	2,80

Grava: 0,93 %

Arena: 96,27 %

Finos: 2,80 %

**Tabla XXI. Determinación de granulometría, según norma AASHTO T - 27**

BANCO: Los Pósitos

NOMBRE DEL MATERIAL: Selecto Lavado

ALDEA: Quezada, Jutiapa

MUESTRA TOTAL

Peso Bruto Seco: 752,5 gr.

Tara: 152,5 gr.

Peso Neto Seco: 600 gr.

Tamiz No.	Abertura (mm)	Peso Bruto (gr)	Tara (gr.)	Peso Neto	Porcentaje
3/4"	19	616,3	152,4	463,9	100,00
4	4,76	607,8	152,4	455,4	98,58
10	2	557,2	152,4	404,8	90,15
40	0,42	323,5	152,4	171,1	51,20
200	0,074			136,1	22,68

Grava: 1,42 %

Arena: 75,90 %

Finos: 22,68 %



## APÉNDICE B.

Resultados de ensayos de límites de Atterberg.

**Tabla XXII. Determinación de los límites de Atterberg, según norma AASTHO D – 4318, AASHTO T – 89, T – 90, T – 146**

BANCO: El Cuje

ALDEA: El Tule

DESCRIPCION				
ENSAYO	LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
GOLPES	34	34		
TARRO	C-5	A-31	A-16	A-18
PBH gr.	40	38,8	27,8	28,1
PBS gr.	34,5	33,7	25,7	25,8
TARA gr.	24,9	24,8	20,4	20,3
DIF gr.	5,5	5,1	2,1	2,3
PNS gr.	9,6	8,9	5,3	5,5
HUMEDAD	57,29	57,3	39,62	41,81
PROMEDIO	57,295		40,715	
Límite Líquido:			59,46	
Límite Plástico:			40,71	
Índice de Plasticidad:			18,75	

L.L. = No. Golpes \* K

N	K	N	K	N	K
15	0,9401	22	0,9847	29	1,0181
16	0,9474	23	0,9900	30	1,0223
17	0,9544	24	0,9951	31	1,0264
18	0,9610	25	1,0000	32	1,0303
19	0,9673	26	1,0048	33	1,0342
20	0,9734	27	1,0094	34	1,0379
21	0,9791	28	1,0138	35	1,0416

**Tabla XXIII. Determinación de los límites de Atterberg, según norma AASTHO D – 4318,  
AASHTO T – 89, T – 90, T - 146**

BANCO: La Tejera del coche

ALDEA: La Brea

DESCRIPCION				
ENSAYO	LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
GOLPES	25	25		
TARRO	A-9	A-52	C-27	A-55
PBH gr.	39	45,6	35,5	37,3
PBS gr.	34,1	40,1	33,2	34,5
TARA gr.	20,2	24,7	24,5	24,7
DIF gr.	4,9	5,5	2,3	2,8
PNS gr.	13,9	15,4	8,7	9,8
HUMEDAD	35,25	35,71	26,44	28,57
PROMEDIO	35,48		27,505	
Límite Líquido:			35,48	
Límite Plástico:			27,50	
Índice de Plasticidad:			7,98	

$$L.L. = \text{No. Golpes} * K$$

N	K	N	K	N	K
15	0,9401	22	0,9847	29	1,0181
16	0,9474	23	0,9900	30	1,0223
17	0,9544	24	0,9951	31	1,0264
18	0,9610	25	1,0000	32	1,0303
19	0,9673	26	1,0048	33	1,0342
20	0,9734	27	1,0094	34	1,0379
21	0,9791	28	1,0138	35	1,0416

**Tabla XXIV. Determinación de los límites de Atterberg, según norma AASTHO D – 4318,  
AASHTO T – 89, T – 90, T - 146**

BANCO: El Guayabal

ALDEA: El Tule

DESCRIPCIÓN				
ENSAYO	LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
GOLPES	28	28		
TARRO	A-45	C-12	C-18	D-2
PBH gr.	58,9	48	32,5	32,9
PBS gr.	50,2	42,2	30,8	31,3
TARA gr.	24,6	24,7	24,4	24,7
DIF gr.	8,7	5,8	1,7	1,6
PNS gr.	25,6	17,5	6,4	6,6
HUMEDAD	33,98	33,14	26,56	24,24
PROMEDIO	33,56		25,4	
Límite Líquido:			34,00	
Límite Plástico:			25,4	
Índice de Plasticidad:			8,6	

$$L.L. = \text{No. Golpes} * K$$

N	K	N	K	N	K
15	0,9401	22	0,9847	29	1,0181
16	0,9474	23	0,9900	30	1,0223
17	0,9544	24	0,9951	31	1,0264
18	0,9610	25	1,0000	32	1,0303
19	0,9673	26	1,0048	33	1,0342
20	0,9734	27	1,0094	34	1,0379
21	0,9791	28	1,0138	35	1,0416



## APÉNDICE C.

Resultados de ensayo de gravedad específica.

**Tabla XXV. Determinación de gravedad específica, según norma ASTM C - 128**

BANCO: El Cuje

ALDEA: El Tule

Determinación No.		<b>1</b>	<b>2</b>
Capacidad de matraz (nominal)		500cc	500cc
Peso del matraz limpio y seco	Wm	179,9	180,5
Peso matraz + suelo seco	Wms	279,9	280,4
Peso del suelo seco	Ws	100	100
Peso matraz + suelo seco + agua	Wmsw	733,5	734,1
Peso matraz + agua	Wmw	678,6	678,9
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	<b>2,22</b>	<b>2,23</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>2,22</b>	

**Tabla XXVI. Determinación de gravedad específica, según norma ASTM C - 128**

BANCO: La Tejera del Coche

ALDEA: La Brea

Determinación No.		<b>1</b>	<b>2</b>
Capacidad de matraz (nominal)		500cc	500cc
Peso del matraz limpio y seco	Wm	179,9	180,5
Peso matraz + suelo seco	Wms	249,9	250,5
Peso del suelo seco	Ws	70	70
Peso matraz + suelo seco + agua	Wmsw	717,4	718,3
Peso matraz + agua	Wmw	678,6	678,9
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	<b>2,24</b>	<b>2,29</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>2,27</b>	

**Tabla XXVII. Determinación de gravedad específica, según norma ASTM C - 128**

BANCO: El Guayabal

ALDEA: El Tule

Determinación No.		<b>1</b>	<b>2</b>
Capacidad de matraz (nominal)		500cc	500cc
Peso del matraz limpio y seco	Wm	180,5	216,7
Peso matraz + suelo seco	Wms	250,5	286,7
Peso del suelo seco	Ws	70	70
Peso matraz + suelo seco + agua	Wmsw	715,6	751,8
Peso matraz + agua	Wmw	678,9	714,9
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	<b>2,10</b>	<b>2,11</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>2,11</b>	

**Tabla XXV. Determinación de gravedad específica, según norma ASTM C - 128**

BANCO: Los Pósitos

ALDEA: Quezada, Jutiapa

Determinación No.		<b>1</b>	<b>2</b>
Capacidad de matraz (nominal)		500cc	500cc
Peso del matraz limpio y seco	Wm	186,6	186,3
Peso matraz + suelo seco	Wms	266,6	266,3
Peso del suelo seco	Ws	80	80
Peso matraz + suelo seco + agua	Wmsw	734,3	733,9
Peso matraz + agua	Wmw	684,5	684,7
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Gs	<b>2,65</b>	<b>2,60</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>2,62</b>	

## APÉNDICE D.

Resultado de ensayo de compactación.

**Tabla XXIX. Determinación de ensayo de compactación proctor, según norma AASHTO T-180**

BANCO: El Cuje

ALDEA: El Tule

No. de Capas: 5 Peso del Martillo: 10 lb.

No. de Golpes: 26

No. de Columna:	1		2		3		4	
Intervalo de Humedad:	10		15		20		25	
P.B.H.	5750		5830		5880		5850	
TARA	4220		4220		4220		4220	
P.N.H.	1530		1610		1660		1630	
P.U.H.	101,1		106,4		109,7		107,7	
Tarro	y	x	y	x	y	x	y	x
P.B.H.	79,5	75,8	78,6	76,4	69	75,9	69,4	68,3
P.B.S.	68,4	64,9	66,8	65,1	57,8	62,8	58,7	55,7
Tara	20,4	20,1	24,9	24,8	24,6	24,7	24,7	24,3
Dif.	11,1	10,9	11,8	11,3	11,2	13,1	10,7	12,6
P.N.S.	48	44,8	41,9	40,3	33,2	38,1	34	31,4
% DE HUMEDAD	23,13	24,33	28,16	28,04	33,73	34,38	31,47	40,13
% DE H. PROMEDIO	23,7		28,1		34,06		35,80	
P.U.S.	81,71		83,05		81,82		79,32	

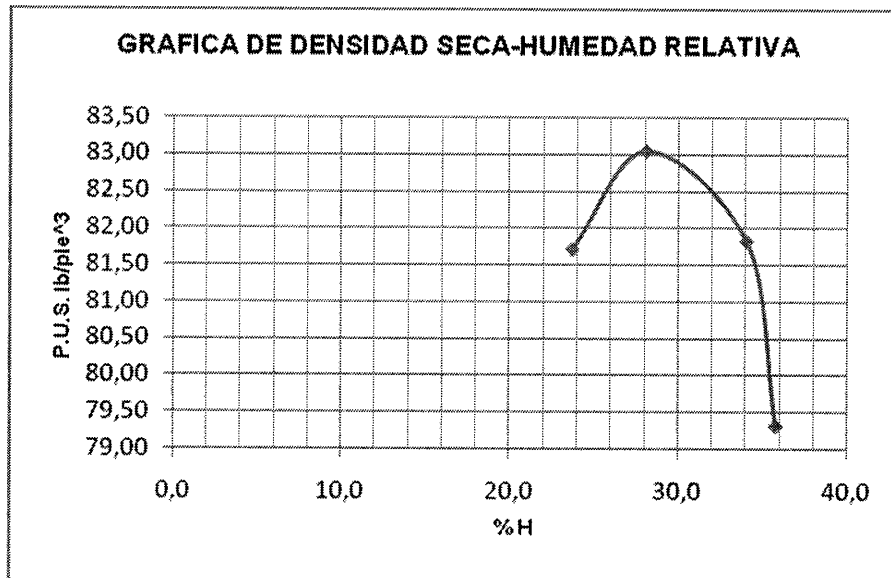
P.U.S. Máx.:

1329,66 kg/m<sup>3</sup>

83 lb/pie<sup>3</sup>

Humedad óptima: 28,10%

Figura 59. Gráfica de proctor, banco El Cuje





**Tabla XXX. Determinación de ensayo de compactación proctor, según norma AASHTO  
T-180**

BANCO: La Tejera del Coche

ALDEA: La Brea

No. de Capas:

5 Peso del Martillo: 10 lb.

No. de Golpes: 27

No. de Columna:	1		2		3		4		5	
Intervalo de Humedad:	10		14		18		22		26	
P.B.H.	5600		5670		5750		5810		5780	
TARA	4260		4260		4260		4260		4260	
P.N.H.	1340		1410		1490		1550		1520	
P.U.H.	88,5		93,2		98,5		102,4		100,4	
Tarro	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x
P.B.H.	57	54	61,1	65,5	75	60	62,6	54,9	70,1	59,7
P.B.S.	54,1	51,4	56,6	60	67,4	54,8	54,7	48,8	60,6	52,5
Tara	24,3	20,4	20,5	24,3	24,4	24,9	20,3	21,6	24,6	24,7
Dif.	2,9	2,6	4,5	5,5	7,6	5,2	7,9	6,1	9,5	7,2
P.N.S.	29,8	31	36,1	35,7	43	29,9	34,4	27,2	36	27,8
% DE HUMEDAD	9,73	8,39	12,47	15,41	17,67	17,39	22,97	22,43	26,39	25,90
% DE H. PROMEDIO	9,1		13,9		17,53		22,70		26,14	
P.U.S.	81,19		81,78		83,77		83,48		79,62	

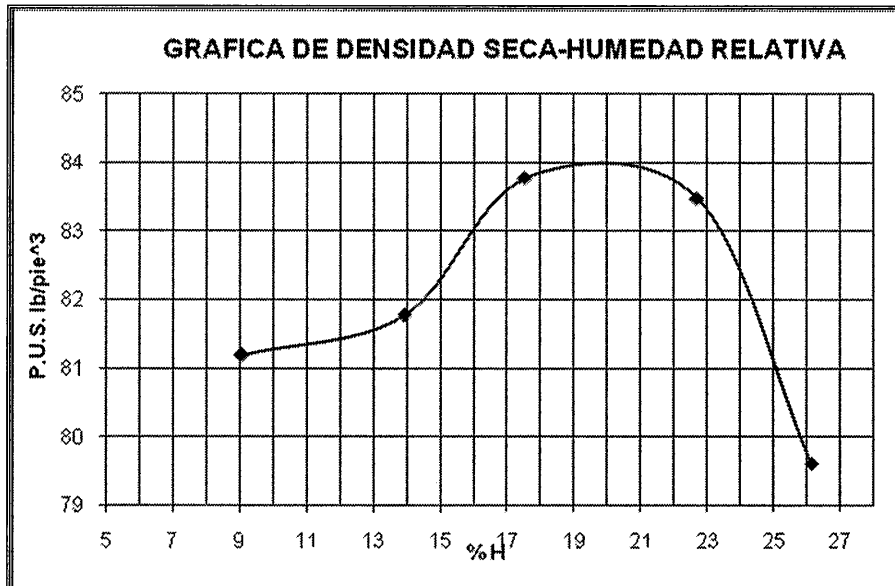
P.U.S. Máx.:

Humedad óptima: 19,75%

1345,68 kg/m<sup>3</sup>

84 lb/pe<sup>3</sup>

Figura 60. Gráfica de proctor, banco La Tejera



**Tabla XXXI. Determinación de ensayo de compactación proctor, según norma AASHTO T-180**

BANCO: El Guayabal

ALDEA: El Tule

No. de Capas: 5    Peso del Martillo: 10 lb.    No. de Golpes: 26

No. de Columna:	1		2		3		4	
Intervalo de Humedad:	5		10		15		20	
P.B.H.	5920		6110		6180		6040	
TARA	4220		4220		4220		4220	
P.N.H.	1700		1890		1960		1820	
P.U.H.	112,3		124,9		129,5		120,3	
Tarro	y	x	y	x	y	x	y	x
P.B.H.	45,6	41,5	79,5	72	98,5	87,2	63,3	64,8
P.B.S.	44,3	39,8	72,6	65,7	87,2	77,2	55,8	56,8
Tara	23,9	24,7	20,3	18,8	24,8	19,9	24,7	24,3
Dif.	1,3	1,7	6,9	6,3	11,3	10	7,5	8
P.N.S.	20,4	15,1	52,3	46,9	62,4	57,3	31,1	32,5
% DE HUMEDAD	6,37	11,26	13,19	13,43	18,11	17,45	24,12	24,62
% DE H. PROMEDIO	8,8		13,3		17,78		24,37	
P.U.S.	103,23		110,22		109,96		96,70	

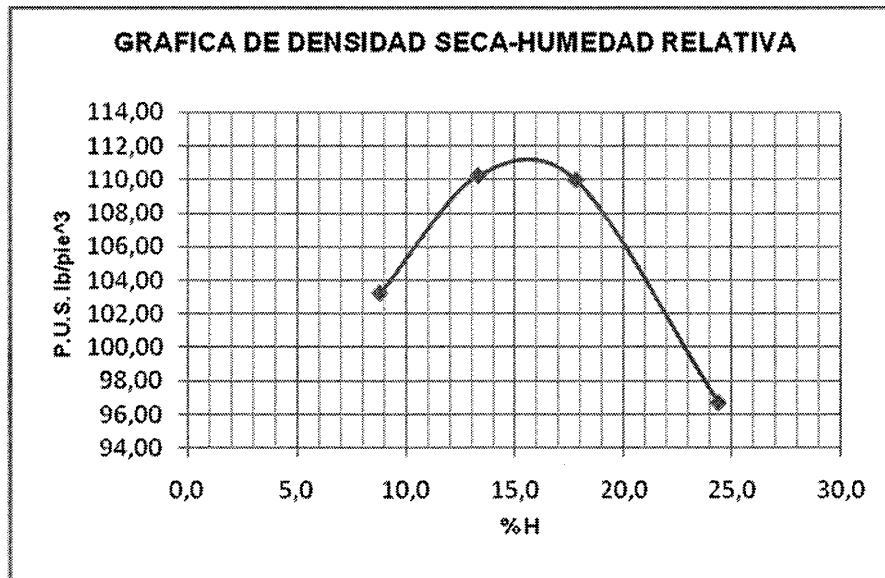
P.U.S. Máx.:

1786,23 kg/m<sup>3</sup>

111,5 lb/pie<sup>3</sup>

Humedad óptima: 15,50%

Figura 61. Gráfica de proctor, banco El Guayabal



## APÉNDICE E.

Resultado de ensayo de pH.

Tabla XXXII. Determinación del pH, según norma ASTM D 6276 – 99<sup>a</sup>

Tejera del Coche

% Cal	pH
0	6.59
2	12.07
3	12.4
4	12.27
5	12.28
6	12.32
100	12.4

José Manuel Villanueva

% Cal	pH
0	7.651
2	11.581
3	12.073
4	12.221
5	12.261
6	12.292
100	12.4

Oscar Salazar

% Cal	pH
0	7.94
2	11.66
3	12.10
4	12.28
5	12.33
6	12.36
100	12.4

El Cuje

% Cal	pH
0	6.266
2	10.67
3	11.67
4	11.913
5	12.205
6	12.265
100	12.4

Adolfo Villanueva

% Cal	pH
0	6.40
2	11.00
3	11.75
4	11.90
5	11.95
6	12.00
100	12.4

Ceniza Volcánica

% Cal	pH
0	8.16
2	12.40
3	12.40
4	12.40
5	12.45
6	12.46
100	12.4

Rigoberto Mejía

% Cal	pH
0	7.50
2	11.42
3	11.86
4	11.95
5	12.05
6	12.08
100	12.4



## APÉNDICE F.

Proporciones de materiales utilizados en el piso conforme al área superficial.

**Tabla XXXIII. Descripción de la cantidad de materiales a utilizar en la capa base del piso, según el área a cubrir**

MATERIALES	Área de habitación (m <sup>2</sup> )																													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30							
Selecto*	20	23	25	28	30	33	35	38	40	43	45	48	50	53	55	58	60	63	65	68	70	73	75							
Arcilla*	20	23	25	28	30	33	35	38	40	43	45	48	50	53	55	58	60	63	65	68	70	73	75							
Cal Hidratada	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7							

\*Material pasado por el tamiz grueso

\*\*Material pasado por el tamiz fino

**Tabla XXXIV. Descripción de la cantidad de materiales a utilizar en la segunda capa del piso, según el área a cubrir**

MATERIALES	Área de habitación (m <sup>2</sup> )																													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30							
Selecto**	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3							
Cemento	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3							
Arena de río**	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6							

\*Material pasado por el tamiz grueso

\*\*Material pasado por el tamiz fino

**Tabla XXXV. Descripción de la cantidad de materiales a utilizar en la capa pasta del piso, según el área a cubrir**

MATERIALES	Área de habitación (m <sup>2</sup> )																													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30							
Pigmento (bolsa)	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3							
Cemento	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2	2	2	2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3	3	3	3	3							

\*Material pasado por el tamiz grueso

\*\*Material pasado por el tamiz fino

