

**INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL MATERIAL TIERRA
PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS - BTC**

**ZEUDIEL CABALLERO ANAYA
GABRIEL ALBERTO MARTINEZ BARAJAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2009**

**INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL MATERIAL TIERRA
PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS - BTC**

**ZEUDIEL CABALLERO ANAYA
GABRIEL ALBERTO MARTINEZ BARAJAS**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero Civil**

**DIRECTOR
WILFREDO DEL TORO RODRIGUEZ
INGENIERO CIVIL M.Sc. GEOTECNIA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2009**

A Dios, por guiar el camino de mi existencia
A mi hija Valentina, por ser la luz de mi alma
A mi nona Josefina, por ser mi inspiración y coraje
A mi mama Alix, por darle sentido a cada día de mi vida y estar a mi lado en los buenos y malos momentos.
A Jazmín, por brindarme su apoyo a través de todos estos años.
A mi hermano, Uylfren, por su incondicionalidad
A mis tíos, Miryan y Marcolino por su generosidad
A mis amigos por colaborarme en todo, incluso en la construcción de los bloques para el proyecto de grado.

Zeudiel Caballero Anaya

A Dios

A mi mama por darme la vida y todo su amor...Eres la mejor mujer del mundo.

A mi papa por estar siempre conmigo y ser mi mejor amigo.

A mi hermana y sobrinos por animarme siempre y quererme tanto.

A mis amigos por todas las cosas vividas...Rozo, Carlos, Churco

Gabriel Alberto Martínez Barajas

AGRADECIMIENTOS

Gracias al profesor Wilfredo Del Toro por su colaboración incondicional para la elaboración de este proyecto.

Gracias al arquitecto Jaime Higuera por facilitarnos las herramientas y su experiencia para la elaboración de los bloques.

Gracias a la Escuela de ingeniería civil de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, Profesores, estudiantes y trabajadores que con su labor ayudan a construir una mejor sociedad.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	19
1. LA TIERRA COMO ALTERNATIVA EN LA CONSTRUCCION	21
1.1 MUROS MONOLÍTICOS EN TIERRA	21
1.1.1 Técnicas sin encofrado.....	21
1.1.2 Técnicas con encofrado.....	23
1.2 MUROS CON MODULOS DE TIERRA	24
1.2.1 Técnicas de módulos de tierra sin encofrado	24
1.2.2 Técnicas de módulos de tierra con encofrado	26
1.3 MUROS EN TIERRA CON ESTRUCTURA PORTANTE.....	27
1.3.1 Técnicas con estructura en madera rellenos de fibras con barro y compactadas	27
1.3.2 Técnicas con estructuras portantes de elementos rellenos en tierra.	28
1.3.3 Estructuras en elementos ralos.....	28
1.3.4 Estructuras con elementos estrechos.....	28
1.3.5 Estructuras con elementos juntos.....	29
1.4 OTROS TIPOS DE CONSTRUCCIONES	30
1.4.1 Arquitectura enterrada.....	30
2. BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS.....	32
2.1 LA CONSTRUCCIÓN EN TIERRA HOY.....	32
2.2 PORQUE NO ABANDONAR LA CONSTRUCCIÓN EN TIERRA.....	34
2.3 EL RENACER DE LAS CONSTRUCCIONES EN TIERRA.....	35
2.4 LA TIERRA COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO.....	37
2.5 BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS	41
2.6 PRENSAS COMERCIALES.....	42
2.6.1 Características de las prensas.....	44
2.7 PROCESO CINVA – RAM	49
2.7.1 Equipo.....	49
2.7.2 Fabricación del bloque.....	51
3. EL SUELO	53
3.1 CONSTITUCIÓN DE LOS SUELOS.....	53
3.2 RECONOCIMIENTO DEL SUELO.....	53

3.2.1 Pruebas de laboratorio de los suelos.....	54
3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.....	57
3.3.1 Características óptimas del suelo.	59
4. ESTABILIZACION DEL SUELO	63
4.1 ESTABILIZACIÓN SIN APOORTE DE ESTABILIZANTE.....	64
4.1.1 Compactación.....	64
4.2 ESTABILIZACIÓN CON APOORTE DE ESTABILIZANTE.....	68
4.2.1 Cemento portland.	68
4.2.2 La cal.	71
5. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS	73
5.1 GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS EN ESTUDIO	73
5.1.1 Granulometría suelo de Barichara y Piedecuesta.....	73
5.2 LÍMITES DE ATTERBERG DE LOS SUELOS EN ESTUDIO.....	74
5.2.1 Límites de Atterberg suelo de Barichara y Piedecuesta.	74
5.3 COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS EN ESTUDIO	74
5.3.1 Ensayo de compactación suelo de Barichara y Piedecuesta.....	74
5.4 CLASIFICACION DEL SUELO PARA ESTABILIZACIÓN	74
5.4.1 Zonas de estabilización para el suelo de Barichara y Piedecuesta.	74
5.5 CARTA DE PLASTICIDAD	75
5.5.1 Carta de plasticidad para el suelo de Barichara y Piedecuesta. ...	75
5.6 CARACTERISTICAS DE LOS FINOS EN LAS MUESTRAS DE SUELO.....	76
5.6.1 Características de los finos en el suelo de Barichara y Piedecuesta	76
5.7 AJUSTE POR GRANULOMETRÍA	78
6. ELABORACION DE LOS BLOQUES COMPRIMIDOS.....	81
6.1. SELECCIÓN DE LOS SITIOS PARA LA TOMA DE MUESTRAS. .	81
6.2. SELECCIÓN DE GRANULOMETRÍAS Y ESTABILIZANTES	81
6.3. CANTIDAD DE BLOQUES	85
6.4. PESOS	85
6.5 MEZCLADO.....	90
6.6 PRENSADO DE LOS BLOQUES	91
6.6.1 Llenado del molde.....	91

6.6.2 Prensado	92
6.6.3 Obtención del bloque.....	93
7. INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA EN LOS BLOQUES SOMETIDOS A COMPRESIÓN SIMPLE.	94
7.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN.	94
7.2 CURVAS ESFUERZO DEFORMACIÓN.....	98
7.3 CARGAS DE FALLA, ESFUERZOS DE COMPRESIÓN Y DENSIDADES PARA UNA MISMA CANTIDAD DE ESTABILIZANTE.	108
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
BIBLIOGRAFIA.....	118
ANEXOS.....	119

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1-1 Construcción en bauge.....	23
FIGURA 1-2 Muro en tapia pisada.....	24
FIGURA 1-3 Construcción con esferas de tierra.....	25
FIGURA 1-4 Construcción en sod.....	25
FIGURA 1-5 Construcción con adobe.....	26
FIGURA 1-6 Casa en bolsas de tierra.....	27
FIGURA 1-7 Construcción en bahareque sin terminación en cal.....	29
FIGURA 1-8 Construcción en quincha.....	30
FIGURA 2-1 Edificaciones en tierra de Australia.....	33
FIGURA 2-2 Prensa CINVA RAM utilizada en la investigación.....	44
FIGURA 2-3 Prensa manual CINVA RAM.....	49
FIGURA 2-4 Elementos de la prensa manual CINVA RAM.....	50
FIGURA 3-1 Procedimiento para realizar el ensayo de límite líquido.....	56
FIGURA 3-2 Procedimiento para realizar el ensayo de límite plástico.....	57
FIGURA 3-3 Ubicación de los suelos dentro de la carta de plasticidad.....	59
FIGURA 3-4 Granulometría óptima desarrollada por CRATerre.....	60
FIGURA 3-5 Clasificación por orden preferencial de los límites de atterberg...	61
FIGURA 4-1 Variación de la densidad seca de acuerdo con la energía de compactación.....	65
FIGURA 4-2 Estructura dispersa.....	66
FIGURA 4-3 Estructura flocular.....	66
FIGURA 4-4 Influencia de la granulometría en la densidad del suelo.....	67
FIGURA 5-1 Clasificación de los suelos de Barichara y Piedecuesta según las zonas para estabilización.....	75
FIGURA 5-2 Carta de plasticidad correspondiente al suelo de Barichara y Piedecuesta.....	76
FIGURA 5-3 Características cohesivas presentes en el suelo de Barichara y Piedecuesta.....	77
FIGURA 5-4 Características expansivas de las arcillas presentes en el suelo de Barichara y Piedecuesta.....	78
FIGURA 5-5 Análisis granulométrico suelo Barichara.....	79
FIGURA 5-6 Análisis granulométrico suelo Piedecuesta.....	79
FIGURA 5-7 Esquema de estabilización.....	80
FIGURA 6-1 Estabilización por granulometría tipo 1.....	83
FIGURA 6-2 Estabilización por granulometría tipo 2.....	84
FIGURA 6-3 Estabilización por granulometría tipo 3.....	84
FIGURA 6-4 Muestra suelo de un bloque.....	86
FIGURA 6-5 Mezclado del material.....	91
FIGURA 6-6 Llenado del molde.....	91
FIGURA 6-7 Prensado.....	92
FIGURA 6-8 Obtención del bloque.....	93
FIGURA 7-1 Bloques refrendados en azufre.....	94
FIGURA 7-2 Deformímetro.....	95
FIGURA 7-3 Lector de carga.....	95

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 2-1 Prensas comerciales.....	43
TABLA 2-2 Selecion de prensas comerciales	48
TABLA 3-1 Porcentaje de suelo que pasa a través de los tamices para la curva optima	60
TABLA 3-2 Estabilización requerida por el suelo dependiendo de la clasificacion por orden preferencial de los limites de atterberg	61
TABLA 3-3 Zonas especiales dentro de las cuales de debe ubicar el valor de los limites de atterberg de un suelo a utilizar en la construcción con tierra	62
TABLA 5-1 Resultados ensayo granulométrico suelo barichara y piedecuesta	73
TABLA 5-2 Resultados ensayo limites de atterberg suelo barichara y piedecuesta.....	74
TABLA 5-3 Resultados ensayo de compactación suelo barichara y piedecuesta	74
TABLA 6-1 Selección de granulometrías y estabilizantes	83
TABLA 6-2 Cantidad de bloques para cuatro granulometrías sin estabilizante	85
TABLA 6-3 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 2.....	86
TABLA 6-4 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 3.....	87
TABLA 6-5 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 4.....	87
TABLA 6-6 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 6.....	87
TABLA 6-7 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 7.....	88
TABLA 6-8 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 8.....	88
TABLA 6-9 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 10.....	88
TABLA 6-10 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 11.....	89
TABLA 6-11 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 12.....	89
TABLA 6-12 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 14.....	89
TABLA 6-13 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 15.....	90
TABLA 6-14 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 16.....	90
TABLA 7-1 Resistencias y densidades suelo barichara	96
TABLA 7-2 Resistencias y densidades suelo de piedecuesta.....	97
TABLA 7-3 Módulo de elasticidad promedio suelo barichara	105
TABLA 7-4 Módulo de elasticidad promedio suelo de piedecuesta.....	106

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
GRÁFICA 7-1 Curvas esfuerzo deformación suelo natural barichara	99
GRÁFICA 7-2 Curvas esfuerzo deformación suelo 25% arcillas y 75% arenas barichara	100
GRÁFICA 7-3 Curvas esfuerzo deformación suelo 50% arcillas y 50% arenas barichara	101
GRÁFICA 7-4 Curvas esfuerzo deformación suelo 70% arcillas y 30% arenas barichara	102
GRÁFICA 7-5 Curvas esfuerzo deformación suelo natural piedecuesta	103
GRÁFICA 7-6 Curvas esfuerzo deformación suelo 25% arcillas y 75% arenas piedecuesta	104
GRÁFICA 7-7 Curvas esfuerzo deformación suelo 50% arcillas y 50% arenas piedecuesta	105
GRÁFICA 7-8 Curvas esfuerzo deformación suelo 70% arcillas y 30% arenas piedecuesta	106
GRÁFICA 7-9 Módulos de elasticidad suelo barichara	105
GRÁFICA 7-10 Módulos de elasticidad suelo piedecuesta	105
GRÁFICA 7-11 Cargas de falla suelo barichara	106
GRÁFICA 7-12 Esfuerzos compresion suelo barichara	107
GRÁFICA 7-13 Densidades suelo barichara	107
GRÁFICA 7-14 Cargas de falla suelo natural barichara	108
GRÁFICA 7-15 Cargas de falla suelo 25% arcillas y 75% arenas barichara..	108
GRÁFICA 7-16 Cargas de falla suelo 50% arcillas y 50% arenas barichara..	109
GRÁFICA 7-17 Cargas de falla suelo 70% arcillas y 30% arenas barichara..	111
GRÁFICA 7-18 Cargas de falla suelo piedecuesta	112
GRÁFICA 7-19 Esfuerzos compresion suelo piedecuesta	110
GRÁFICA 7-20 Densidades suelo piedecuesta	111
GRÁFICA 7-21 Cargas de falla suelo natural piedecuesta	111
GRÁFICA 7-22 Cargas de falla suelo 25% arcillas y 75% arenas piedecuesta	112
GRÁFICA 7-23 Cargas de falla suelo 50% arcillas y 50% arenas piedecuesta	112
GRÁFICA 7-24 Cargas de falla suelo 70% arcillas y 30% arenas piedecuesta	113

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Ensayo granulometría suelo Barichara	119
ANEXO 2 Ensayo granulometría suelo Piedecuesta.....	120
ANEXO 3 Ensayo limites de atterberg suelo Barichara.....	121
ANEXO 4 Ensayo limites de atterberg suelo Piedecuesta	122
ANEXO 5 Ensayo compactación suelo Barichara.....	123
ANEXO 6 Ensayo compactación suelo Piedecuesta.....	124

RESUMEN

TITULO: "INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL MATERIAL TIERRA PARA LA ELABORACION DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS – BTC."*

AUTORES: ZEUDIEL CABALLERO ANAYA
GABRIEL ALBERTO MARTINEZ BARAJAS**

PALABRAS CLAVES: GRANULOMETRIA, ESTABILIZANTE, BLOQUES
COMPRIMIDOS, CONSTRUCCIÓN EN TIERRA.

RESUMEN:

Las investigaciones hechas para las construcciones en tierra son muy pocas, a pesar de que este tipo de construcciones son en muchos casos de un alto valor histórico y ofrecen en la actualidad costos muy bajos para solucionar problemas de vivienda. El hecho de que las técnicas constructivas de este material sean ancestrales hace que hoy en día sean relegadas en un mundo que adoptó otro tipo de técnicas y materiales de construcción que en muchos casos no son accesibles por sus costos altos. Nuestro interés es dar a conocer la ventajas que tienen este tipo de construcciones y colaborar para que en nuestro país se creen normas que tecnifiquen estos procesos constructivos

Conocida la técnica se procedió a escoger dos lugares del departamento de Santander para tomar las muestras de estudio, los lugares fueron Barichara por su gran tradición en este tipo de construcciones y Piedecuesta por su cercanía a la ciudad de Bucaramanga. El estudio básicamente se enfocó en determinar el comportamiento físico mecánico del material cuando éste es sometido a compresión, para ello se determinaron cuatro tipos de granulometría tres de ellas siguiendo los parámetros del centro de investigación CRATERRE.

El objetivo es comparar los resultados de las granulometrías ajustadas a las curvas recomendadas por CRATERRE y el suelo en su estado natural. De igual manera se quiere determinar las cantidades óptimas de estabilizante y de arenas para mejorar la resistencia del material, el estudio se enfocó en el cemento portland como estabilizante trabajando porcentajes en peso de 3, 5 y 7%.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ciencias Fisico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Wilfredo del Toro

SUMMARY

TITLE: "INFLUENCE ON THE FISCAL PROPERTIES ON THE EARTH MATERIAL FOR THE ELABORATION OF COMPRESS BLOCKS OF EARTH – BTC"*

AUTHORS: ZEUDIEL CABALLERO ANAYA
GABRIEL ALBERTO MARTINEZ BARAJAS**

KEY WORDS: GRAIN SIZE, STABILIZER, PRESSED
BLOCKS, CONSTRUCTION ON EARTH

Summary:

The Researches made for the constructions on earth are a few ones; despite that this kind of constructions in a lot of cases has a high historical value, on the actuality this offers very low costs to solve housing problems. The fact that the constructive techniques on this material are ancient, you can get it for free, in a world that adopt another kind of techniques and constructions materials that in a lot of cases are not acceptable for the high cost. Our interest is to give to know the advantages that have this kind of constructions and to collaborate so that way can be created norms on our country to improve those constructive processes.

After we know the technique we decide to choose two places on Santander and to take samples of the study, the places where Barichara because of the tradition on this type of constructions and Piedecuesta because of the nearness to Bucaramanga. Basically the study was focused on determinate the fiscal-mechanical behavior of the material when is submitted to compression, we determine four types of grain size tree of them following the parameters of the research center CRATERRE.

The objective is to compare the results of the grain size adjusted to the curves recommended by CRATERRE and the ground on the natural condition. On the same way it needs to determinate the optimal quantities of stabilizer of sands to improve the resistance of the material, the study was focused on the Portland cement as stabilizer using percentages on weight of 3.5% and 7%.

* Project of grade

** Faculty Engineering's Physique Mechanics, School Engineering's Civil, Wilfredo del Toro

INTRODUCCION

En Colombia las construcciones de tierra han sido relegadas con el paso del tiempo por materiales de alta energía incorporada, difícil reciclaje y con altos contenidos tóxicos; debido a que ofrecen mejores propiedades físico-mecánicas en estructuras que en nuestro medio pueden estar sometidas al impacto sísmico generado por la gran cantidad de fallas geológicas que existen. En el medio el estudio de la tierra como material de construcción es poco a pesar de las ventajas que tiene sobre todo en costos, lo cual evidencia la necesidad de analizar las propiedades mecánicas de la tierra para mejorar su comportamiento estructural.

Es necesario llevar a cabo una investigación de los métodos constructivos utilizados en la región en lo que a tierra se refiere y la metodología usada para la estabilización del material, con el fin de mejorar la resistencia a la compresión simple en bloques hechos en obra.

Se recogieron las experiencias de los constructores de bloques en tierra en la región, en especial la fundación HABITTIERRA dirigida por el arquitecto Jaime Higuera. Teniendo en cuenta su amplio conocimiento en este tipo de obras lo cual se evidencio en el congreso iberoamericano de construcciones antiguas y de mampostería realizado en el año 2008 por la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS.

Se tomó como referencia conclusiones de investigaciones realizadas por estudiantes en sus tesis de grado respecto a la tierra como material de construcción, así como estudios realizados por centros de investigación como CRATerre y plasmados en su libro "CONSTRUIRE EN TERRE" donde se describe una experiencia de estabilización del suelo para técnicas de construcción como el adobe, bauge y bloques en tierra comprimidos.

Se realizó la fabricación del bloque de tierra prensado en la máquina CINVARAM fabricada en Bogotá Colombia por el Centro Interamericano de Vivienda y el Ing. Raúl Ramírez en 1952, el material para la construcción del bloque se tomará en los municipios de Barichara debido a que cuenta con construcciones históricas que en la actualidad se encuentran en óptimas condiciones y en Piedecuesta por su cercanía con la ciudad de Bucaramanga en donde se podría implementar obras en tierra o la rehabilitación de algunas construcciones históricas de la ciudad.

Se realizaron los ensayos de laboratorio pertinentes en las muestras de suelo para realizar una buena estabilización del suelo basándonos en las recomendaciones de CRATerre y la experiencia de los constructores como es el caso de la fundación HABITTIERRA.

El gran interés de este proyecto es contribuir con la conservación de estructuras históricas y fomentar las construcciones en tierra seguras como una solución estructural de bajo costo y ambientalmente favorable respecto de las estructuras convencionales.

1. LA TIERRA COMO ALTERNATIVA EN LA CONSTRUCCION

La industrialización a generado alternativas de desarrollo válidas y múltiples soluciones de vivienda al hombre, pero en su afán desenfrenado a desembocado en una crisis de tipo ambiental y económico que afectan seriamente el futuro y entorno del ser humano, en consecuencia la tierra como material constructivo se ve hoy en día menospreciada a pesar de ofrecer múltiples ventajas respecto de los materiales convencionales de la industria, de igual manera las técnicas constructivas han sido olvidadas o en algunos casos mal utilizadas; cabe anotar que más del 30% de la población mundial es decir casi dos mil millones de habitantes viven hoy en viviendas de tierra cruda construidas con distintas técnicas las cuales mencionaremos a continuación.

1.1 MUROS MONOLÍTICOS EN TIERRA

1.1.1 Técnicas sin encofrado. Este tipo de técnicas permiten dar forma a la tierra sin ayuda de moldes formaleas o encofrados, aprovechando la plasticidad de los suelos húmedos por ello esta propiedad es fundamental en la ejecución de este tipo de técnicas en las que se busca la consistencia intermedia entre un suelo muy seco y un barro demasiado húmedo carente de cohesión.

En la región ecuatorial del África a pesar de contar con un clima muy lluvioso que pone a prueba las construcciones, se ofrece las demostraciones más evidentes demostrando una sensibilidad arquitectónica y un conocimiento del comportamiento del material en la utilización de este tipo de técnicas.

1.1.1.1 Rollos. En Yemen se utiliza esta técnica en las construcciones la cual es exclusiva de esta región. Este tipo de obras se ejecutan en altura, lo que arquitectónicamente les da un aspecto grandioso y esbelto alcanzando alturas de cuatro a cinco pisos.

Para la elaboración de los muros, los obreros fabrican en el sitio una pieza que se puede asemejar a un rollo grueso de barro que moldean obteniendo un cordón en el contorno de la casa, este proceso se repite las veces que sea necesario teniendo cuidado con los tiempos de secado lo cual permite fabricar muros sin encofrado de 18 metros.

En esta técnica se utiliza una mezcla entre arcilla, arena, paja y cascarillas de cereales luego se adiciona agua para obtener una plasticidad que permita la fabricación del muro. Luego de extender la mezcla usando los pies se deja reposar dos días con el objetivo de que la paja se impregne de agua y conseguir un material mucho más homogéneo. Luego este material se lanza encima del trazo del muro en forma de bolas que el trabajador compacta manualmente para hacer una hilada. Luego de terminada la hilada y al cabo de unas horas el trabajador la pisa con sus pies, alisa la superficie exterior y finalmente deja secar por un intervalo de dos días.

1.1.1.2 Bauge o cob. En Francia esta técnica de moldeado directo se recibe el nombre de “Bauge”, conocidas también en muchos países Europeos, este tipo de construcciones soportan fácilmente los inviernos y ventiscas en regiones de clima húmedo predominante, en el norte de Europa, esta técnica se conoce como “cob” donde existen pueblos enteros con casas de uno o dos niveles.

El cob es un material de construcción que ha estado en uso por la humanidad desde hace miles de años y está resurgiendo por sus especiales características. El material es un resultado de la mezcla entre arcilla, arena y paja. Se obtienen durezas similares a las del cemento conservando las propiedades de la tierra, la mezcla se emplea directamente sin secar o cocinar. En la figura 1.1 se observa una vivienda construida con esta técnica. Otra característica muy importante es su resistencia y durabilidad superior a la técnica del adobe, he aquí algunas características importantes:



Figura 1-1 Construcción en bauge

Tomado www.pipesndslippers

1.1.2 Técnicas con encofrado. En este tipo de técnicas se utilizan moldes para la elaboración de la pieza con humedades un poco más altas que en las técnicas sin confinamiento.

1.1.2.1 La tapia pisada. La técnica del tapial consiste en llenar un encofrado llamado tapial con capas de tierra de 10 a 15 cm compactando cada una de ellas con un pisón, el encofrado está compuesto por dos tablonces separados paralelamente, unidos por travesaños tal como se ve en la figura 1.3, en nuestro medio los trabajadores de esta técnica se le denominan tapieros, este es el que lleva a cabo la compactación, en esta técnica las construcciones son más estables debido a que son monolíticas, existen tapias trepadores para evitar un encofrado que requiera la altura de un piso, estos fueron desarrollados en la universidad de Kassel Alemania.



Figura 1-2 Muro en tapia pisada
Tomado www.farm.1.static.flickr.com

1.2 MUROS CON MODULOS DE TIERRA

1.2.1 Técnicas de módulos de tierra sin encofrado

1.2.1.1 Esferas de tierra: Esta técnica radica en elaborar esferas de tierra de 20 a 25 cm. de diámetro aproximadamente, las esferas son moldeadas a mano para luego ser colocadas en capas sucesivas de poca altura. Para la elaboración de las esferas la tierra es mezclada con paja con el fin de aumentar la resistencia a los esfuerzos de tensión. La tierra se mezcla de tal manera que su consistencia permita que no se asiente en el proceso de construcción del muro. Como la mezcla es pesada, el proceso se hace lento para evitar que el muro se desplome. Figura 1.4



Figura 1-3 Construcción con esferas de tierra
Tomado www.wikipedia.com

1.2.1.2 Sod (panes de tierra): Esta técnica consiste en recortar directamente de un suelo bien cubierto de prado y que contenga sus raíces, elementos con la forma y tamaño de un adobe para ser utilizados como material de construcción. Los elementos “**sod**” son apilados uno a continuación del otro prácticamente después de ser recortados, sin necesidad de un mortero que los una. En esta técnica el prado y las raíces son las que aseguran la uniformidad de los elementos. Para garantizar la estabilidad de los muros los “**sod**” deben ser anchos y de un suelo de naturaleza compacta. Figura 1.5



Figura 1-4 Construcción en sod
Tomado www.fortavikinga.blogspot

1.2.2 Técnicas de módulos de tierra con encofrado

1.2.2.1 Adobe: Esta técnica consiste en moldear sin compactar bloques de tierra arcillosa, la tierra humedad en un punto cercano a la plasticidad se coloca en moldes de madera con las dimensiones deseadas manteniendo una proporción de 1:1/2:1/4, entre el largo, el ancho y la altura del bloque. Después de un par de días cuando el adobe se contrae por el secado se desmolda y se deja secar al aire libre por un periodo de 15 días a un mes.

Para el mortero de pega se utiliza tierra del mismo sitio, siempre y cuando este proporcione una buena cohesión. En algunos casos a la tierra se le adiciona cal. Fibras naturales (paja y estiércol de caballo), sangre de toro etc. En general la separación de la junta del mortero es de 2 cm. Figura 1.7



Figura 1-5 Construcción con adobe

Tomado www.nortecastillo.es

1.2.2.2 Bloques de tierra comprimidos: los bloques de tierra comprimidos tienen un capítulo independiente para su estudio, ya que esta técnica es el sostén principal de la presente investigación.

1.2.2.3 Bolsas con tierra: Esta técnica consiste en llenar con tierra bolsas que serán usadas como si fueran bloques. Se necesita revocar tan pronto como sea posible para proteger las bolsas, se pueden usar revoques de arena y cal o de arcilla y estiércol en una proporción 1:1. Figura 1.8



Figura 1-6 Casa en bolsas de tierra
Tomado www.infojardin.com

1.3 MUROS EN TIERRA CON ESTRUCTURA PORTANTE

En este tipo de construcciones con tierra se utiliza una estructura portante de diversos tipos y muros de cerramiento contruidos en distintas técnicas.

1.3.1 Técnicas con estructura en madera rellenos de fibras con barro y compactadas. Su origen es alemán y conocida con el nombre de “Leichtlembau” (tierra aligerada), en esta técnica se usan fibras aglutinadas por tierra y no el caso contrario como el adobe, también al igual que en la tapia pisada se utilizan encofrados y pequeños pisones para la compactación de la fibras entre los pasos del entramado, esta técnica es muy usada en el Norte de Europa debido a su aislamiento térmico y las diferentes posibilidades arquitectónicas que ofrece.

1.3.2 Técnicas con estructuras portantes de elementos rellenos en tierra.

La tierra con bajo contenido de agua es usada para rellenar materiales que son huecos para hacer la estructura de la edificación, la tierra en el relleno actúa como una aislante térmico y acústico garantizando también una gran estabilidad.

1.3.3 Estructuras en elementos ralos. Son construcciones baratas en materiales y se utilizan elementos rígidos (como palos, listones y bambúes) con el fin de soportar el peso de un relleno. Las luces entre elementos ralos son amplias de 7 a 20 cm aproximadamente.

Este tipo de estructuras portantes corresponden a técnicas muy difundidas en América Latina como el Bahareque y el tabique en las que se conforman los muros por llenado.

1.3.3.1 Tabique. Consiste en dos marcos de iguales características que se instalan a forma de marco doble y en el espacio entre los dos se rellena con barro.

1.3.4 Estructuras con elementos estrechos. En este tipo de construcciones se usan elementos más delgados (como palos, listones, ramas y cañas) en mayor cantidad y unidos, las luces son reducidas a los 5 cm.

1.3.4.1 Bahareque. Este método tiene su origen en la América precolombina y se ha extendido por distintas partes del mundo con clima tropical, se forman estructuras con elementos relativamente delgados como ramas y cañas como lo muestra la figura 1.9, en su construcción se usa un marco vertical con varas largas y postes de madera en donde los elementos verticales son erguidos desde el suelo, en la parte superior se usan elementos para dar rigidez estructural y dar un soporte al techo.



Figura 1-7 Construcción en bareque sin terminación en cal
Tomado wikipedia.com

Las estructuras de los muros se forman con los elementos estrechos cubiertos con barro estabilizado, con ramitas, estiércol de caballo o paja picada, Esta mezcla se pone sobre la estructura en cañas y luego se hace la terminación con cal.

1.3.5 Estructuras con elementos juntos. En este tipo de obras los elementos verticales u horizontales sirven de montura y sus ortogonales respectivos, tejidos en resorte sobre la montura un ejemplo típico es la Quincha en el Perú.

1.3.5.1 Quincha. Es una técnica muy antigua en los que los elementos que forman la estructura portante son el bambú, guadua o caña, la guadua se raja y se genera un tejido el cual es cubierto por la mezcla preparada con suelo, agua, orina de caballo y fibras vegetales, una vez puesto el material se hace un terminado en cal dejando un marco en guadua tal y como se ve en la figura 1.10.

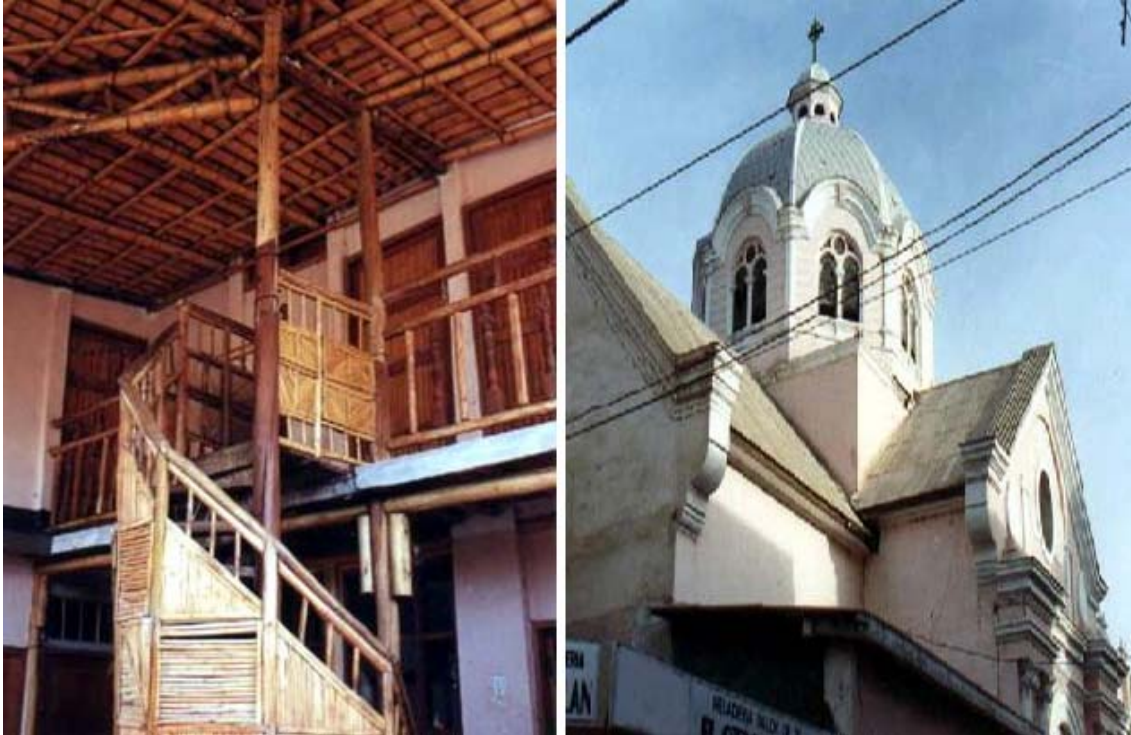


Figura 1-8 Construcción en quincha

Tomado www.pprobambu.com.ar.

1.4 OTROS TIPOS DE CONSTRUCCIONES

1.4.1 Arquitectura enterrada. La vivienda se construye excavando sobre la corteza terrestre, esta técnica poco usada en nuestro medio tiene especial relación entre el tipo de suelo y el clima de la región donde se lleva a cabo, es muy común en zonas donde el clima es seco y el suelo presenta características nobles para permitir una excavación sin derrumbarse.

Estructuras de este tipo se encuentran en la costa Europea (España e Italia) y el norte de África (Marruecos, Libia, Túnez y Argelia), su origen histórico es milenario y aún son usadas para la protección de los vientos secos y reduce el cambio brusco de temperatura que existe en estas zonas del mundo.

Existen dos tipos de excavaciones:

1.4.1.1 Excavación Horizontal. Son comunes en zonas montañosas, la excavación se realiza internándose en la montaña en forma horizontal y sus

fachadas se camuflan en el paisaje, generalmente consta de un salón central al cual convergen las habitaciones que son de forma muy irregular ya que se deben adaptar a las condiciones de la montaña y las entradas de la luz se localizan estratégicamente en la cocina y el sitio de comida para permanecer iluminado en el día.

1.4.1.2 Excavación Vertical. Propias de terrenos planos, realizando excavación vertical de tal forma que se deja un espacio descubierto el cual hace las veces de patio y donde parten excavaciones horizontales para construir las habitaciones, el patio se convierte en el eje de la vivienda y su acceso es a través de una escalera o rampa.

Su principal inconveniente son los problemas de erosión producidas por la lluvia el viento y la excavación vertical y filtración de aguas lluvias, por ello es necesario recurrir a buenos drenajes internos y frisar bien los muros expuestos a la intemperie.

2. BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS

2.1 LA CONSTRUCCIÓN EN TIERRA HOY.

Desde la época antigua los hombres realizaban construcciones en tierra para protegerse de los avatares de la naturaleza, la tierra es un material de construcción utilizado a través de toda la historia de la humanidad en todos los lugares del mundo. El hombre empezó a estudiar sus propiedades para entender el comportamiento del material y mejorarlo, es por eso que empezó a mezclarlo con algunas fibras vegetales o con ramas como refuerzos para mejorar la resistencia, un ejemplo claro de la mezcla de la tierra con otros materiales de origen natural es la técnica del bahareque. Luego el hombre empezó a revolucionar las técnicas construyendo en tierra apisonada los primeros muros de la muralla china que lamentablemente debido a los inconvenientes del clima no soportaron y colapsaron. Posteriormente aparecen los ladrillos fabricados en un proceso donde juegan un papel importante las altas temperaturas suministradas a través de calderas u hornos de tipo industrial un material excelente para el uso en la construcción. El hombre con su ingenio y capacidad ha hecho de la tierra un material de construcción para dar solución a su problema de protegerse a sí mismo y a los grupos sociales en donde se encuentra.

Es un dato muy revelador el hecho que en la actualidad el 40% de la población mundial vive en construcciones de tierra o tapia pisada, esto se evidencia más en países subdesarrollados pues son más comunes los caseríos rurales que cuentan con este tipo de construcciones de un bajo costo.

En Perú el 55% de las viviendas se encuentran construidas con las técnicas del adobe y la tapia, en Kigali, capital de Ruanda, el 43% de sus habitantes viven en casas de barro sin coser, mientras que la india tiene un total del 75% de sus edificaciones en tierra apisonada, lo cual en términos de población quiere decir que más de 380 millones de personas viven en construcciones en tierra, estos son algunos ejemplos en donde las condiciones climáticas y socioeconómicas

hacen que las personas acudan a este tipo de construcción para vivir dignamente.

En Yemen, al sur de Asia, existen edificaciones en tierra que alcanzan los siete pisos; en china más de once millones de personas viven en casas de tierra excavada y aún en la desarrollada Europa existen casas en tierra apisonada que han soportado cientos de años y construidas en su mayoría antes de la revolución industrial, casos como los de Francia, Alemania, Dinamarca y Portugal son ejemplo de esto.

En la figura 2.1 se puede observar algunos ejemplos de vivienda en tierra, las cuales proporcionan una temperatura agradable al ser humano en climas hostiles.



Hotel Kooralbyn, Queensland, Australia



Bears-Castle, Victoria, Australia



Iglesia de Tomás Moro, Western Australia

Figura 2-1 Edificación en tierra de Australia

Tomado www.tierraaustralia.com

De aquí la enorme vigencia que aún tiene la construcción en tierra a pleno siglo XXI, pese a todo esto el camino de la construcción con tierra no ha sido sencillo, y después de ser relegada como técnica constructiva, hoy resurge como alternativa y solución para distintos tipos de edificaciones en un mundo convulsionado por un sistema económico que no proporciona condiciones dignas de vida a todos los hombres.

En Europa la tierra siempre fue considerada como material fundamental para el desarrollo de viviendas, pero en el lapso de 1920 a 1930 este arte tradicional tuvo una caída como consecuencia del movimiento internacional que magnificaba las bondades de la industrialización, la cual implemento nuevas técnicas de construcción como soluciones rápidas y de fácil elaboración para el desarrollo de los centros urbanos, el problema es que no en todas las partes del mundo resultaba una solución aceptable en cuanto a costos, por ello se ve una mayor concentración de edificaciones construidas con las viejas técnicas en tierra en los países llamados tercermundistas.

En nuestro país ineludiblemente llegó el concreto como una solución aceptable para los problemas de infraestructura urbana con técnicas constructivas basadas en análisis científicos, provocando una indiferencia total a las técnicas de construcción en tierra de carácter más empírico relegando o despreciando este sistema constructivo.

2.2 PORQUE NO ABANDONAR LA CONSTRUCCIÓN EN TIERRA.

En la actualidad uno de los principales problemas es la explosión demográfica, en donde por cada hombre, mujer y niño censado en 1900 existen hoy seis más a comienzos de este siglo, también existen problemas de tipo energético y ambiental, estos ya son de carácter mundial producidos por el avance de la industrialización en el siglo XX.

A inicios del siglo XX cuatro de cada cinco personas tenía vivienda de tipo rural al llegar el avance de la industrialización genero todo un desplazamiento de

personas hacia las fabricas en busca de mejores condiciones de vida, esto desemboco en la construcción de grandes metrópolis plagadas de miseria y cubiertas de hambre, ya que las bondades de la industrialización no fueron para todos los miembros de la sociedad.

Colombia es un fiel reflejo de esta situación en donde la crisis social dio origen a problemas muy graves como el narcotráfico, la guerrilla, el paramilitarismo etc, los cuales hacen crecer aún más la pobreza y acentúan más la crisis del sistema económico vigente. Todos estos motivos hacen que se piense en soluciones para aplacar la pobreza, entre los cuales está la falta de vivienda, siendo las construcciones en tierra una solución alternativa de bajo costo.

Vemos pues que un afán desmedido de modernidad que prometía llegar a todos y terminó en pocas manos, producto de la ceguera por la riqueza y estados sometidos a los vicios propios del sistema económico actual como la corrupción, hace que el hombre saque del museo de antigüedades las técnicas de construcción en tierra.

2.3 EL RENACER DE LAS CONSTRUCCIONES EN TIERRA.

A partir de la década de los sesenta se inicia el interés por la tierra como alternativa en la construcción, especialmente en Europa con énfasis en Francia, Bélgica, España y Alemania.

Entre 1970 y 1985 en Europa surge la necesidad de conservar las construcciones antiguas orgullo del viejo mundo y en algunos casos patrimonio de la humanidad, por lo que fue más fácil contar con el presupuesto y el recurso humano.

Los profesionales interesados en la tierra volcaron su mirada a los continentes de África y América debido al auge que podría tener construcciones de este tipo para mitigar problemas de tipo económico, pero también su interés radicó en el gran conocimiento de las técnicas en tierra que en estos continentes se

tiene con el único objetivo de darle un renacer a estas, para conservar el patrimonio histórico y crear alternativas de vivienda digna a los habitantes de los países menos favorecidos económicamente.

Con estos fundamentos se construyó el L'Isle d'Abeau como centro de investigación y aplicación de la tierra en Grenoble Francia, se fueron uniendo diferentes profesionales del tercer mundo interesados en el estudio del material, lo cual generó la creación de grupos como los de Lovaina en Bélgica, el grupo del profesor Minke en Alemania y muchos otros.

Aunque estos intentos en estudiar la tierra no han sido del todo satisfactorios, debido a que el trabajo con ecologistas, los cuales se interesan por comprender la interacción hombre naturaleza, fue calificado como una locura hippie, tal y como ocurrió con los primeros intentos para crear modos alternativos de energía.

En América ha habido tendencias similares pero desfasadas en tiempo, hacia finales de los ochenta se creó el interés por estudiar la tierra, lo cual produjo resultados como la Norma Peruana de Edificaciones de Adobe E – 80.

También en Arizona y Nuevo México se dan estos fenómenos dando a lugar al Código de Nuevo México para construcción en Adobe y un extracto de UBC – 1982 (Uniform Building Code) que menciona en breve estas construcciones como “Albañilería en ladrillo sin cocer”.

En Latinoamérica se crea un grupo interesado en el tema, se unen bajo el CYTED y forjan una red llamada HABITERRA con ella se pretende la unificación de criterios referentes al tema compartiendo resultados de estudios y visitas de los miembros a zonas donde se lleven a cabo proyectos con este material constructivo. Es entonces donde se realiza en Julio de 1997 el segundo curso internacional de construcción con tierra y se inicia la publicación de la revista HABITERRA.

En Colombia entidades como Fedevivienda con sede en Bogotá y fundaciones como HABITTIERRA Y TIERRA VIVA en Santander, trabajan en las propiedades de la tierra como material de construcción.

En el departamento de Santander ACROTERRE, realizó en Santander un proyecto de vivienda de interés social en bloque de tierra estabilizada llamado SIRVE.

2.4 LA TIERRA COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO.

Fuera de las ventajas ya mencionadas como la baja conductividad térmica que vuelven las construcciones en tierra muy acogedoras, además el material es posible conseguirlo en el sitio de la obra ahorrando los costos por concepto de transporte, ventaja apreciable dado el alto volumen de material necesario para construirlas, no se requiere de formaletas modernas ya que existen técnicas que no requieren de encofrado aunque se pueden usar para fabricar los muros en tierra.

Las desventajas también son muy conocidas, el adobe es higrófilo, tiende a absorber la humedad del ambiente cuando el aire está saturado de manera que pierde resistencia a los esfuerzos. En zonas muy lluviosas del trópico luego de una lluvia prolongada de días los muros caen por efecto de la absorción de la humedad atmosférica.

Sus resistencias a la compresión aún se encuentran en estudio como es el caso de esta investigación y sus esfuerzos por tracción se consideran prácticamente nulos, por ello los elementos contruidos son muy frágiles y se fisuran si no reciben el apropiado “curado” antes de empezar a trabajar con ellos en la actualidad se usa un tiempo de 15 a 20 días.

No es bueno ser pesimista respecto de estas características, ya que realizando investigaciones sobre el material se pueden construir edificaciones que perduren en el tiempo y realizar procesos de estabilización agregando

sustancias para tener una buena resistencia a la compresión y mejores reacciones ante su pobre comportamiento a la intemperie y condiciones de extrema humedad.

Característica natural de la tierra es su nula o poca elasticidad ya que sus deformaciones por esfuerzos no se recuperan y se deforma a esfuerzos bajos, sin embargo al construir los muros y sí se ha tenido cuidado en la manipulación evitando agrietamientos el material funciona bien, para disminuir los esfuerzos los muros construidos son de un espesor considerable, esto incrementa las ventajas que tienen este tipo de construcciones como la seguridad a daños por golpes externos pues trabajan muy bien por su masividad. Esta es la característica primordial del diseño.

Los problemas que tienen los elementos estructurales construidos en tierra pueden solucionarse seleccionando el adecuado material para tener una granulometría adecuada, así como la incorporación de aditamentos para mejorar problemas como la resistencia, Aunque es claro que dependiendo del condicionamiento arquitectónico se hace o no necesario reforzar los muros en tierra.

La protección de la lluvia a las paredes se hace a través de aleros grandes o corredores, así como la construcción de la fundación para evitar una transmisión de la humedad del suelo al muro (Soleras de piedra y argamásas más altas que el nivel del suelo), otras características en el diseño para la protección de los muros es el uso de vigas en forma de soleras coronando el perímetro superior de la paredes que conforman la vivienda. El problema fundamental de estas construcciones es garantizar su resistencia ante un sismo, también podría ser de gran interés el estudio de soluciones para disminuir el espesor de las paredes con el fin de reducir el área que ocupa la edificación.

La solución de la edificación ante la acción de un sismo puede ser que ésta no sufra ningún daño ya que esto no es posible garantizarlo aún con las técnicas

constructivas más sofisticadas, lo que puede garantizar es el no colapso ante un sismo de diseño, pero las estructuras no están exentas de daños; el objetivo fundamental del diseñador es salvar la vida de las personas al interior, por tanto es de vital importancia garantizar que durante el sismo los esfuerzos a los que pudiera estar sometido no sean mayores a los esfuerzos por fatiga del material. El diseño debe ser de tal forma que la estructura soporte aquellos temblores de ocurrencia común en la zona donde esté ubicada la edificación (según experiencias estadísticas) y que los materiales incorporados a la estructura no se deterioren en la intemperie por acción de hongos, termitas etc. Los cálculos estructurales deben ser más rigurosos en casos donde la estructura vaya a realizar una actividad de carácter público como: Hospitales, hoteles, escuelas, fincas de recreo, cabañas etc.

Son importantes los centros o grupos de investigación interesados en la tierra ya que por medio de ellos se pueden crear normas de construcción que garanticen estructuras sólidas ante la acción de la naturaleza, por ello la necesidad de una normatividad que permita la construcción de este tipo de estructuras en zonas de alta sismicidad.

En el caso de las construcciones en bloques las normas deben tener en cuenta las características del material, el hecho de su poca elasticidad hace que una vez alcanzados los límites de sus esfuerzos resistentes, el material falla, pero el muro debe ser lo suficientemente fuerte (por gravedad) para que no colapse por el bamboleo ni por el peso propio del techo.

Las construcciones de tierra para uso rural no deben perder su sencillez ya que una estructura muy compleja podría estar fuera de la comprensión de los que la estén construyendo.

Es evidente la necesidad de investigar el comportamiento de estructuras en tierra en caso de altos sismos, elaborar normas y difundirlas entre quienes se dedican a la construcción rural, también se deben ampliar los campos de investigación hacia nuevos usos de la tierra estabilizada y difundir los

resultados. La tierra como material de construcción puede facilitar la elaboración de terrazas para cultivo en laderas, ventaja de valor inapreciable pues las terrazas facilitan la infiltración de la lluvia realimentando las capas freáticas, que ayudan a regular el caudal de los ríos durante las épocas de sequía. Las terrazas ayudan a la mecanización agrícola cosa que no ocurre con los cultivos de la ladera. Una vez familiarizados los muros con los procesos de estabilización de los suelos estos son muy resistentes a la intemperie, dando pie a buscar nuevos usos a la tierra estabilizada como la impermeabilización de estanques para peces.

En Europa como en países de otros continentes se ha iniciado la tendencia de fabricar muros con refuerzo de otros materiales que puedan resistir los esfuerzos de tracción en su masa al momento de su construcción, a veces denominada tierra reforzada.

En la construcción de tierra con bloques comprimidos el espesor de los muros se reduce considerablemente a las obras realizadas en la técnica de tapia pisada, pero aún así no alcanzan los espesores de los bloques cocidos de las construcciones urbanas de nuestro medio, sin embargo es un avance en comparación a la tapia pisada, lo importante es que al perder masividad vaya a soportar mayores, o los mismos esfuerzos ante la interacción de la estructura con un sismo.

Una de las críticas más fuertes a la tierra como material de construcción es su poca adherencia con otros materiales, por lo cual no se pueden crear con ella estructuras mixtas dignas de confianza al accionar sísmico, no obstante experiencias recogidas en las fundaciones de la región como HABITTIERRA nos indican que la tierra es preferible trabajarla sola, es decir sin combinarla con otro tipo de materiales que tengan mayores resistencias como el concreto reforzado ya que al hacerlo se podría debilitar la edificación en vez de mejorar su comportamiento.

2.5 BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS

En la técnica de los adobes es posible fabricar bloques con una tierra que tenga una consistencia plástica, en este tipo de técnica para muros con módulos de tierra se trabaja con una tierra “seca”, con un contenido de agua similar al de la tapia pisada.

En esta técnica el material es compactado no en pisonos sino en una prensa para producir los bloques, posterior al secado podrán ser utilizados de la misma manera que los adobes, los ladrillos de arcilla cocida o los bloques de cemento.

En relación a la tapia pisada este tipo de técnica presenta similares ventajas que los adobes, entre ellas podemos mencionar la posibilidad de escalonar la producción en un largo periodo de tiempo, la disminución de fisuras en el muro ya que la contracción se efectúa durante el secado de cada bloque y una mayor flexibilidad durante el diseño arquitectónico y de construcción.

Los bloques comprimidos presentan un inconveniente en el manejo y manipulación del material que representa una baja en la productividad, sin embargo podemos mostrar las siguientes ventajas respecto de los adobes:

- ❖ Mayor posibilidad de un inmediato almacenamiento.
- ❖ Un área de fabricación más pequeña y con cubierta.
- ❖ Bloques más regulares.
- ❖ Posibilidad de fabricar bloques con formas especiales: con huecos, bloques a encajar, desagües, tejas.
- ❖ Limitar la estabilización a la superficie del bloque.
- ❖ Una mayor resistencia a la compresión.
- ❖ Un mejor acabado.

En resumen la fabricación de los bloques resulta más larga y está afectada por el costo de una máquina generalmente costosa.

2.6 PRENSAS COMERCIALES

Actualmente existen en la industria de la cerámica numerosas prensas para la fabricación de los bloques, algunas pueden ser utilizadas para la tierra estabilizada, otras han sufrido transformaciones y finalmente otras han sido diseñadas para la fabricación de bloques en tierra, aún quedan algunas que potencialmente pueden ser adaptadas para este uso.

A continuación se presenta la tabla 2.1, en donde se puede encontrar la información de 28 prensas de las cuales seis son particularmente interesantes y se encuentran disponibles en el mercado, estas son las más utilizadas en esta técnica de fabricación de bloques las otras se mencionan a manera de ejemplo, en este cuadro se agrupan las diferentes prensas desde la más sencilla que requiere poca inversión y puede ser fabricada localmente , hasta la más moderna que requiere para su funcionamiento una estructura sofisticada para el abastecimiento, la producción y el almacenamiento.

Mecanismo para el moldeado	Produccion	Apisonamiento	28 prensas	Comerciales Actualmente	No hay oferta	Por encargo	Prototipo	Ver "Museo de Prensas"	Selección de prensas comerciales más importantes	Estado de la tierra		
									Seco	Plástico		
Manual	Baja	Dinámico	B.I.T. Dakar		X			X				
			Maquina con palanca No. 1		X			X				
			Apisonadora tipo PBB		X				X			
			Rapida No. 5		X				X			
			Pistón sistema D					X	X			
		Estático	Terstaram*	X						X	X	X
			CINVA-Ram	X						X	X	X
			Tek Block	X						X	X	X
			Ellson Blockmaster S, D, SB1, SB2	X						X	X	X
			AB1	X							X	X
			PM con palanca		X				X			
			Herculéene		X				X			
			Curer					X	X			
			Palafitte					X				
Mecánico	Alta	Dinámico	Houdra tipo C		X			X				
			Damette No. 1		X			X				
			Pistón guía				X	X				
		Estático	Majo		X	X		X				
			Majematle		X	X		X				
			B, 75, B 100, B 150, B 200 - Hallumeca	X								X
Hidráulico	Media	Estático	MMH 2000	X					X	X		
			CLU 2000	X					X	X		
			Power tek block					X				
			Winget		X		X	X				
			10 p, 11 p		X	X		X				
			MMH 4000				X	X				
	Muy alta		L 3 Drostholm	X							X	
Neumático	Baja	Dinámico	Tipo 810		X			X				

* Comercializada anteriormente con los siguientes nombres:
- La Madelon
- La Super Madelon
- Landcrete
- Stabibloc
- S.M.

Tabla 2-1 Prensas comerciales
Tomado CRATERRE; Paris 1979; Construir con Tierra tomo I y II

La producción en la fabricación de bloques comprimidos está directamente relacionado con la máquina a utilizar, obteniendo productividades más altas en procesos donde se utilicen máquinas de mayor costo y baja producción en prensas baratas, cabe anotar que las construcciones en tierra de nuestra región usadas principalmente para viviendas como es el caso del municipio de barichara es suficiente tener una máquina manual CINVA- RAM o similar para llevar a cabo las obras. Para la investigación se utilizó la prensa que podemos observar en la figura 2.2



Figura 2-2 Prensa CINVA RAM utilizada en la investigación
Tomado por los autores

2.6.1 Características de las prensas

2.6.1.1 Tipos de prensas. Los tipos de prensa que se describen a continuación se han diferenciado por su fuente de energía:

2.6.1.1.1 Manual. En este caso el apisonamiento lo hacen una o varias personas por medio de un sistema de palanca o pistón.

2.6.1.1.2 Mecánico. El apisonamiento se lleva a cabo por medio de una palanca o pistón accionado por un motor a gasolina, diesel o eléctrico.

2.2.1.1.3 Hidráulico. La energía del motor se transmite a la bandeja de compactación por un sistema hidráulico.

2.2.1.1.4 Neumático. La energía del motor se transmite al pistón por un sistema neumático.

2.6.1.2 Modos de compresión. Existen dos maneras de comprimir el material en las prensas:

2.6.1.2.1 Presión estática. El apisonamiento se realiza por el acercamiento lento entre las dos superficies entre las cuales se encuentra la tierra que es retenida lateralmente.

2.6.1.2.2 Presión dinámica. La compactación se obtiene por un apisonamiento de la tierra en un molde. La presión ejercida sobre el bloque no se controla fácilmente.

2.6.1.3 Producción. La cantidad de bloques por día corresponde a un jornal de 8 horas sin embargo esta varía dependiendo de la organización del campamento, el volumen compactado por día es en m³ y el trabajador realiza la alimentación con tierra, la compresión y evacuación de los bloques. En los datos de producción que se presentan no se incluye todo el ciclo de producción desde la extracción de la tierra.

Existen según el centro de investigación CRATERRE cuatro niveles de producción:

2.6.1.3.1 Baja. Es el caso de prensas manuales cuyo rendimiento varía en función de la organización del campamento, en este caso la producción se encuentra entre 300 a 1200 bloques por día.

2.6.1.3.2 Media. Las prensas hidráulicas móviles tienen una producción de 2000 a 2800 bloques por día, ellas controlan el ritmo de producción a través de una rotación automática de los moldes.

2.6.1.3.3 Alta. Las prensas mecánicas tienen producciones elevadas pues ellas han sido diseñadas para moldear la tierra en estado plástico, en este estado la compactación es más rápida que cuando se trabaja con tierra seca.

2.6.1.3.4 Muy alta. Las prensas hidráulicas sofisticadas derivadas de la producción industrial de ladrillos sílicocalcáreos trabajan a una alta producción, estas prensas requieren de infraestructura importante y de un personal altamente calificado.

2.6.1.4 Otras características

2.6.1.3.1 Presión. Una buena parte de la presión en la prensa se pierde por las transmisiones, los rozamientos y la elasticidad del material. Las presiones de compactación de 7 a 10 Kg/cm² pueden ser suficientes pero son mínimas, las presiones de 20 a 40 Kg/cm² son excelentes; presiones superiores a este intervalo son superfluas y generan un despilfarro de energía y pueden presentar en los bloques fisuras que reducen sustancialmente las propiedades mecánicas, la presión del proceso de producción se obtiene de un promedio estadístico con un trabajador que labora durante 8 horas.

2.6.1.3.2 Tasa de compresión. La relación entre el volumen de una tierra esponjada y el de la tierra compactada es teóricamente 1.65. La tasa de compresión, representando la relación entre el volumen del molde vacío y el volumen del bloque producido, debe ser en todo caso superior a 1.65. Este es un valor mínimo y toda máquina con una relación inferior requerirá un apisonamiento previo manual de la tierra esponjada. Una tasa de de dos es

ideal, cabe anotar que la mayoría de prensas manuales o mecánicas tienen una relación inferior a 1.65 requiriéndose entonces una pre compactación, por ello es preferible las prensas con tapas abatibles que las giratorias ya que en ellas se realiza una compactación previa, mientras en las prensas con tapa giratoria limpia el exceso de tierra sin tasarla requiriendo una compactación previa.

2.6.1.3.3 Profundidad máxima del molde. Es la distancia máxima entre la tapa cerrada y la bandeja de compresión en reposo, esta disminución restada del recorrido de la bandeja da el espesor máximo del bloque a producir. Para la fabricación de baldosas o tejas, se puede introducir una pieza de madera para reducir la profundidad del molde a fin de obtener una tasa de compresión aceptable.

2.6.1.3.4 Recorrido máximo de la bandeja. En las prensas manuales y mecánicas este recorrido no puede ser regulado, el hecho de no descender la palanca hasta su tope crea la ilusión de regulado de recorrido de la bandeja. El esfuerzo de compresión máximo se produce al final del recorrido, los producidos de esta forma serán menos resistentes que los otros. En las prensas hidráulicas la altura de recorrido se puede regular fácilmente.

2.6.1.3.5 Dimensiones de los bloques. A continuación se presenta la tabla 2.2 con las diferentes características de las seis prensas más comunes incluyendo las dimensiones de los bloques, aunque los constructores han previsto la posibilidad de utilizar varios moldes para los bloques y tejas de diferentes dimensiones.

SELECCIÓN DE PRENSAS COMERCIALES MUY INTERESANTES											
Tipo de energía	Manual						Hidráulica				
	Nombre	Cinva-Ram	Telik-Block	Ellison Blockmaster			SM Terstaran	MMH 2000	CLU 2000		
Origen	País			S	D	SB1	SB2				
Características físicas	Dimensiones (L, A, A) (cm)	Colombia 20 x 50 x 60	Alto Volta 40 x 50 x 75	India	India	India	India	Bélgica	Bélgica	Suiza	
	Peso neto (kg)	63	97	145	155	155	175	280	1350	1550	
	Motor								Bernard 10 HP diesel	Hetz E 785 11 HP diesel	
Características físicas	Consumo/hora								2	2	
	Precio (F.F.)	1000	2000	1400	1500	1600	1650	4000	55000	70000	
Características generales	Plazo entrega (Mes)	1	En bodega	En bodega				3	3 a 6	3 a 6	
	Presión en Kgf/cm ²	7	6			7 a 25		20	40	20	
	Tasa de compresión	1.63	1.34	1.8		1.4		1.95	2	1.6	
Características generales	Profundidad máxima del molde (mm)	145	175	131		158		145	175	120	
	Recorrido máximo de la bandeja (mm)	55	45	50		50		57	88	46	
	Dimensiones de los bloques (L, A, A) (cm)	28,3 x 14 x 8,9	29 x 29 x 13	22,7 x 10,6 x 7,3	30,5 x 14,6 x 10,8	30,5 x 22,5 x 10,8	29,5 x 14 x 8,8	29,5 x 14 x 8,8	29,5 x 14 x 8,8	25 x 12 x 7,5	
Producción	Cantidad de bloques por día		425	850		425			2000	2000	
	Volumen compactado por día (m ³)	1.55	4.64	0.74	1.48	2.84	3.14	1.54	7.28	9	
	Cantidad	4	4	3		4		4.3	3.1	4.8	

Tabla 2-2 selección de prensas comerciales
Tomado CRATERRE; Paris 1979; Construir con Tierra tomo I y II

2.7 PROCESO CINVA – RAM

Esta técnica de producción de bloques ha sido la que ha recibido mayor inversión por parte de los centros de investigación y la industria de construcción en tierra tanto en América Latina como en Europa, Asia y África. La primera prensa manual perfeccionada y difundida fue hecha en Bogotá Colombia en 1952 por el ingeniero chileno Raúl Ramírez en el Centro Interamericano de Vivienda CINVA, actualmente existen en el mercado toda una gama de prensas que permiten la fabricación de bloques basados en el mismo principio.

2.7.1 Equipo El equipo utilizado en esta investigación para realizar los bloques comprimidos fue la máquina CINVA - RAM, la cual es muy usada en nuestro medio donde existen poblaciones enteras construidas de tierra como es el caso de Barichara Santander donde se encuentra la fundación HABITTIERRA que presto gran colaboración para este estudio de esta investigación.

A continuación en las figuras 2.3 y 2.4 se puede observar los componentes de la prensa manual CINVA – RAM:

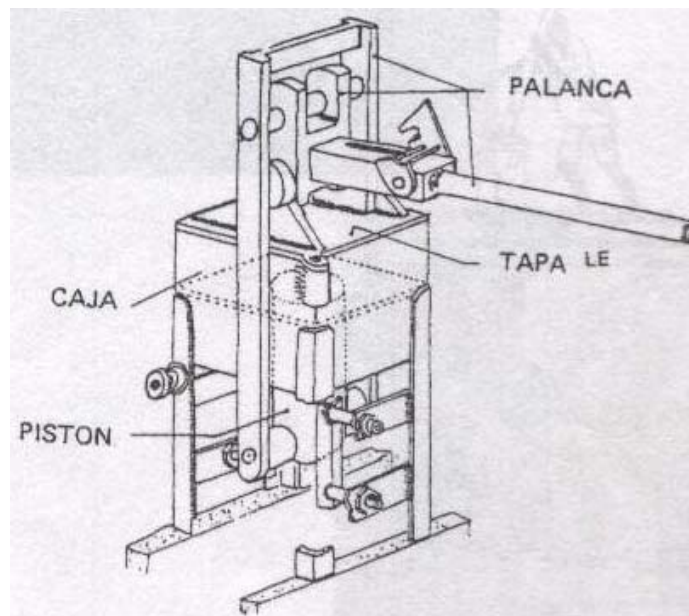


Figura 2-3 Prensa manual CINVA RAM

Tomado CRATERRE; Paris 1979; Construir con Tierra tomo I y II

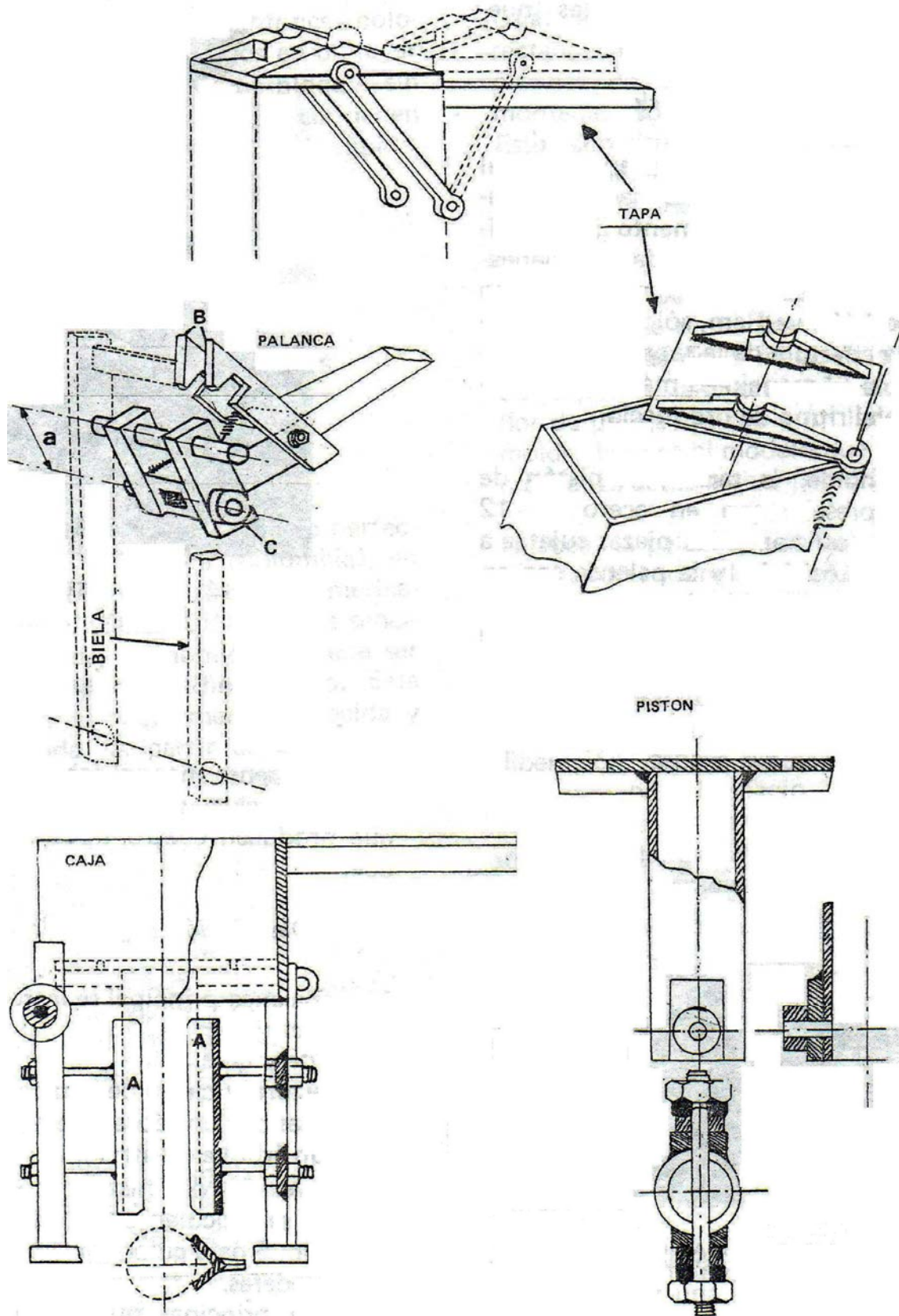


Figura 2-4 Elementos de la presa manual CINVA RAM

Tomado CRATERRE; Paris 1979; Construir con Tierra tomo I y II

2.7.1.1 Caja. Este es un molde metálico rectangular formado por cuatro platinas de 12 mm de espesor montadas sobre cuatro soportes, esto constituye la estructura del mecanismo. Se atornilla sobre un Zócalo que asegura su estabilidad. (Figuras 2.3 y 2.4)

2.7.1.2 Tapa. Han sido diseñadas dos tapas, la primera se suelta del molde y se coloca detrás de la máquina sobre dos soportes, la segunda gira alrededor de un eje situado a un lado del molde. Este es el modelo que se comercializa actualmente. (Figuras 2.3 y 2.4)

2.7.1.3 Palanca. La palanca se coloca sobre dos entalladuras sobre la tapa, transmite su movimiento al pistón por medio de dos bielas. En posición vertical dos ganchos se liberan sobre un travesaño logrando un conjunto que integra la palanca y las bielas. La liberación de los ganchos se hace con la mano, el espacio "A" en la figura 2.4 determina el recorrido del pistón e interviene en la tasa de compresión. El punto "B" es débil y por tanto debe ser reforzado, es aconsejable tener dos juegos de rodachinas como reserva "C", si estas se construyen se recomienda que sea en acero calidad 50 Rock-Well.

Ciertos modelos se entregan sin la palanca, esta se puede hacer en la obra con un tubo metálico de dos metros; otras son entregadas con un brazo desmontable en tres partes.

2.7.1.4 Pistón. Esta pieza es un cilindro rematado por una bandeja rectangular y guiado que se pueden regular, es posible atornillar sobre esta bandeja una pieza de madera para realizar bloques de formas especiales (huecos, ranuras, etc.).

2.7.2 Fabricación del bloque. En esta descripción no se tiene en cuenta la extracción del material y su selección, proceso que se llevo a cabo para la fabricación de los bloques objetos de la investigación.

2.7.2.1 Llenado. En la mayoría de las prensas se debe introducir una cantidad de tierra precisa de tierra si se quiere obtener buenos bloques, para esto se puede utilizar una balanza o una pala dosificadora cuya cantidad corresponde a la cantidad de tierra a utilizar para la obtención del bloque denso, es luego de haber fabricado distintos bloques a manera de ensayo que se obtiene la cantidad precisa, la tierra debe contener gravilla (superiores a 5mm) y el contenido de agua debe ser el adecuado para obtener la humedad óptima del material.

2.7.2.2 Compactación. La calidad depende de la cantidad de tierra colocada en el molde, la compactación será la correcta cuando el trabajador descansa todo su peso sobre el extremo de la palanca para bajarla hasta la horizontal.

2.7.2.3 Desmolde - Secado. El bloque recién compactado deber ser manipulado con precaución, se desprende de la bandeja haciéndolo girar y se transporta enseguida al área de secado. Los bloques estabilizados con cemento o con cal deben someterse a un curado de una a dos semanas como mínimo para permitir un buen fraguado del estabilizante. Es preferible colocarlos unos contra otros en un lugar húmedo y cálido. Los bloques sin estabilizante y con asfalto se pueden secar más rápidamente.

3. EL SUELO

3.1 CONSTITUCIÓN DE LOS SUELOS

La capa terrestre está conformada por aglomerados de partículas de la descomposición de rocas producto de la acción mecánica del agua, aire o hielo, y procesos químicos que traen la descomposición o disolución de los minerales del suelo.

Esta capa superficial comúnmente delgada está compuesta por una mezcla de diferentes elementos tales como: gravas, arenas, limos y arcillas así como materia orgánica producto de la descomposición biológica.

a) Las gravas: Formadas por partículas de rocas de alta dureza con tamaños comprendidos entre 5 y 10 mm, su forma puede ser redondeada angular o plana.

b) Las arenas: Conformadas por granos minerales cuyo diámetro están comprendidos entre 0.08 y 5 mm.

c) Los limos: Formados por partículas cuyo tamaño está entre 0.002 y 0.08 mm, no presentan cohesión cuando están secos y tiene una resistencia más baja que las arenas, no se recomiendan para elementos constructivos.

d) Las arcillas: Constituyen la parte más fina de los suelos, es decir menos de 2μ , este tipo de suelo es cohesivo y al contrario de las arenas y las gravas son inestables y sensibles a los cambios de humedad.

3.2 RECONOCIMIENTO DEL SUELO

Un suelo no tiene homogeneidad, por ello se hace necesario realizar una serie de pruebas de laboratorio para conocer los diferentes componentes del suelo

así como sus propiedades físico-químicas con el fin de saber si es útil o no para el uso que se le quiera dar.

Para la utilización del suelo en construcciones con la técnica de bloques comprimidos el suelo debe estar exento de materia orgánica.

3.2.1 Pruebas de laboratorio de los suelos

3.2.1.1 Ensayos de granulometría. Esta prueba de laboratorio se basa en encontrar los diámetros o tamaños de las partículas en un suelo con el fin de determinar los distintos elementos que lo componen.

La forma en la que se seleccionan los porcentajes de los diferentes constituyentes es a través de la cantidad de material retenido en tamices o cedazos, el peso de cada material retenido en el tamiz se relaciona como porcentaje total en peso del suelo en estudio. Los resultados son relacionados en una gráfica en donde las abscisas corresponden al tamaño de los tamices y las ordenadas al porcentaje en peso del suelo que pasa, esta curva recibe el nombre de curva granulométrica.

El uso de una escala logarítmica tiene por fin hacer un ajuste en el tamaño del dibujo para comprender mejor el trazado de la curva sobre todo en la parte de los finos, ya que es de vital importancia conocer el contenido de estos.

Todos los sistemas de clasificación de los suelos usan el tamiz No 200 como punto divisorio, a partir de este tamiz el porcentaje de suelo que pasa son arcillas y limos.

3.2.1.2 Límites de Atterberg. A través de la curva granulométrica se conoce el tamaño de las partículas de un suelo, en el ensayo de límites de Atterberg se determina el comportamiento de los granos finos en interacción con el agua. Para esto se establece el índice de plasticidad del suelo que es función directa de los límites líquido y plástico.

3.2.1.2.1 Limite líquido. Indica el momento en que el suelo cambia de estado plástico a estado líquido, se mide con la conocida “cazuela” de Casagrande, la cual se llena con el suelo (con finos) y a través de una manivela se van dando golpes sucesivos elevando y dejando caer la “cazuela” sobre un pedestal rígido.

Para llenar el recipiente se elabora una pasta con el suelo húmedo y se hace un surco de un centímetro de espesor, luego se procede a golpear el recipiente contando el número de golpes necesarios para que este surco de un centímetro se cierre, posteriormente se añade más agua para repetir el proceso dando un número menor de golpes, el límite líquido se definió como la cantidad de agua para que se unan dos mitades luego de 25 golpes. El proceso se puede apreciar en la figura 3.1

Este importante límite es una medida de la capacidad del suelo al corte para un contenido de humedad.

3.2.1.2.2 Limite plástico. En este ensayo determinamos el paso de estado plástico a estado sólido se define como la cantidad de agua en un pequeño cordón del suelo en estudio, este se quiebra en pedazos cuando alcanza un diámetro de tres milímetros, este se establece durante el ensayo por medio de un alambre común o de soldadura del mismo diámetro. El proceso se puede apreciar en la figura 3.2

En ambos ensayos se pesan las muestras antes y después de someterlas a una alta temperatura para conocer sus contenidos de humedad.



Figura 3-1 Procedimiento para realizar el ensayo de límite líquido
Tomado por los autores



Figura 3-2 Procedimiento para realizar el ensayo de límite plástico
Tomado por los autores

3.2.1.2.3 Índice de plasticidad. Hechos los ensayos de límites líquido y plástico se calcula el índice de plasticidad como la resta del límite líquido menos el límite plástico.

Índice de plasticidad: I_p

Límite líquido: L_l

Límite plástico: L_p

Índice plasticidad: $I_p = L_l - L_p$

3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Con la información del suelo obtenida en los ensayos de granulometría y de límites de Atterberg se realiza la clasificación del suelo a través del Sistema de Clasificación Unificada de los Suelos.

Este sistema ubica al suelo dentro de alguno de los 15 grupos que lo componen, designados con sus respectivos símbolos los cuales son:

GW	SW	ML	MH	Pt
GP	SP	CL	CH	
GM	SM	OL	OH	
GC	SC			

Cada una de las letras son las iniciales en inglés de los diferentes componentes del suelo:

G: Grava

S: Arena

M: Limo

C: Arcilla

W: Bien gradado

P: Pobremente o mal gradado

L: Bajo límite líquido o plasticidad

H: Alto límite líquido o plasticidad

O: Orgánico

Pt: Turba o suelo altamente orgánico.

En la combinación de las letras del sistema de clasificación la primera es referente al sustantivo y la segunda al adjetivo, así por ejemplo GS es una grava arenosa y CL es una arcilla baja en plasticidad.

Los límites en diámetro de grano para la clasificación de los suelos son los siguientes:

De 3" a $\frac{3}{4}$ "	Grava gruesa
De $\frac{3}{4}$ " a malla # 4 (4.76 mm)	Grava fina
De malla # 4 a malla # 10 (2mm)	Arena gruesa
De malla # 10 a malla # 40 (0.42mm)	Arena media
De malla # 40 a malla # 200(0.074mm)	Arena fina
Menor que malla # 200	Finos (limos y arcillas)

Usando la figura 3.3 construida a partir de la relación entre el índice plástico y el límite líquido se puede clasificar la parte fina del suelo

CARTA DE PLASTICIDAD PARA CLASIFICACION DE SUELO DE PARTICULAS FINAS

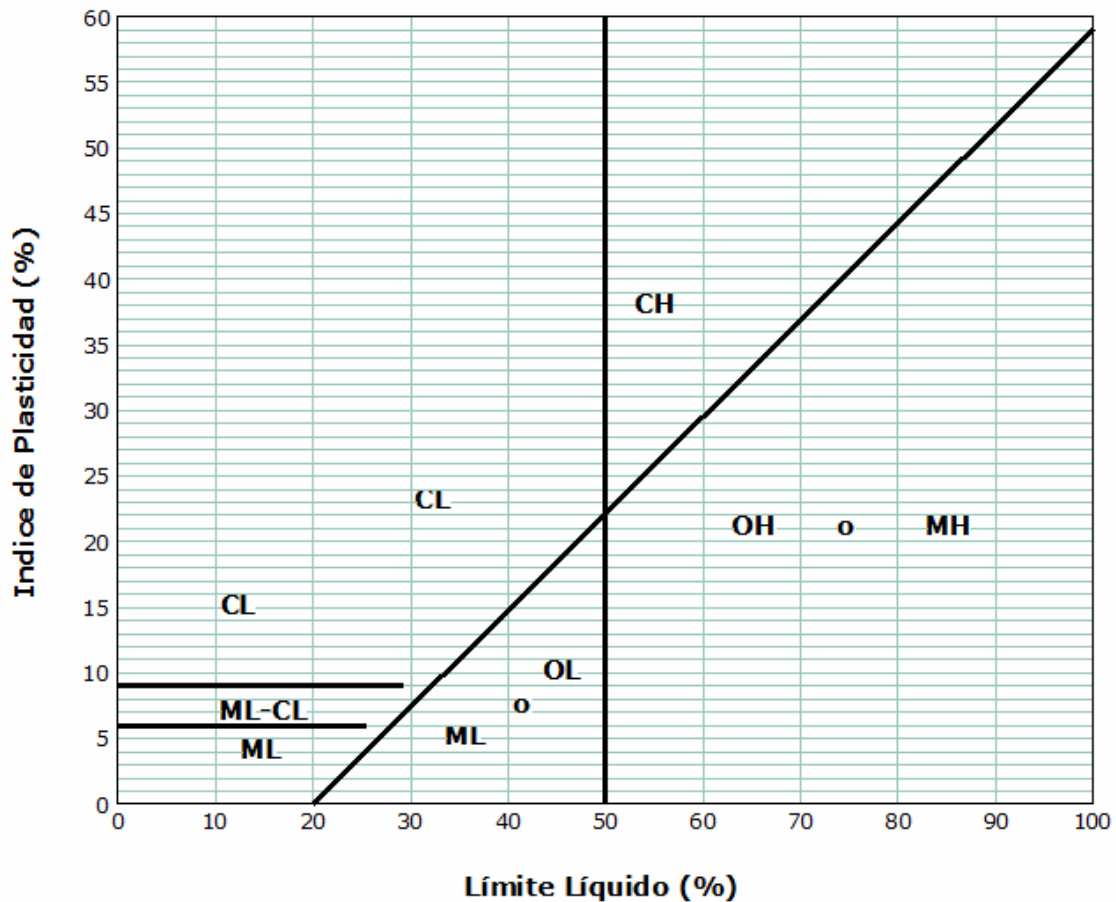


Figura 3-3 Ubicación de los suelos dentro de la carta de plasticidad
Tomado; Pérez y Pachon; 2003; Determinación de los Módulos Elástico, Plástico y de Rotura

3.3.1 Características óptimas del suelo. Los suelos utilizados en la ejecución de obras con bloques comprimidos en CINVA - RAM deben tener una serie de requisitos que permitan obtener buenas resistencias a compresión.

Con los datos obtenidos en los ensayos de límites y granulometría, se dispone a realizar una clasificación adecuada del suelo teniendo en cuenta las características óptimas a la cual el suelo usado en la obra debe acercarse.

3.3.1.1 Granulometría óptima. La ejecución de una obra en esta técnica de bloques comprimidos requiere de un material que cumpla con una granulometría mostrada en la figura 3.4, para que su resistencia sea alta y

proporcione buenos acabados, respecto de las partículas del suelo debe contener partículas de todos los tamaños para lograr unas densidades altas en el material, estudios realizados han determinado unas curvas límites, arenas con contenidos en arcillas son la mejor opción en construcciones en tierra, ya que las arenas proporcionan fricción y las arcillas cohesión, además se debe tener un bajo límite de contracción para evitar grietas en el proceso del secado.

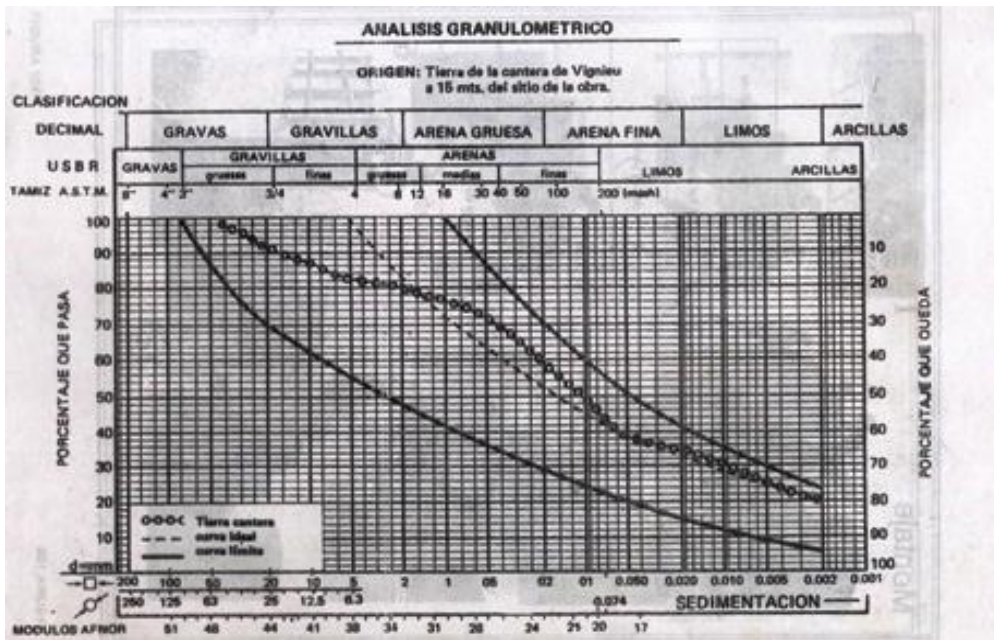


Figura 3-4 Granulometría óptima desarrollada por CRATerre
Tomado CRATERRE; Paris 1979; Construir con Tierra tomo I y II

En la tabla 3.1 se presentan los porcentajes de suelo que deben pasar a través de los tamices para la curva óptima y sus límites inferior y superior:

Malla No	Porcentaje que pasa		
	Curva Limite Inferior	Curva Optima	Curva Limite Superior
4	82	100	100
20	57	68	98
40	48	59	82
60	43	55	74
100	39	49	66
200	34	43	56

Tabla 3-1 Porcentaje de suelo que pasa a través de los tamices para la curva óptima

Tomado CRATERRE; Paris 1979; Construir con Tierra tomo I y II

3.3.1.2 Límites de Atterberg óptimos. Se ha creado una clasificación según los límites de Atterberg en la cual a partir de los ensayos realizados, podemos ubicar el suelo en una zona que indica la cantidad de estabilizante que se requiere para la fabricación de bloques comprimidos.

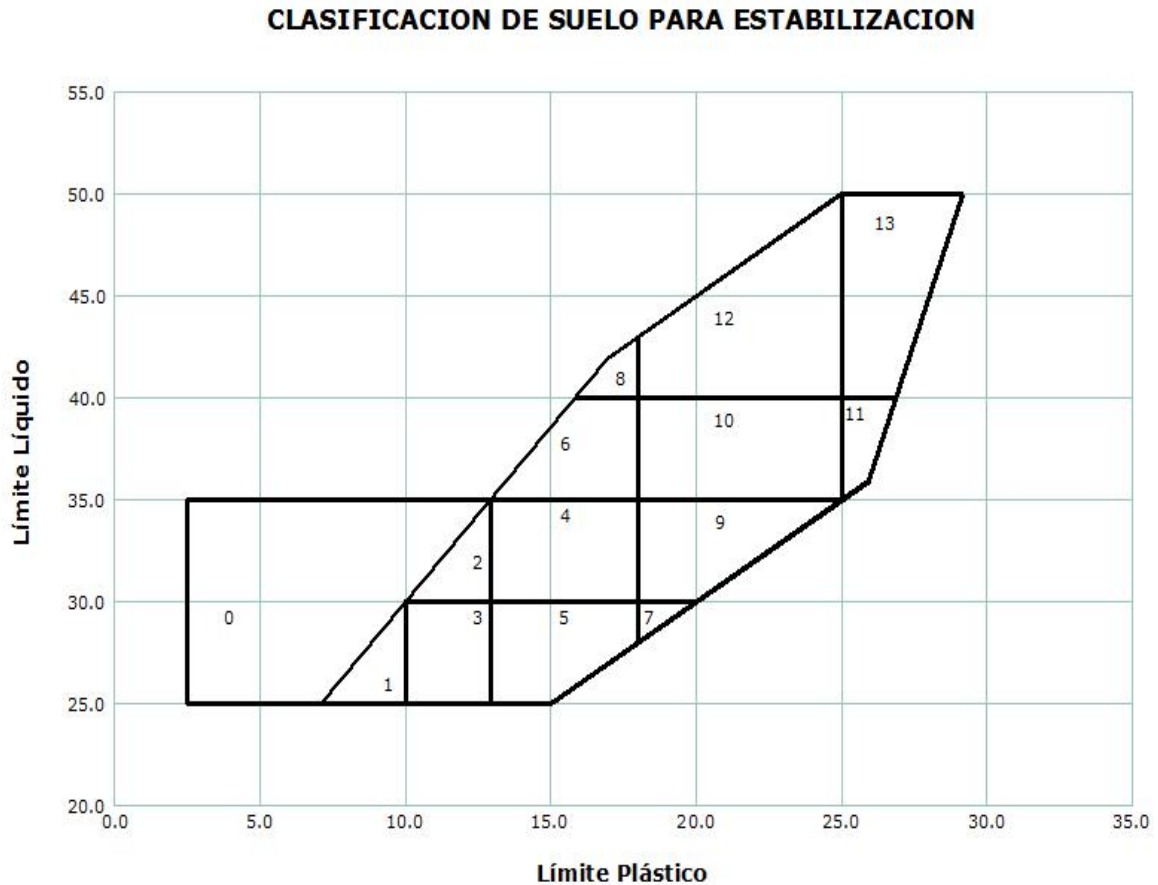


Figura 3-5 Clasificación por orden preferencial de los límites de Atterberg
Tomado CRATERRE; Paris 1979; Construir con Tierra tomo I y II

Zona Plastica	Estabilizante (cantidad)
z1-z2-z-3	Poco o nada
z8-z9-z-10	Poco o medio
z11-z12-z-13	Bastante

Tabla 3-2 Estabilización requerida por el suelo dependiendo de la clasificación por orden preferencial de los límites de Atterberg
Tomado CRATERRE; Paris 1979; Construir con Tierra tomo I y II

La siguiente tabla muestra un resumen de las especificaciones para los límites de Atterberg, con el fin de conocer la cantidad de estabilizante para mejorar las condiciones del suelo.

	Zonas Limites	Zonas preferenciales
Indice Plastico	De 7 a 29	De 7 a 18
Limite Liquido	De 25 a 30	De 30 a 35
Limite Plastico	De 10 a 25	De 12 a 22

Tabla 3-3 Zonas especiales dentro de las cuales de debe ubicar el valor de los límites de Atterberg de un suelo a utilizar en la construcción con tierra.

Tomado CRATERRE; Paris 1979; Construir con Tierra tomo I y II

4. ESTABILIZACION DEL SUELO

Cuando los suelos utilizados en construcciones en tierra no cumplen con las características óptimas que le den una resistencia adecuada, es necesario estabilizar el suelo variando su composición agregando sustancias que mejoren el comportamiento del material.

La estabilización del suelo es un proceso por el cual se pretende optimizarlo para ser utilizado como material de construcción, en este proceso este adquiere propiedades que por sí solo no las tenía como consecuencia de los aditamentos agregados, los cuales también ayudan a mejorar las propiedades mecánicas del material ya existente.

Este proceso se puede realizar por métodos físicos, químicos o físico-químicos, para el uso de los estabilizantes es necesario conocer:

- ❖ Las propiedades del suelo a trabajar.
- ❖ Los productos a emplear.
- ❖ Los sistemas constructivos.

La estabilización responde a tres objetivos:

- ❖ Disminuir el volumen de vacíos entre las partículas sólidas del material.
- ❖ Rellenar los vacíos que no se puedan suprimir.
- ❖ Mejorar las uniones entre partículas.

Esto permite mejorar las propiedades mecánicas del material y volverlo más fuerte a la acción del agua principalmente en:

- ❖ Crecimiento y contracción.
- ❖ Reducción de los atributos de cohesión y rigidez.
- ❖ Reducción de los atributos de erosión y gelificación.

Los granos de arena tienen gran cantidad de movimiento, lo cual hace que con humedades bajas tenga un poco de maleabilidad permitiendo construir pequeñas figuras como castillos en la playa, las arcillas con una determinada humedad posee cohesión lo cual le da maleabilidad, al secar., su cohesión aumenta y endurece.

4.1 ESTABILIZACIÓN SIN APORTE DE ESTABILIZANTE

En este tipo de estabilización se usan métodos físicos que buscan disminuir la cantidad de porosidad del material para aumentar su densidad.

4.1.1 Compactación. Aquí se trata de mejorar la compacidad del suelo por las siguientes vías:

- ❖ Estática: Rollos cilíndricos, rodillos de martinete y ruedas.
- ❖ Dinámica: Rodillos vibrantes.
- ❖ Compleja: Proyección y amasado.

La eficacia del procedimiento depende básicamente de la granulometría del material y su naturaleza de compactación. Los procesos dinámicos son más eficientes para suelos con mayor cantidad de elementos gruesos, mientras que los procesos estáticos son mejores en suelos con altas cantidades de finos; siendo determinantes la energía de compactación y la cantidad de agua.

En el ensayo normalizado del Proctor podemos hallar el contenido de humedad óptimo para obtener la mayor densidad, la compactación mejora el comportamiento mecánico, sin embargo es de resaltar que este estado no es permanente ya que toda obra en tierra es afectada por el paso del tiempo siendo necesario un mantenimiento adecuado.

4.1.1.1 Energía de apisonamiento. A una alta energía de apisonamiento se disminuye el contenido de agua óptimo conduciendo a una mayor densidad

seca sin importar el tipo de suelo o el método de compresión, como se observa en la figura 4.1.

Al disminuir la humedad de compactación se favorece la porosidad del material y se produce una disminución en las grietas por retracción.

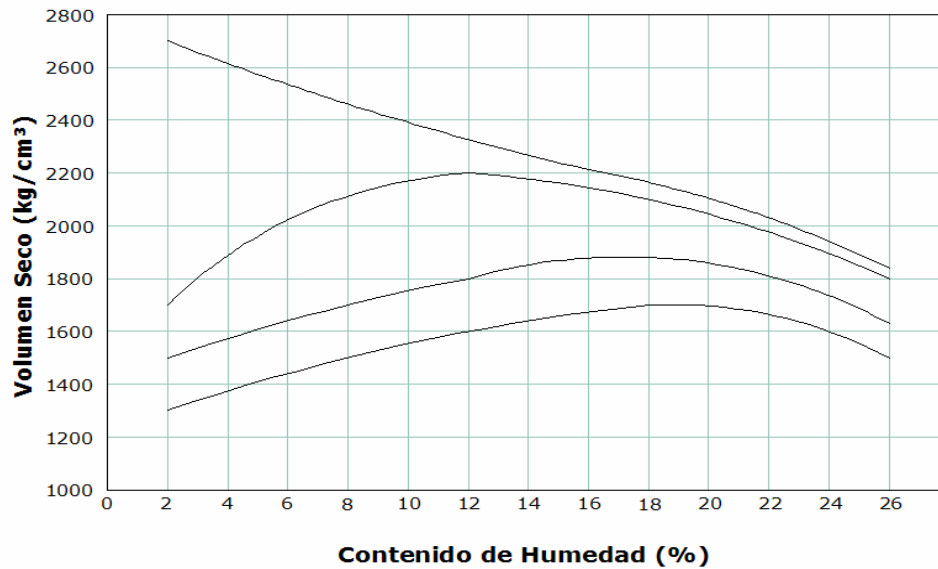


Figura 4-1 Variación de la densidad seca de acuerdo con la energía de compactación

Tomado; Rivero y Díaz; 1999; Comportamiento Estructural de Muros de tierra

Los pequeños granos en la arcilla generan un alto contenido específico lo que le confiere un comportamiento particular dependiendo de las fuerzas de tracción, existen dos tipos de estructuras principales:

- ❖ La estructura dispersa corresponden a fuerzas que tratan de separar las láminas de arcilla haciendo que estas tiendan a ser paralelas unas a otras como se ve en la figura 4.2.

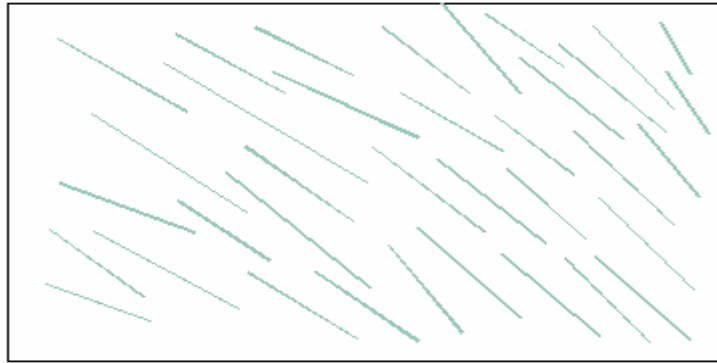


Figura 4-2 Estructura dispersa
Tomado por los autores

- ❖ La estructura flocular corresponde al predominio de las fuerzas de unión o atracción aproximando las láminas de arcilla formando ángulos importantes tal y como se ve en la figura 4.3.

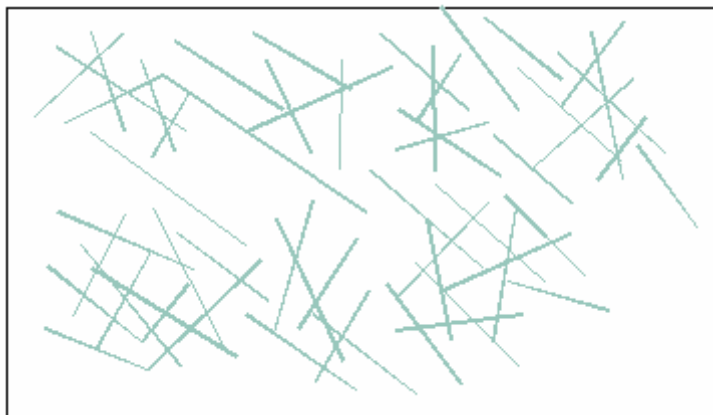


Figura 4-3 Estructura flocular
Tomado por los autores

Bajo estas circunstancias el apisonamiento difiere considerablemente según el tipo de estructura, en arcillas de estructura flocular el contenido de agua es bajo, mientras que en estructura dispersa se tienen altos contenidos de agua, por tanto la curva de apisonamiento se ubicará al lado derecho en el segundo caso y al izquierdo en el primero.

El apisonamiento óptimo aparece como un estado en donde las fuerzas de atracción son suficientes para permitir una buena compacidad, en la práctica si

se dispone la energía de compactación prevista, es mejor apisonar a la izquierda del óptimo.

4.1.1.2 Granulometría del suelo. Un suelo que tenga una granulometría mal gradada no puede alcanzar una buena compactación, en cambio granulometrías con variedad de tamaños permite una mejor unión de las partículas disminuyendo el volumen y generando mayor densidad. Figura 4.4.

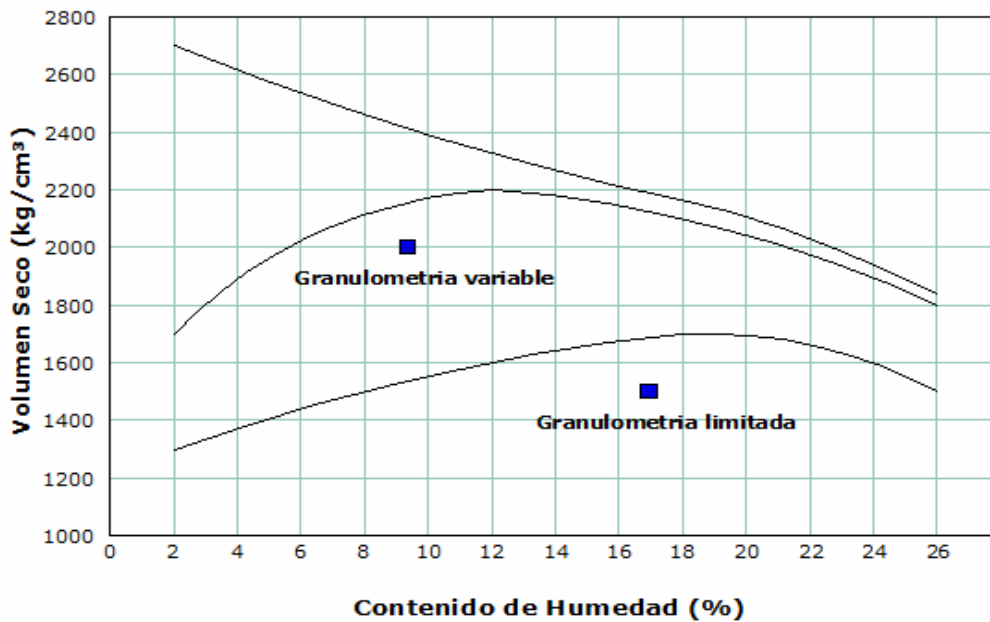


Figura 4-4 Influencia de la granulometría en la densidad del suelo
Tomado; Rivero y Díaz; 1999; Comportamiento Estructural de Muros de tierra

Para la ejecución de obras en tierras los centros de investigación han desarrollado una curva de granulometría óptima acotada inferior y superiormente, cuando se tengan suelos con curvas que no estén dentro del intervalo, es posible, mejorar el material mezclándolo con otro para tener una curva dentro del intervalo adecuado.

Así mejorando solo la granulometría del suelo se está realizando un proceso de estabilización, el cual puede ser el más económico si se dispone cerca el material para evitar los costos por transporte de este.

4.2 ESTABILIZACIÓN CON APOORTE DE ESTABILIZANTE

Tener un material bueno o elaborarlo son los principios fundamentales en la fabricación de bloques comprimidos en tierra, esto asegura la calidad del material aumentando sus propiedades físico mecánicas, también es válido la incorporación de aditamentos para lograr el mismo fin.

Las sustancias más utilizadas en nuestro entorno son: cemento y cal, empleados muchos años atrás sobre todo en el caso de la cal que en muchos lugares del mundo hace parte de construcciones muy antiguas.

Sin embargo la estructura química de los materiales puede llegar a modificar los comportamientos físico del mismo, sobre todo en el caso de las arcillas por eso es conveniente mantener la reserva en estas conclusiones.

4.2.1 Cemento portland. El aporte del cemento, permite obtener un material con propiedades mejoradas y fuerte en la interacción con el agua, aditivos de otro tipo mezclados con el cemento pueden mejorar algunas características especiales del material.

La adición del cemento mejora significativamente las características mecánicas sobre todo en arenas y gravillas. No ocurre igual para materiales arcillosos, por tanto un suelo cemento es parecido a un suelo natural (finos) compactado de igual forma.

El cemento vuelve irreversible la ganancia de resistencia por el apisonamiento.

Se puede concluir que el cemento crea uniones más resistentes en las partículas más gruesas de los suelos como las arenas aún cuando éstas están en presencia de agua, conservando así las bondades de la compactación. Sin embargo una granulometría incorrecta y una mala compactación pueden hacer ineficaz la adición del cemento.

Los cementos ordinarios portland o similares son suficientes y usar cementos mucho más sofisticados, es decir, con altas resistencias es contradictorio debido a que se pierden las ventajas de las construcciones en tierra como su bajo costo y una menor contaminación al interior y exterior de las obras, además estos cementos no representan en comparación a los más económicos mejoras sustanciales en las propiedades físicas del material.

Los suelos requieren una determinada cantidad de estabilizante dependiendo de las estructuras internas que tengan así como del tamaño de sus partículas, buenos resultados pueden ser obtenidos con porcentajes en peso de entre 6% y 9%, aunque en algunos suelos solo se requiere el 3% en general con este intervalo se logran excelentes resultados, en esta investigación se utilizaran porcentajes del 3%, 5% y 7%..

También cabe mencionar que los resultados más óptimos se tienen en suelos de naturaleza arenosa.

En la adición del cemento el suelo modifica su granulometría, generando un desplazamiento en las curvas de apisonamiento también la humedad óptima de un suelo cemento es distinta a las del suelo natural, ya que los cementos contienen partículas inferiores a 80 micrones; por tanto dependiendo de la cantidad de cemento añadida puede disminuir significativamente la densidad, acompañada por un aumento en la humedad óptima o un aumento de la densidad seca.

4.2.1.1 Efecto sobre el cemento. Las mejoras en las propiedades del material varían según la cantidad de cemento que se adicione el aumento de la resistencia puede ser rápido en porcentajes en peso bajos para disminuir después, puede ser proporcional al contenido de cemento. El aporte del 5 a 8% de cemento produce una mejora significativa en la resistencia a la compresión.

El resultado de la adición del cemento es la neutralización a la acción del agua, se hará un excelente proceso de estabilización si se tiene un material con pérdida de la resistencia mecánica en los límites luego de la inmersión.

La interacción del suelo tratado y el agua depende del índice de plasticidad, con un alto índice la sensibilidad al agua del suelo es mayor, una buena compactación y una adición de cemento reduce la acción del agua en el material, por tanto es conveniente utilizar un suelo tratado con una mediana cantidad de cemento, antes de adicionar grandes cantidades para mejorar un suelo de mala calidad.

El material estabilizado tiene la característica de disminuir la importancia de la contracción en el secado y de la expansión con la humedad, al adicionar un 5% de cemento, la contracción lineal total es inferior al 1% dependiendo del suelo, lo que disminuye los riesgos por fisuración; mayores cantidades de cemento no generan una disminución adicional a la contracción; también los suelos estabilizados con cemento adquieren una especial resistencia a los cambios de humedad.

El cemento mejora la resistencia de los suelos a la erosión producida por diferentes fenómenos como la lluvia, esta no está relacionada directamente con la resistencia mecánica, en la compresión un bloque de suelo resistente al rompimiento puede desagregarse rápidamente o a la inversa.

Un elemento de material estabilizado o no, resiste más a la lluvia cuando este contiene granos gruesos, la granulometría es fundamental ante la acción de la lluvia sobre un bloque.

Es necesario para tener una excelente estabilización realizar un buen mezclado de los componentes; los elementos finos no deben estar aglomerados en terrones o nódulos su tamaño debe ser menor a 20 mm.

Una buena homogeneidad en la mezcla de los componentes la proporciona el mezclado se necesita un secado previo prestando una especial atención a la disociación de los elementos finos, el agua necesaria para la fabricación del bloque se dará al finalizar la etapa del mezclado.

Inmediatamente preparada la mezcla se hace una compactación con un contenido cercano al óptimo antes de comenzar el fraguado del cemento, una diferencia mayor o menor al 4% produce una deficiencia en la calidad, el material arcilloso debe ser compactado del lado húmedo (derecha del proctor) y el arenoso del lado seco.

Un curado de 14 días es indispensable y uno de 28 es conveniente, a pesar de la heterogeneidad en el comportamiento de los suelos, se almacenará en un sitio húmedo protegido del sol y del viento evitando un secado rápido en la superficie desembocando en grietas.

4.2.2 La cal. El proceso de estabilización con cal consiste en adicionar cal viva o hidratada al suelo, la cal actúa sobre las partículas de arcilla del suelo, modificando los enlaces internos de las partículas, adquiriendo estructuras de tipo flocular; mientras que los iones de calcio conforman puentes entre las partículas o fuerzas de tracción y la interacción arcilla cal forma elementos cristalinos que ayudan en la cementación de los granos del suelo, se requiere un periodo de almacenamiento ya que este fenómeno se aprecia días más tarde.

La cal como cualquier estabilizante tiene poco efecto sobre un suelo con materia orgánica y suelos con bajos contenidos de arcilla, puede ser más efectiva que el cemento en suelos muy arcillosos.

4.2.2.1 Tipos de cales. Se producen en la cocción de piedra caliza pura, estas conforman las principales cales usadas en la estabilización.

Existen en el entorno dos tipos de cales:

- ❖ La cal viva (Ca O) producida en la cocción de piedra de cal, su uso está limitado por las condiciones de almacenamiento y de manipulación; este material es abrasivo y debe ser manipulado con precaución y

resguardado para evitar la humedad hasta su uso, la cal viva en contacto con el agua se calienta hasta temperaturas de 150° C, presenta algunas ventajas como la absorción de agua para su hidratación en suelos húmedos, aporta mayor cantidad de iones calcio para la unión de las partículas.

- ❖ La cal apagada (CaOH)₂ se obtiene directamente de la hidratación de la cal viva, es usada en la estabilización y no presenta los inconvenientes de manipulación de la cal viva.

4.2.2.2 Efectos sobre el material estabilizado. Algunos porcentajes de cal adicionados en un suelo desembocan en un cambio de la estructura interna de estos modificando sus propiedades mecánicas, este se torna menos plástico y la resistencia a la compresión en suelos ricos en caolinita aumenta a mediano y largo plazo, los suelos estabilizados en cal y con pequeña proporción de materia orgánica pueden ser similares en resistencia a los estabilizados en cemento.

El mezclado de la cal con el suelo debe hacerse con cuidado para obtener una mezcla homogénea, cuando se trate de suelos muy plásticos la mezcla debe hacerse en un tiempo de dos o cuatro días con el fin de dejar la cal para ablandar los terrones de suelo, la cal provoca un crecimiento durante el moldeado que causan una caída en la resistencia.

En bajos contenidos de cal como el 2%, la compactación es inmediata, contraria a los suelos con alto contenido de cal caso en el cual se deberá de 2 a 6 horas previas a la compactación, el contenido de agua para compactar tendrá que ser cercano al óptimo por el lado derecho (húmedo).

La resistencia a la compresión en el tiempo se ve favorecida debido al surgimiento de minerales producto de la reacción entre la cal y las arcillas, este fenómeno se prolonga varias semanas.

5. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

El análisis de los suelos utilizados en esta investigación fueron realizados en los laboratorios de suelos y pavimentos de la escuela de ingeniería civil de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Los ensayos fueron los siguientes

- ❖ Granulometría.
- ❖ Límites de Atterberg.
- ❖ Compactación.

Una vez conocidas las características anteriormente nombradas de los suelos se dió comienzo al procedimiento de estabilización que consiste en un cambio en la granulometría y/o adición de cemento en porcentajes de 3%, 5% y 7%, para mejorar la resistencia a la compresión y la deformación de los bloques de tierra comprimidos.

En el presente capítulo se muestra la forma como se procedió con el fin de obtener las diferentes curvas granulométricas y humedad más óptima y así poder obtener los mejores resultados en las pruebas de compresión de los bloques de tierra comprimidos.

5.1 GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS EN ESTUDIO

5.1.1 Granulometría suelo de Barichara y Piedecuesta. Se tomaron 1000 gramos de material de cada suelo y se procedió a realizar los ensayos de granulometría por tamizado. Los ensayos contaron con un error de 1.10% y 0.76% respectivamente, los resultados de los ensayos se puede apreciar en la tabla 5.1.

Muestra	% Finos	% Arenas	% Humedad	Granulometria Optima
Barichara	79.85	20.15	8.5	no cumple
Piedecuesta	51.09	48.91	5.3	no cumple

Tabla 5-1 Resultados ensayo granulométrico suelo Barichara y Piedecuesta

5.2 LÍMITES DE ATTERBERG DE LOS SUELOS EN ESTUDIO

5.2.1 Límites de Atterberg suelo de Barichara y Piedecuesta. Se tomaron 150 gramos de material tamizado de cada suelo y se procedió a realizar los ensayos de límites de Atterberg. Para conocer la fracción fina del suelo. Los resultados de los ensayos se pueden apreciar en la tabla 5.2.

Muestra	% Limite Liquido	% Limite Plastico	Indice plasticidad
Barichara	39	19	20
Piedecuesta	49	20	29

Tabla 5-2 Resultados ensayo límites de Atterberg suelo Barichara y Piedecuesta

5.3 COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS EN ESTUDIO

5.3.1 Ensayo de compactación suelo de Barichara y Piedecuesta. Observando la necesidad de realizar una buena compactación de los bloques se procedió a realizar un ensayo de compactación (Proctor), con el fin de conocer la humedad óptima del material y con la cual se tratara de trabajar con miras a obtener los mejores resultados. En la tabla 5.3 se observa los resultados de los ensayos.

Muestra	% Humedad Optima	densidad maxima gr/cm ³
Barichara	17.72	1.77
Piedecuesta	13.51	1.84

Tabla 5-3 Resultados ensayo de compactación suelo Barichara y Piedecuesta

5.4 CLASIFICACION DEL SUELO PARA ESTABILIZACIÓN

5.4.1 Zonas de estabilización para el suelo de Barichara y Piedecuesta. A partir de los valores obtenidos de límite líquido y límite plástico para cada uno de los suelos, se ubicó en la gráfica de zonificación para establecer qué

cantidad de estabilizante se utilizará para la elaboración de los bloques. Presente en la figura 5.1. Según esta gráfica de zonas el suelo de Barichara requiere una estabilización poca o media; por el contrario el suelo de Piedecuesta se sale de éstas zonas propuestas.

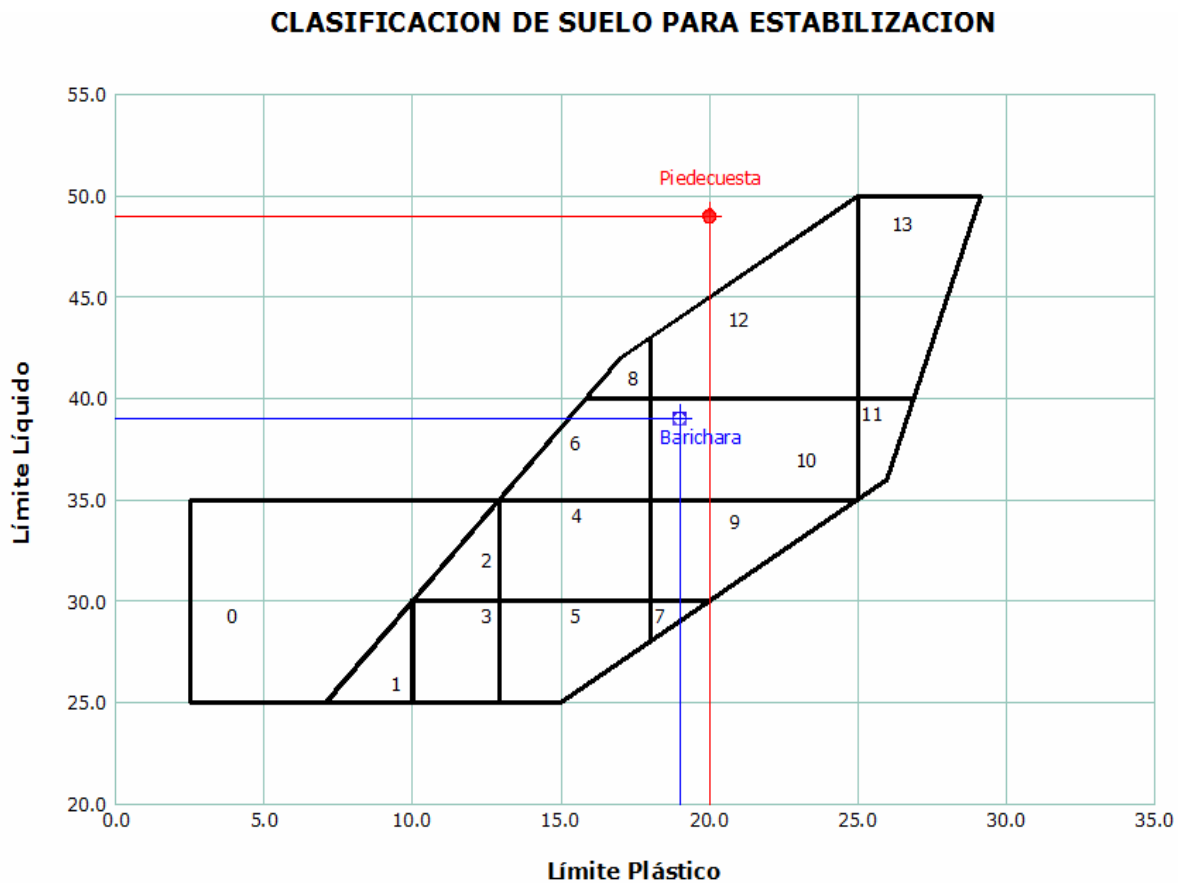


Figura 5-1 Clasificación de los suelos de Barichara y Piedecuesta según las zonas para estabilización

Tomado CRATERRE; Paris 1979; Construir con Tierra tomo I y II

5.5 CARTA DE PLASTICIDAD

5.5.1 Carta de plasticidad para el suelo de Barichara y Piedecuesta.

Teniendo en cuenta la Carta de Plasticidad, la cual es función del Índice de Plasticidad y el Límite Líquido, se situó cada suelo teniendo como resultado que el suelo de Barichara al igual que el de Piedecuesta pertenecía a un CL, este tipo de suelo es una arcilla de bajo Límite Líquido y baja plasticidad. Los

resultados correspondientes al anterior comentario se puede observar en la figura 5.2.

CARTA DE PLASTICIDAD PARA CLASIFICACION DE SUELO DE PARTICULAS FINAS

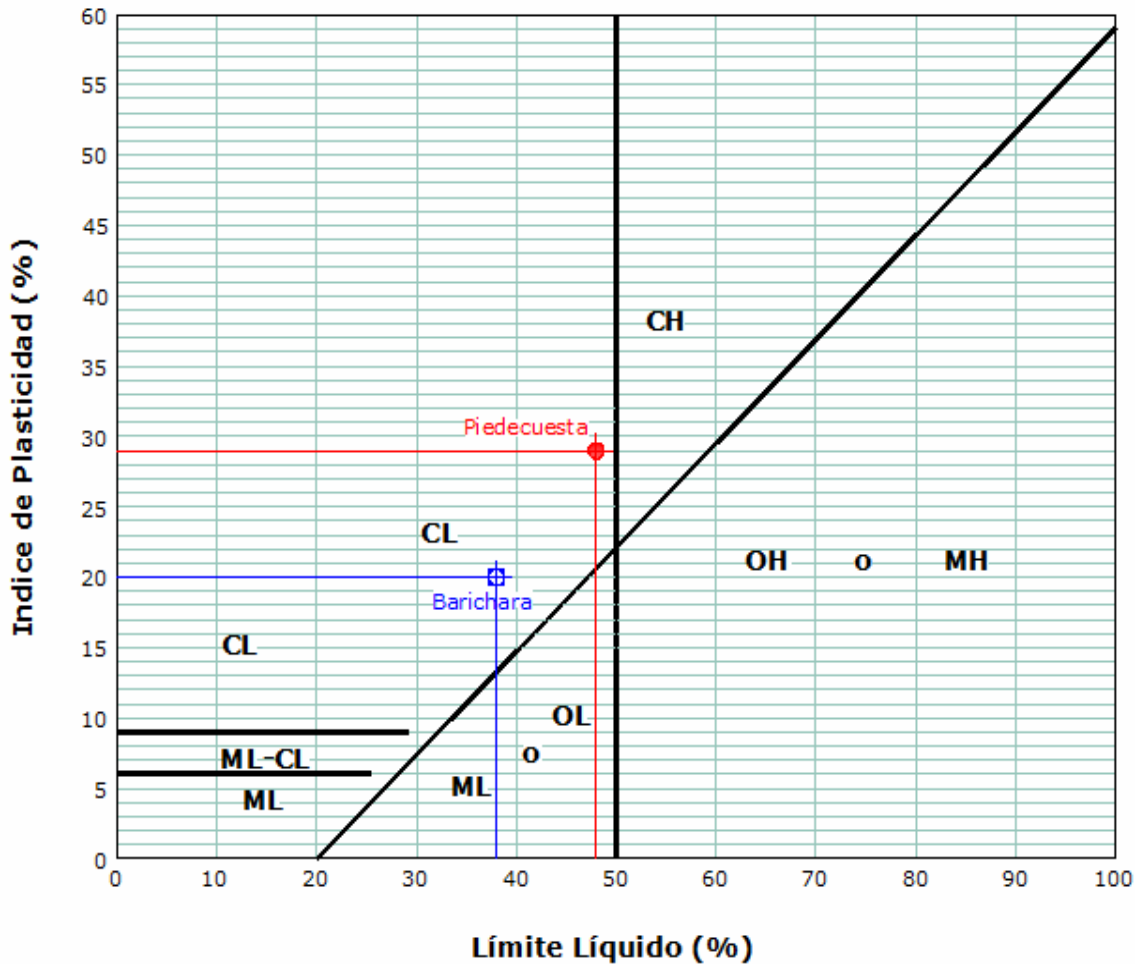


Figura 5-2 Carta de plasticidad correspondiente al suelo de Barichara y Piedecuesta

Tomado; Pérez y Pachon; 2003; Determinación de los Módulos Elástico, Plástico y de Rotura

5.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS FINOS EN LAS MUESTRAS DE SUELO

5.6.1 Características de los finos en el suelo de Barichara y Piedecuesta.

Cuando se estudia un suelo para ser utilizado con fines constructivos es muy importante conocer la cohesión de las partículas que lo constituyen, ya que dependiendo de esta se puede predecir la capacidad de mantenerse justas cuando el suelo se encuentre totalmente seco.

Para ello se estudió la gráfica en función del índice plástico y el límite líquido, y la cual se expone en la figura 5.3. Es aquí donde se encuentra que este suelo de Barichara y Piedecuesta poseen características de cohesión media y buena cohesión respectivamente, para fines del proyecto este nivel de capacidad adherente es suficiente.

Como las muestras de Barichara y Piedecuesta presentan un porcentaje de arcilla de 79.85% y 51.09 respectivamente, es importante conocer las características expansivas del mismo ya que una expansión baja garantiza que el suelo no tendrá fisuramientos y agrietamientos visibles una vez el suelo se seque. Tal como se puede observar en la figura 5.4 la arcilla presente en Barichara posee una expansión baja y en caso contrario las arcillas presentes en Piedecuesta poseen una expansión alta.

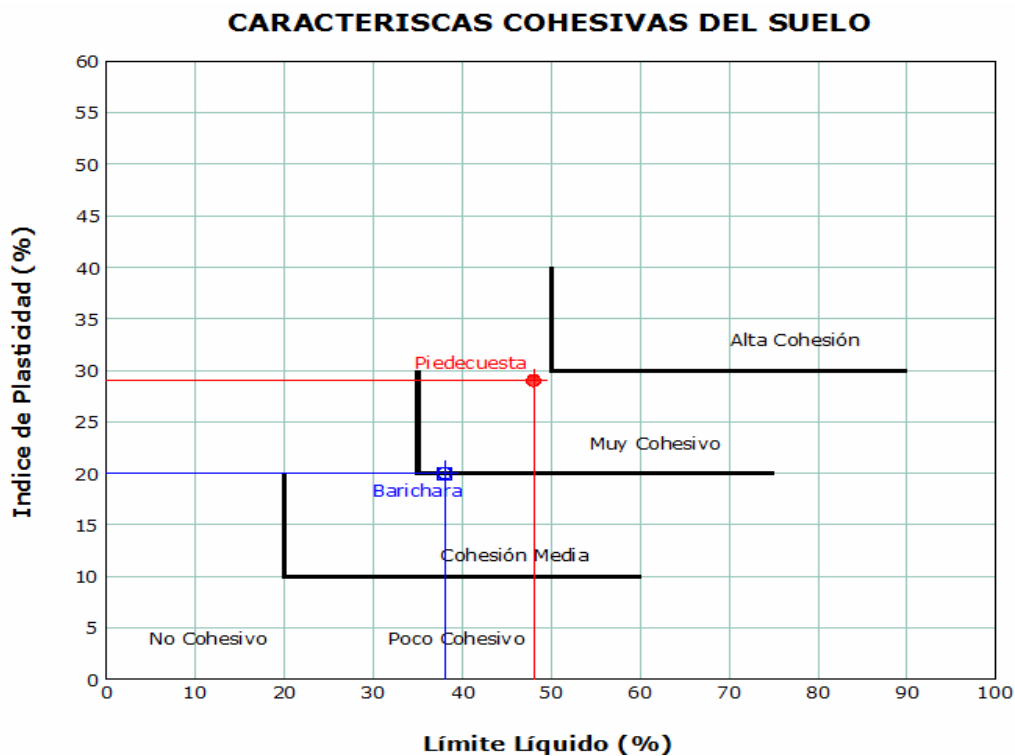


Figura 5-3 Características cohesivas presentes en el suelo de Barichara y Piedecuesta

Tomado; Pérez y Pachon; 2003; Determinación de los Módulos Elástico, Plástico y de Rotura

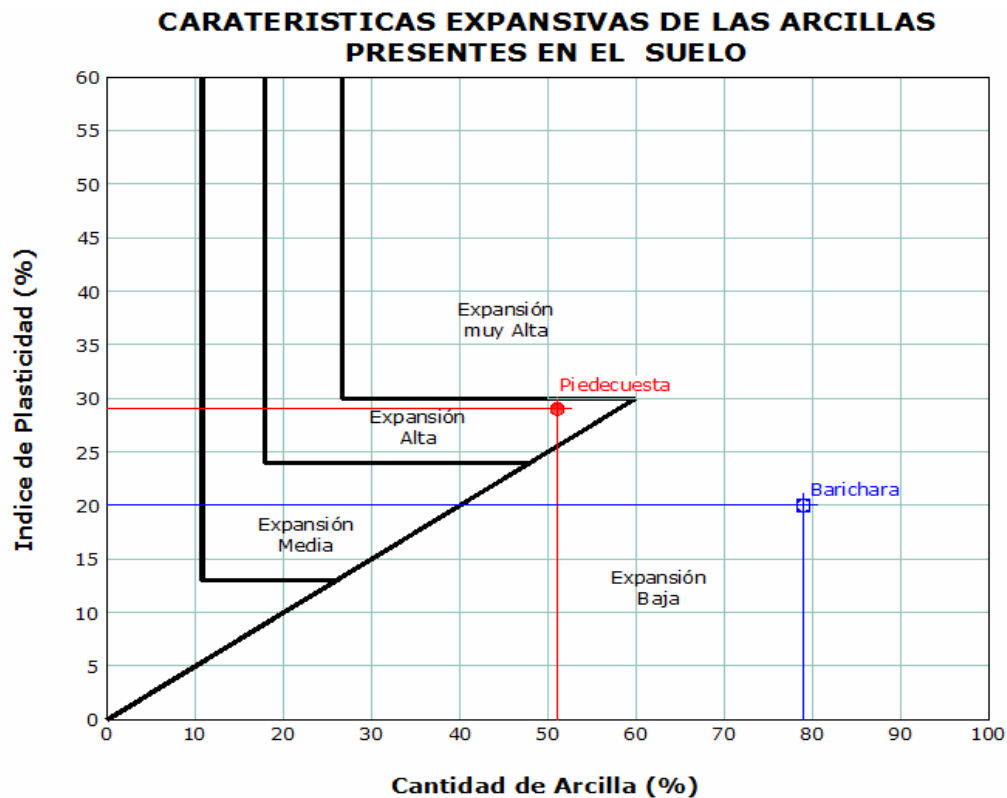


Figura 5-4 Característica expansivas de las arcillas presentes en el suelo de Barichara y Piedecuesta

Tomado; Pérez y Pachon; 2003; Determinación de los Módulos Elástico, Plástico y de Rotura

5.7 AJUSTE POR GRANULOMETRÍA

Para esta investigación el suelo de Barichara carece de las propiedades granulométricas óptimas recomendadas para la construcción en tierra, las cuales se pueden observar en la figura 5.5 por otra parte el suelo de Piedecuesta cumple con las características óptimas recomendadas para la construcción en tierra, las cuales podemos observar en la figura 5.6.

Se procedió con el proceso de estabilización ya mencionado en el capítulo 4, en una primera parte se implementó el proceso de estabilización sin utilizar estabilizante cambiando la granulometría existente y en una segunda fase se le agregó cemento portland tanto al suelo en estado natural como al suelo modificado en su granulometría como se especifica en figura 5.7.

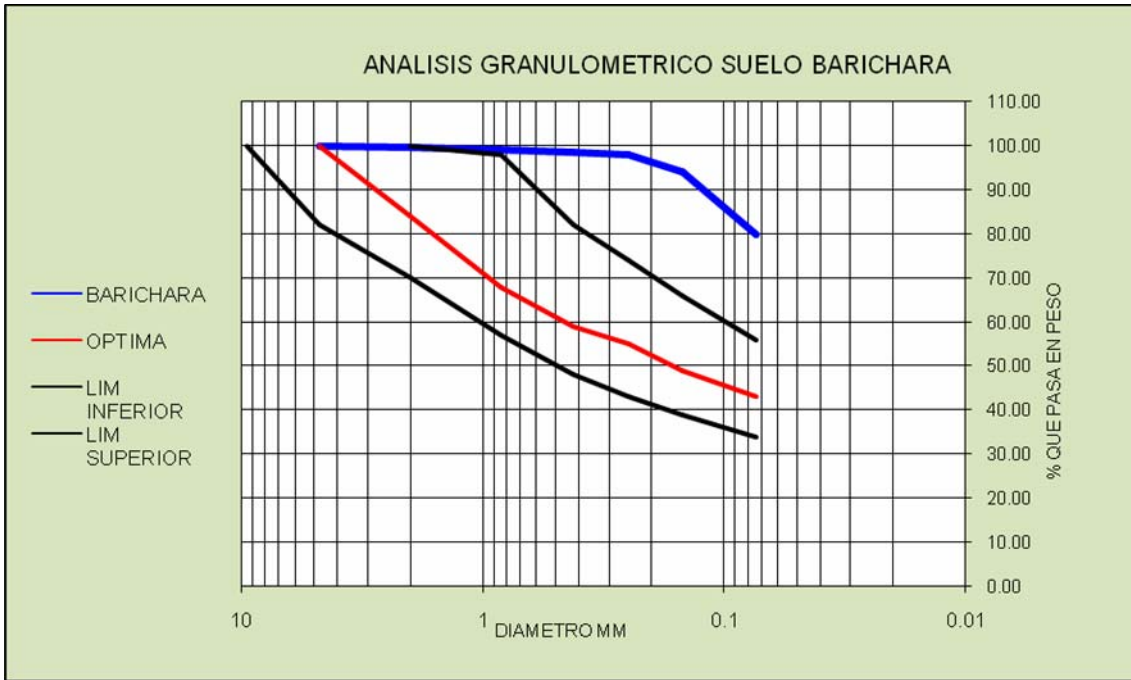


Figura 5-5 Análisis granulométrico suelo de Barichara
Tomado CRATERRE; Paris 1979; Construir con Tierra tomo I y II

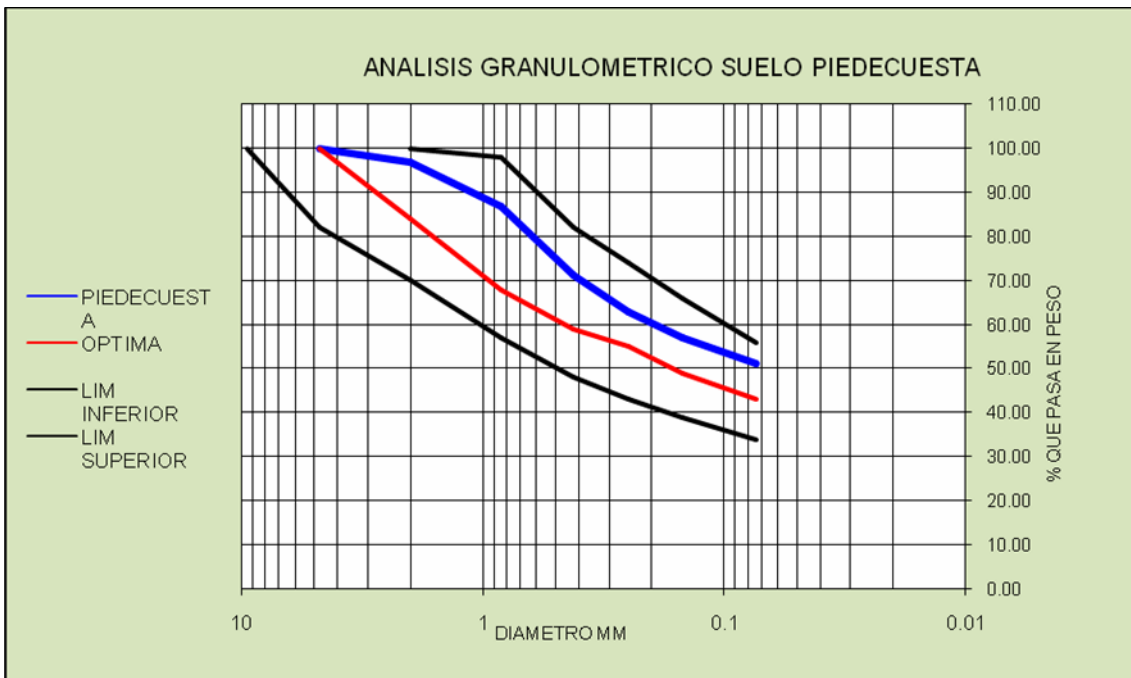


Figura 5-6 Análisis granulométrico suelo de Piedecuesta
Tomado CRATERRE; Paris 1979; Construir con Tierra tomo I y II

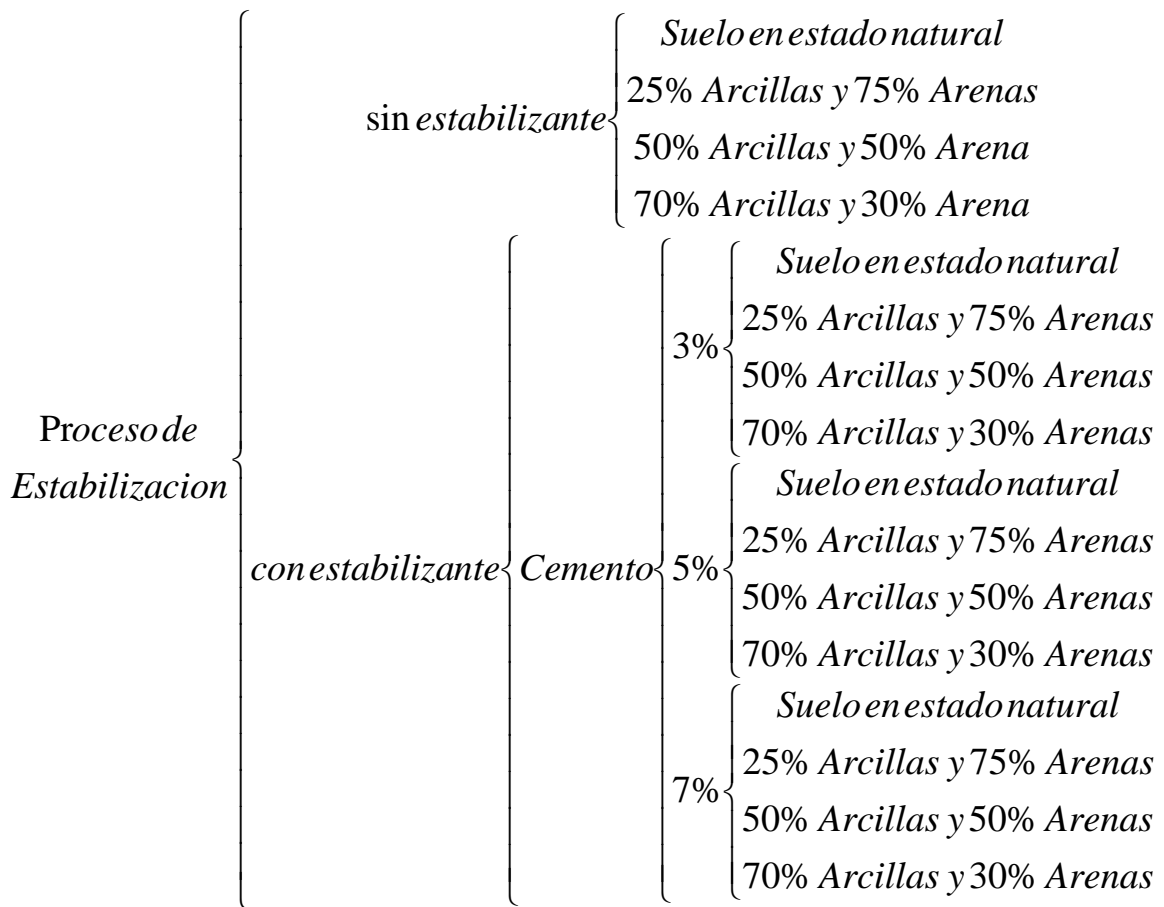


Figura 5-7 Esquema de estabilización
Tomado por los autores

6. ELABORACION DE LOS BLOQUES COMPRIMIDOS

6.1. SELECCIÓN DE LOS SITIOS PARA LA TOMA DE MUESTRAS.

El mayor interés con la realización de esta investigación es contribuir para la normalización en nuestro país de las construcciones en tierra, ya que garantizan soluciones de vivienda a un costo más bajo.

En la región de Santander el municipio de Barichara es uno de los más famosos por conservar construcciones que datan del siglo XVIII, actualmente se encuentran fundaciones y profesionales de distintas áreas como la arquitectura, ingeniería y ambientalistas interesados en promover este tipo de construcciones como una alternativa segura de vivienda, es por ello que se decidió estudiar la composición del suelo de esta zona para determinar su comportamiento a la compresión y compararlo con las recomendaciones respecto a los porcentajes granulométricos que debería tener el suelo en las construcciones de tierra para tener una buena resistencia, estas sugerencias se plasmaron en las curvas granulométricas mostradas en el capítulo 4 hechas en Francia por CRATERRE.

El otro sitio escogido para el estudio fue el municipio de Piedecuesta debido a su cercanía a la ciudad de Bucaramanga, lo cual podría generar proyectos de construcción de viviendas en tierra, además en Bucaramanga no existen muchos espacios para llevar a cabo proyectos constructivos, es por ello que Piedecuesta puede en un momento dado convertirse en zona de expansión del área metropolitana.

6.2. SELECCIÓN DE GRANULOMETRÍAS Y ESTABILIZANTES.

Como ya se mencionó se utilizaron las curvas del centro de investigación CRATERRE para hacer una comparación con los materiales de nuestra región, debido a esto se eligieron tres tipos de granulometrías dos de ellas se salen un poco de los límites superior e inferior de las curvas óptimas trabajadas en

CRATERRE y una entra dentro del rango de estas curvas las cuales se pueden observar en la figuras 6.1, 6.2 y 6.3.

También para hacer la analogía se trabajaron bloques sin modificar las granulometrías, es decir tal y como se recogieron en los sitios ya mencionados. El estabilizante más usado por los constructores en tierra de la región es la cal, debido a que esta aumenta la resistencia a la compresión y protege de la intemperie por lo cual se hicieron bloques con 7% de cal, respecto del peso del bloque.

También se uso el cemento Pórtland como estabilizante aunque este material no es tan usado como la cal debido a su costo, se sabe que el cemento Pórtland ofrece mayores resistencias, es por ello que en esta investigación se enfocó en el comportamiento de los bloques con este material trabajando con porcentajes en peso del 3%, 5% y 7% respecto del peso del bloque.

Es de resaltar que estos porcentajes se escogieron de acuerdo con las recomendaciones de normas como UNE-EN 772-1:2002 para la fabricación de bloques de tierra comprimidos.

Las diferentes granulometrías con y sin estabilizante se muestran en el siguiente cuadro:

B-1	Sin Estabilizante		Suelo en estado natural
B-2			25% Arcillas y 75% Arenas
B-3			50% Arcillas y 50% Arenas
B-4			70% Arcillas y 30% Arenas
B-5	Con Estabilizante	3% Cemento	Suelo en estado natural
B-6			25% Arcillas y 75% Arenas
B-7			50% Arcillas y 50% Arenas
B-8			70% Arcillas y 30% Arenas
B-9	Con Estabilizante	5% Cemento	Suelo en estado natural
B-10			25% Arcillas y 75% Arenas
B-11			50% Arcillas y 50% Arenas
B-12			70% Arcillas y 30% Arenas
B-13	Con Estabilizante	7% Cemento	Suelo en estado natural
B-14			25% Arcillas y 75% Arenas
B-15			50% Arcillas y 50% Arenas
B-16			70% Arcillas y 30% Arenas

Tabla 6-1 Selección de granulometrías y estabilizantes

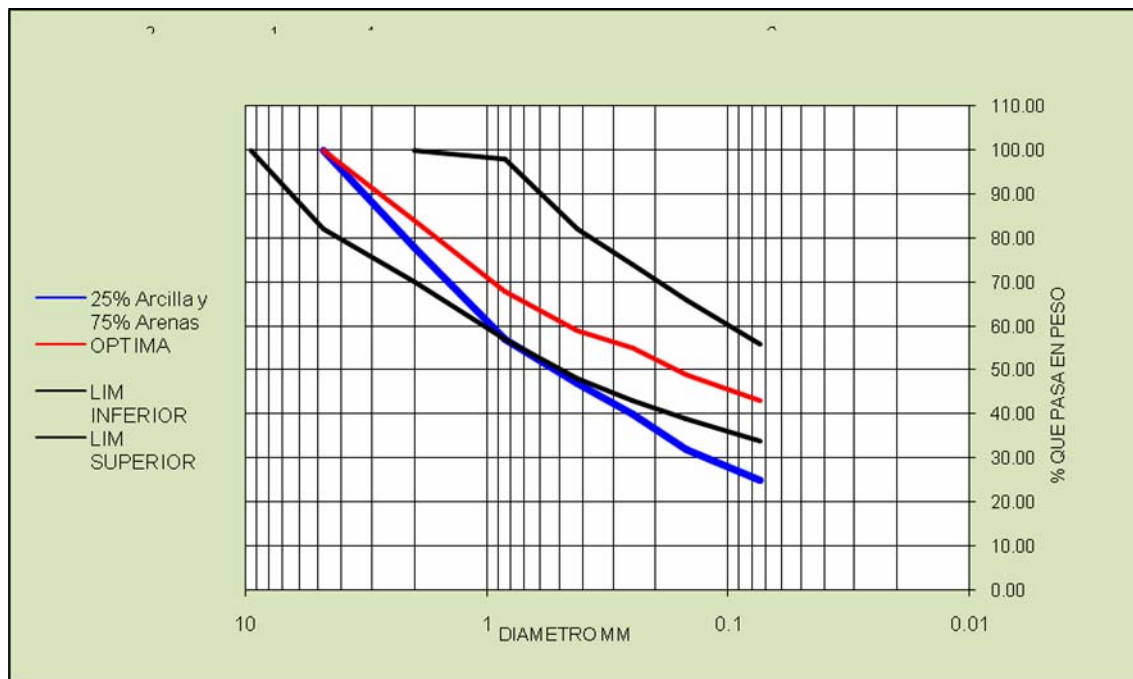


Figura 6-1 Estabilización por granulometría tipo 1
Tomado por los autores

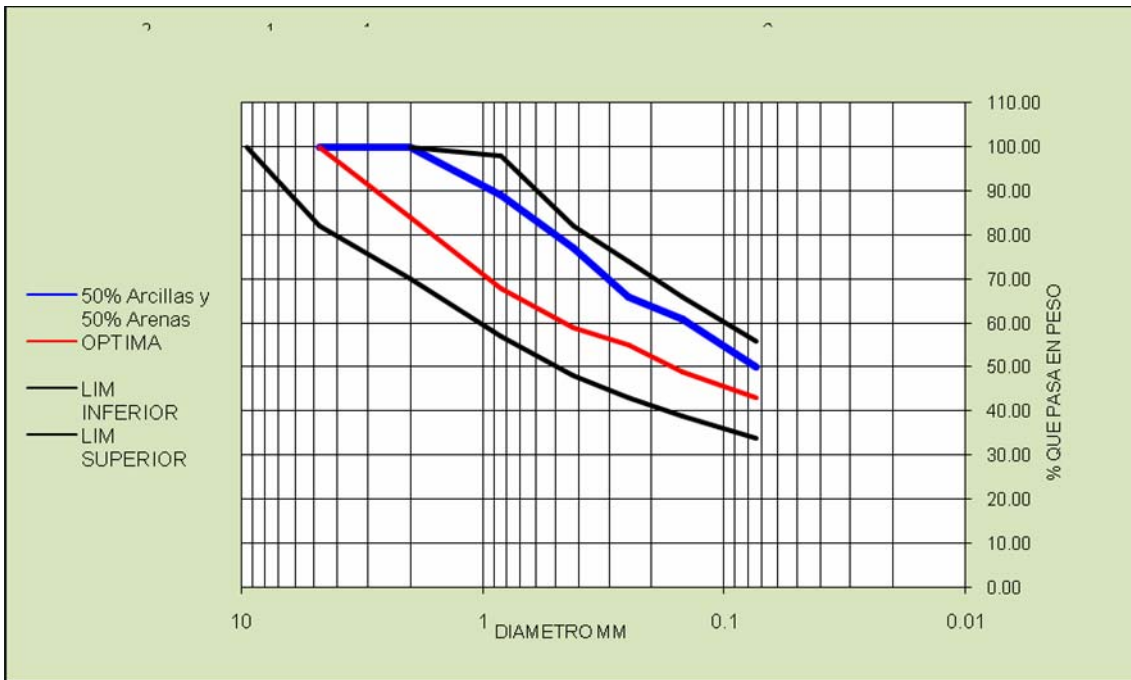


Figura 6-2 Estabilización por granulometría tipo 2
Tomado por los autores

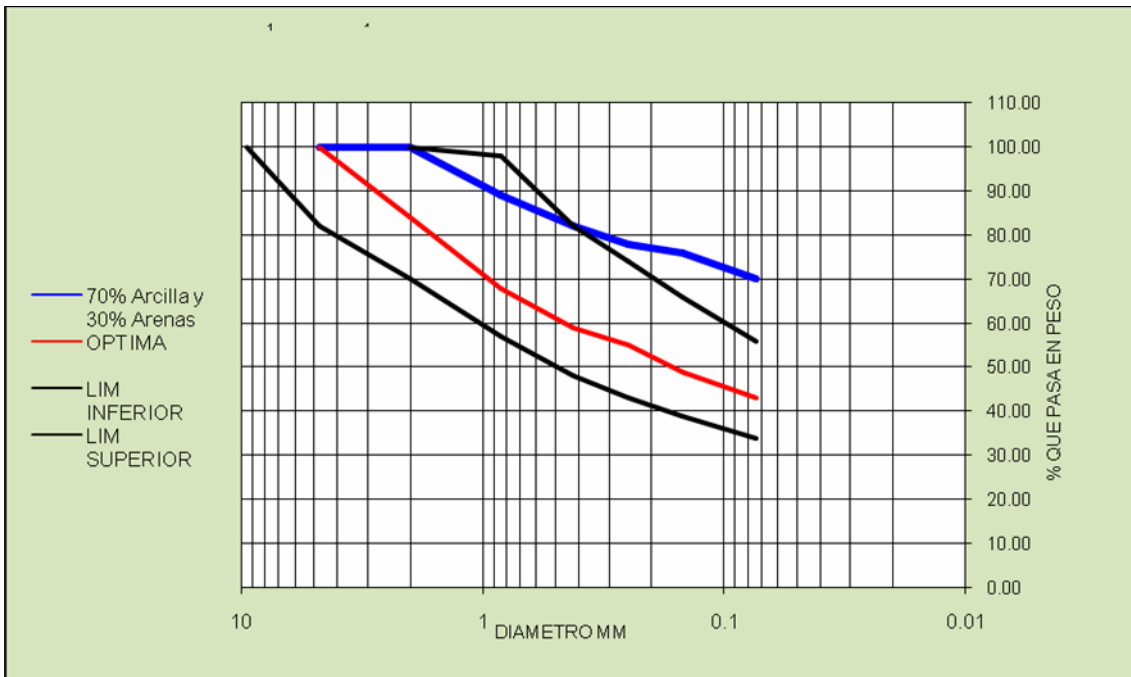


Figura 6-3 Estabilización por granulometría tipo 3
Tomado por los autores

6.3. CANTIDAD DE BLOQUES.

Los bloques se nombraron de acuerdo al sitio, al tipo de granulometría y al orden de elaboración, es así como un bloque B – 1 – a, quiere decir que es suelo de Barichara (B) de granulometría tipo 1 y fue el primero en fabricarse (a), se realizaron tres muestras de bloques por cada tipo de granulometría y se nombraron de acuerdo a su elaboración por ello tenemos bloque para una misma granulometría tipo a, b y c. Esto se puede entender mejor en el cuadro mostrado a continuación para los bloques B-1 a B-4 fabricados con suelo de Barichara.

Peso Muestra	Especimen
B-1	a
	b
	c
B-2	a
	b
	c
B-3	a
	b
	c
B-4	a
	b
	c
Total Bloques	12

Tabla 6-2 Cantidad de bloques para cuatro granulometrías sin estabilizante

Se tienen por cada cuatro granulometrías un total de doce bloques y se fabricaron dieciséis bloques con distintas granulometrías, 48 bloques para el municipio de Barichara como se hizo la misma cantidad para Piedecuesta se elaboraron un total de 96 bloques fabricados.

6.4. PESOS.

Escogidos el sitio, las granulometrías, los estabilizantes y la cantidad de bloques se procedió a pesar un bloque prensado en una máquina CINVA RAM en el municipio de Barichara el cual pesó aproximadamente 8500gr, para la elaboración de las mezclas de los bloques se mayoró este valor a 10000gr. por posibles pérdidas en el transporte y construcción con el material obteniendo

para cada bloque el peso de sus componentes de acuerdo con las curvas granulométricas recomendadas; se almacenaron en bolsas de un peso aproximado de 10000gr. figura 6.4.



Figura 6-4 Muestra suelo de un bloque
Tomado por los autores

Para cada combinación se escogió un porcentaje en peso retenido para las diferentes tamices desde el No 200 al No 4, a continuación se muestran los cuadros con la distribución de los pesos usados en las combinaciones.

PESO COMBINACION : 10000 gr					
25% FINOS		75% ARENAS		SIN CEMENTO	
RETENIDO MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENT O RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	PESO SUELO ENSAYO
****	mm	gr	%	%	gr
10	2	2200.00	22.00	78.00	6600
20	0.84	2100.00	21.00	57.00	6300
40	0.42	1000.00	10.00	47.00	3000
60	0.25	700.00	7.00	40.00	2100
100	0.149	800.00	8.00	32.00	2400
200	0.074	700.00	7.00	25.00	2100
PASA 200	*****	2500.00	25.00		7500
SUMA	*****	10000.00	100.00		30000
TOTAL		10000.00			

Tabla 6-3 Distribución de pesos en los tamices para la combinación

PESO COMBINACION : 10000 gr					
50% FINOS 50% ARENAS SIN CEMENTO					
RETENIDO MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENT O RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	PESO SUELO ENSAYO
****	mm	gr	%	%	gr
10	2	0.00	0.00	100.00	0
20	0.84	1100.00	11.00	89.00	3300
40	0.42	1200.00	12.00	77.00	3600
60	0.25	1100.00	11.00	66.00	3300
100	0.149	500.00	5.00	61.00	1500
200	0.074	1100.00	11.00	50.00	3300
PASA 200	*****	5000.00	50.00		15000
SUMA	*****	10000.00	100.00		30000
TOTAL		10000.00			

Tabla 6-4 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 3

PESO COMBINACION : 10000 gr					
70% FINOS 30% ARENAS SIN CEMENTO					
RETENIDO MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENT O RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	PESO SUELO ENSAYO
****	mm	gr	%	%	gr
10	2	0.00	0.00	100.00	0
20	0.84	1100.00	11.00	89.00	3300
40	0.42	700.00	7.00	82.00	2100
60	0.25	400.00	4.00	78.00	1200
100	0.149	200.00	2.00	76.00	600
200	0.074	600.00	6.00	70.00	1800
PASA 200	*****	7000.00	70.00		21000
SUMA	*****	10000.00	100.00		30000
TOTAL		10000.00			

Tabla 6-5 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 4

PESO COMBINACION : 9700 gr					
25% FINOS 75% ARENAS 3% CEMENTO					
RETENIDO MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	PESO SUELO ENSAYO
****	mm	gr	%	%	gr
10	2	2134.00	22.00	78.00	6402
20	0.84	2037.00	21.00	57.00	6111
40	0.42	970.00	10.00	47.00	2910
60	0.25	679.00	7.00	40.00	2037
100	0.149	776.00	8.00	32.00	2328
200	0.074	679.00	7.00	25.00	2037
PASA 200	*****	2425.00	25.00		7275
SUMA	*****	9700.00	100.00		29100
TOTAL		9700.00			

Tabla 6-6 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 6

PESO COMBINACION : 9700 gr					
50% FINOS 50% ARENAS 3% CEMENTO					
RETENIDO MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	PESO SUELO ENSAYO
****	mm	gr	%	%	gr
10	2	0.00	0.00	100.00	0
20	0.84	1067.00	11.00	89.00	3201
40	0.42	1164.00	12.00	77.00	3492
60	0.25	1067.00	11.00	66.00	3201
100	0.149	485.00	5.00	61.00	1455
200	0.074	1067.00	11.00	50.00	3201
PASA 200	*****	4850.00	50.00		14550
SUMA	*****	9700.00	100.00		29100
TOTAL		9700.00			

Tabla 6-7 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 7

PESO COMBINACION : 9700 gr					
70% FINOS 30% ARENAS 3% CEMENTO					
RETENIDO MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	PESO SUELO ENSAYO
****	mm	gr	%	%	gr
10	2	0.00	0.00	100.00	0
20	0.84	1067.00	11.00	89.00	3201
40	0.42	679.00	7.00	82.00	2037
60	0.25	388.00	4.00	78.00	1164
100	0.149	194.00	2.00	76.00	582
200	0.074	582.00	6.00	70.00	1746
PASA 200	*****	6790.00	70.00		20370
SUMA	*****	9700.00	100.00		29100
TOTAL		9700.00			

Tabla 6-8 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 8

PESO COMBINACION : 9500 gr					
25% FINOS 75% ARENAS 5% CEMENTO					
RETENIDO MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	PESO SUELO ENSAYO
****	mm	gr	%	%	gr
10	2	2090.00	22.00	78.00	6270
20	0.84	1995.00	21.00	57.00	5985
40	0.42	950.00	10.00	47.00	2850
60	0.25	665.00	7.00	40.00	1995
100	0.149	760.00	8.00	32.00	2280
200	0.074	665.00	7.00	25.00	1995
PASA 200	*****	2375.00	25.00		7125
SUMA	*****	9500.00	100.00		28500
TOTAL		9500.00			

Tabla 6-9 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 10

PESO COMBINACION : 9500 gr					
50% FINOS 50% ARENAS 5% CEMENTO					
RETENIDO MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	PESO SUELO ENSAYO
****	mm	gr	%	%	gr
10	2	0.00	0.00	100.00	0
20	0.84	1045.00	11.00	89.00	3135
40	0.42	1140.00	12.00	77.00	3420
60	0.25	1045.00	11.00	66.00	3135
100	0.149	475.00	5.00	61.00	1425
200	0.074	1045.00	11.00	50.00	3135
PASA 200	*****	4750.00	50.00		14250
SUMA	*****	9500.00	100.00		28500
TOTAL		9500.00			

Tabla 6-10 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 11

PESO COMBINACION : 9500 gr					
70% FINOS 30% ARENAS 5% CEMENTO					
RETENIDO MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	PESO SUELO ENSAYO
****	mm	gr	%	%	gr
10	2	0.00	0.00	100.00	0
20	0.84	1045.00	11.00	89.00	3135
40	0.42	665.00	7.00	82.00	1995
60	0.25	380.00	4.00	78.00	1140
100	0.149	190.00	2.00	76.00	570
200	0.074	570.00	6.00	70.00	1710
PASA 200	*****	6650.00	70.00		19950
SUMA	*****	9500.00	100.00		28500
TOTAL		9500.00			

Tabla 6-11 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 12

PESO COMBINACION : 9300 gr					
25% FINOS 75% ARENAS 7% CEMENTO					
RETENIDO MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	PESO SUELO ENSAYO
****	mm	gr	%	%	gr
10	2	2046.00	22.00	78.00	6138
20	0.84	1953.00	21.00	57.00	5859
40	0.42	930.00	10.00	47.00	2790
60	0.25	651.00	7.00	40.00	1953
100	0.149	744.00	8.00	32.00	2232
200	0.074	651.00	7.00	25.00	1953
PASA 200	*****	2325.00	25.00		6975
SUMA	*****	9300.00	100.00		27900
TOTAL		9300.00			

Tabla 6-12 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 14

PESO COMBINACION : 9300 gr					
50% FINOS 50% ARENAS 7% CEMENTO					
RETENIDO MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	PESO SUELO ENSAYO
****	mm	gr	%	%	gr
10	2	0.00	0.00	100.00	0
20	0.84	1023.00	11.00	89.00	3069
40	0.42	1116.00	12.00	77.00	3348
60	0.25	1023.00	11.00	66.00	3069
100	0.149	465.00	5.00	61.00	1395
200	0.074	1023.00	11.00	50.00	3069
PASA 200	*****	4650.00	50.00		13950
SUMA	*****	9300.00	100.00		27900
TOTAL		9300.00			

Tabla 6-13 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 15

PESO COMBINACION : 9300 gr					
70% FINOS 30% ARENAS 7% CEMENTO					
RETENIDO MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	PESO SUELO ENSAYO
****	mm	gr	%	%	gr
10	2	0.00	0.00	100.00	0
20	0.84	1023.00	11.00	89.00	3069
40	0.42	651.00	7.00	82.00	1953
60	0.25	372.00	4.00	78.00	1116
100	0.149	186.00	2.00	76.00	558
200	0.074	558.00	6.00	70.00	1674
PASA 200	*****	6510.00	70.00		19530
SUMA	*****	9300.00	100.00		27900
TOTAL		9300.00			

Tabla 6-14 Distribución de pesos en los tamices para la combinación 16

6.5 MEZCLADO.

Definidos los pesos de los componentes se utilizó el ensayo de humedad óptima en los suelos para conocer el contenido de agua en la mezcla para cada bloque, luego se mezcló con un palustre a mano. Figura 6.5.



Figura 6-5 Mezclado del material
Tomado por los autores

6.6 PRENSADO DE LOS BLOQUES.

Teniendo los distintos componentes distribuidos homogéneamente se procedió a llenar el molde de la máquina CINVA RAM, para esto se hacía un apisonamiento en las esquinas ya que en las pruebas iniciales se notó que las esquinas del bloque prensado quedaban menos compactadas ya que el pistón de la máquina se encuentra en la mitad del molde lo que no permite una adecuada distribución de la carga al momento del prensado. El proceso básicamente se lleva a cabo en tres etapas.

6.6.1 Llenado del molde. Aquí se llena el molde de la máquina con el material mezclado, cuidando como ya se mencionó que la carga quede bien distribuida en las esquinas. Figura 6.6



Figura 6-6 Llenado del molde
Tomado por los autores

6.6.2 Prensado. Luego de colocar el material en el molde se procede a bajar la palanca previamente se tiene que cerrar la tapa del molde que en este caso es rotativa, la máquina cuenta con un gancho que debe ser soltado para poder bajar la palanca, esta gira un ángulo máximo de 90 grados. Figuras 6.7



Figura 6-7 Prensado
Tomado por los autores

6.6.3 Obtención del bloque. Posteriormente de hacer el prensado se sube la palanca hasta el comienzo del proceso y se ajusta el gancho, luego se rota la palanca hacia el lado contrario para que el pistón permita sacar el bloque ya compactado en el molde. Figuras 6.8



Figura 6-8 Obtención del bloque
Tomado por los autores

7. INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA EN LOS BLOQUES SOMETIDOS A COMPRESIÓN SIMPLE.

7.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN.

Luego del proceso de fabricación los bloques se dejaron almacenados en el laboratorio por un tiempo de 15 días para el proceso de secado, al día 16 se procedió a ensayar todos los bloques en la máquina universal, este ensayo se hizo con todos los bloques refrentados en azufre para tener una mejor distribución de la carga sobre el área de contacto de igual manera como se falla una probeta de concreto Figura 7.1



Figura 7-1 Bloques refrentados en azufre
Tomado por los autores

Las dimensiones de los bloques comprimidos son de 29*14*12 cm, en el ensayo se utilizo el área de 29*14 para hallar los esfuerzos a compresión, se escogió esta forma de fallar los bloques debido a que en las obras de tierra con este tipo de elementos los bloques los posicionan de esta manera en la construcción de los muros.

A medida que se iba aplicando las cargas al bloque se hacia una lectura con el deformímetro el cual tenía una escala de centésimas de milímetro, la deformación graficada es unitaria es decir que es la relación entre un cambio

de longitud respecto a la longitud inicial del elemento que en este caso es de 12 cm. El deformímetro usado se puede ver en la figura 7.2, mostrada a continuación

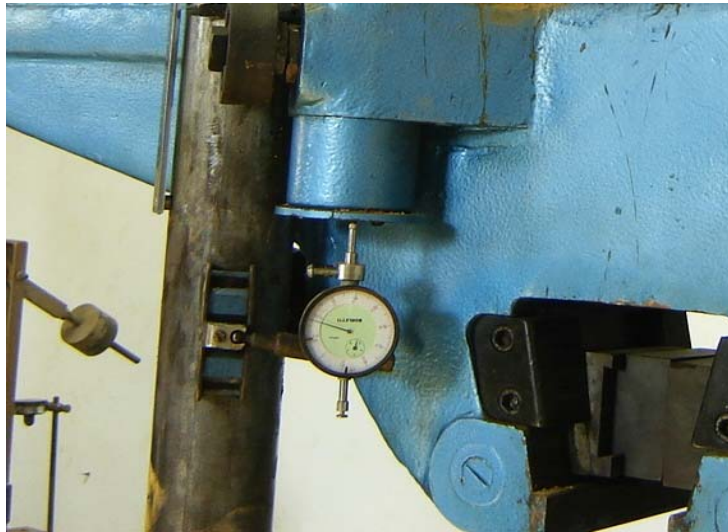


Figura 7-2 Deformímetro

Tomado por los autores

Las lecturas de la máquina utilizada son respecto a la carga aplicada al elemento, estas están en unidades de kilogramo fuerza por lo que el esfuerzo a compresión graficado se da en kilogramos sobre centímetro cuadrado. Figura 7.3.



Figura 7-3 Lector de carga

Tomado por los autores

A continuación se presentan dos cuadros con las resistencias y densidades obtenidas para los bloques con suelo de Barichara y Piedecuesta en los bloques.

PESO MUESTRA	ESPECIMEN	PESO [Kg]	VOLUMEN [cm ³]	DENSIDAD [Kg/cm ³]	DENSIDAD [Kg/cm ³]	ESFUERZO DE FALLA [Kg/cm ²]	ESFUERZO DE FALLA [Kg/cm ²]
B-1	A	9198	4872	1.89	1.90	11.58	11.58
	B	9336	4872	1.92		11.33	
	C	9264	4872	1.90		11.82	
B-2	A	8722	4872	1.79	1.81	10.59	10.22
	B	9236	4872	1.90		9.98	
	C	8522	4872	1.75		10.10	
B-3	A	8946	4872	1.84	1.83	10.59	10.59
	B	8878	4872	1.82		10.34	
	C	8996	4872	1.85		10.84	
B-4	A	9658	4872	1.98	1.95	11.08	11.08
	B	9418	4872	1.93		11.33	
	C	9374	4872	1.92		10.84	
B-5	A	9482	4872	1.95	1.93	11.58	11.08
	B	9102	4872	1.87		10.96	
	C	9559	4872	1.96		10.71	
B-6	A	9152	4872	1.88	1.82	10.71	10.34
	B	8986	4872	1.84		10.10	
	C	8438	4872	1.73		10.22	
B-7	A	9614	4872	1.97	1.83	10.34	10.71
	B	8160	4872	1.67		10.96	
	C	8964	4872	1.84		10.84	
B-8	A	8718	4872	1.79	1.87	10.71	10.59
	B	9264	4872	1.90		10.47	
	C	9324	4872	1.91		10.59	
B-9	A	9340	4872	1.92	1.95	10.96	11.08
	B	9784	4872	2.01		11.33	
	C	9338	4872	1.92		10.96	
B-10	A	9502	4872	1.95	1.82	11.08	10.84
	B	8492	4872	1.74		10.59	
	C	8671	4872	1.78		10.84	
B-11	A	8266	4872	1.70	1.84	11.21	11.08
	B	9286	4872	1.91		11.08	
	C	9284	4872	1.91		10.96	
B-12	A	9724	4872	2.00	1.96	11.08	10.96
	B	9192	4872	1.89		10.71	
	C	9662	4872	1.98		11.08	
B-13	A	9499	4872	1.95	1.94	11.21	10.96
	B	9193	4872	1.89		10.10	
	C	9618	4872	1.97		11.58	
B-14	A	8638	4872	1.77	1.83	10.96	10.84
	B	8956	4872	1.84		10.96	
	C	9212	4872	1.89		10.59	
B-15	A	9268	4872	1.90	1.81	11.95	11.58
	B	8362	4872	1.72		11.45	
	C	8767	4872	1.80		11.33	
B-16	A	9800	4872	2.01	1.88	10.47	10.84
	B	8000	4872	1.64		11.45	
	C	9689	4872	1.99		10.59	

Tabla 7-1 Esfuerzos de falla y densidades suelo Barichara
Tomado por los autores

PESO MUESTRA	ESPECIMEN	PESO [Kg]	VOLUMEN [cm ³]	DENSIDAD [Kg/cm ³]	DENSIDAD [Kg/cm ³]	ESFUERZO DE FALLA [Kg/cm ²]	ESFUERZO DE FALLA [Kg/cm ²]
P-1	A	9125	4872	1.87	1.90	11.08	11.08
	B	9295	4872	1.91		10.84	
	C	9356	4872	1.92		11.33	
P-2	A	9146	4872	1.88	1.81	9.61	9.85
	B	8560	4872	1.76		9.85	
	C	8725	4872	1.79		10.10	
P-3	A	9078	4872	1.86	1.84	10.59	10.34
	B	9156	4872	1.88		10.10	
	C	8698	4872	1.79		10.34	
P-4	A	9279	4872	1.90	1.97	11.08	10.59
	B	9986	4872	2.05		10.59	
	C	9489	4872	1.95		10.10	
P-5	A	9489	4872	1.95	1.93	11.33	10.92
	B	9369	4872	1.92		10.84	
	C	9298	4872	1.91		10.59	
P-6	A	8296	4872	1.70	1.81	9.61	10.18
	B	8724	4872	1.79		10.34	
	C	9502	4872	1.95		10.59	
P-7	A	8992	4872	1.85	1.84	10.84	10.59
	B	9166	4872	1.88		10.84	
	C	8723	4872	1.79		10.10	
P-8	A	8596	4872	1.76	1.80	10.84	10.34
	B	8789	4872	1.80		10.10	
	C	8856	4872	1.82		10.10	
P-9	A	9523	4872	1.95	1.96	10.84	11.08
	B	9478	4872	1.95		11.08	
	C	9656	4872	1.98		11.33	
P-10	A	8668	4872	1.78	1.83	9.85	10.47
	B	9362	4872	1.92		10.59	
	C	8785	4872	1.80		10.96	
P-11	A	8936	4872	1.83	1.84	10.84	11.08
	B	9135	4872	1.88		11.08	
	C	8858	4872	1.82		11.33	
P-12	A	9452	4872	1.94	1.94	9.85	10.22
	B	9578	4872	1.97		10.96	
	C	9330	4872	1.92		9.85	
P-13	A	8569	4872	1.76	1.80	11.08	10.71
	B	8789	4872	1.80		10.47	
	C	8896	4872	1.83		10.59	
P-14	A	8887	4872	1.82	1.82	9.85	10.34
	B	8789	4872	1.80		10.47	
	C	8959	4872	1.84		10.71	
P-15	A	8750	4872	1.80	1.81	11.33	11.08
	B	8897	4872	1.83		11.08	
	C	8747	4872	1.80		10.84	
P-16	A	9093	4872	1.87	1.82	10.34	10.59
	B	8596	4872	1.76		10.84	
	C	8884	4872	1.82		10.59	

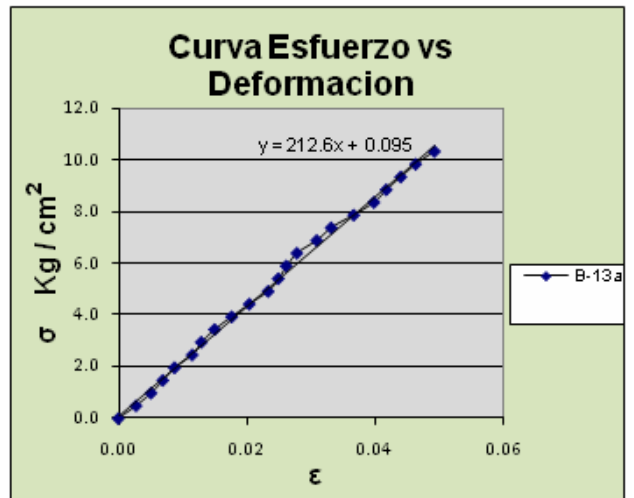
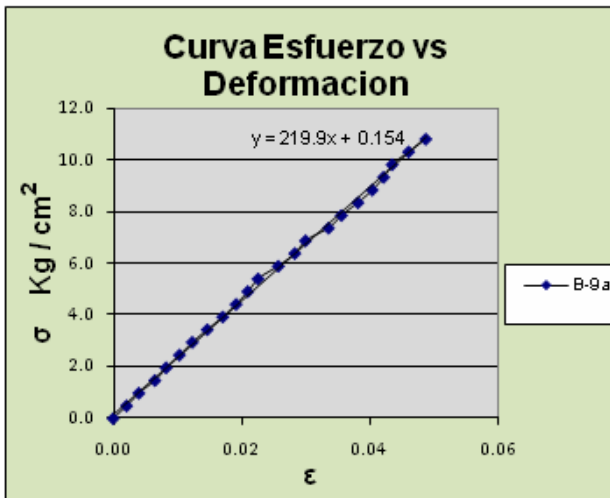
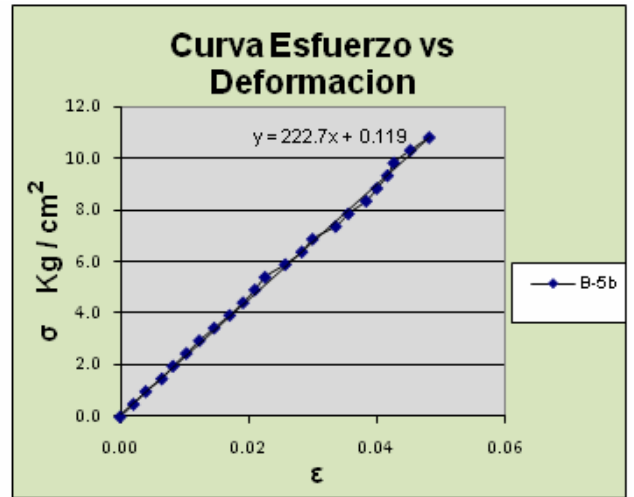
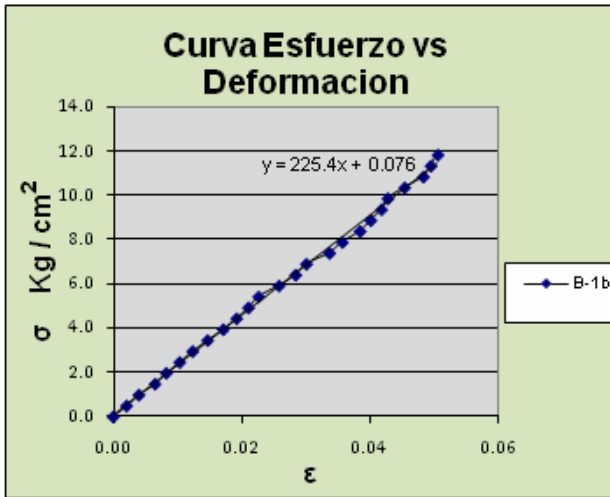
Tabla 7-2 Esfuerzos de falla y densidades suelo de Piedecuesta

Tomado por los autores

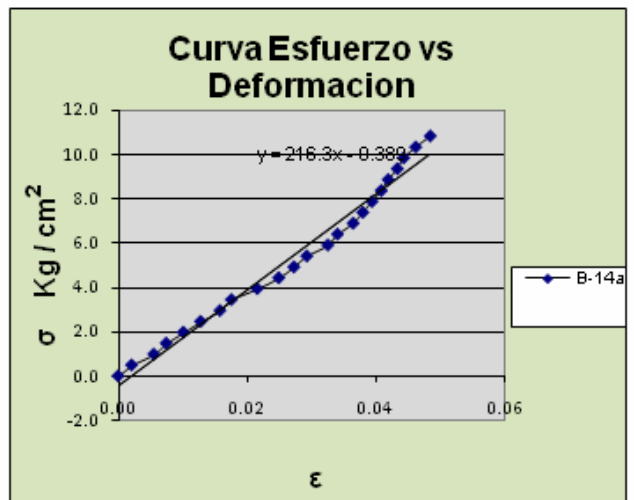
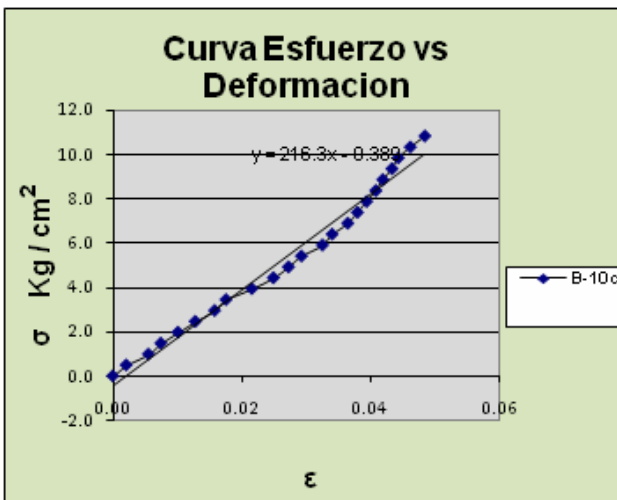
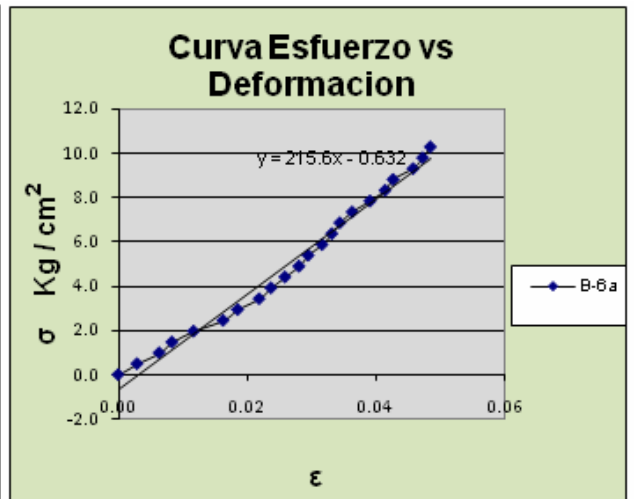
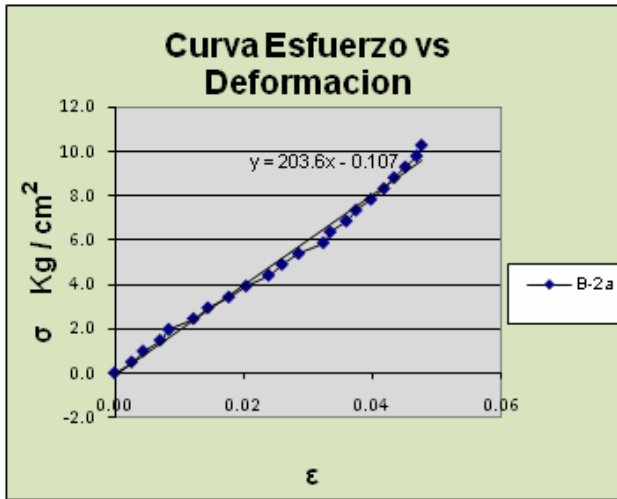
7.2 CURVAS ESFUERZO DEFORMACIÓN Y MODULOS DE ELSTICIDAD.

De cada tipo de granulometría se elaboraron tres muestras, las cuales se ensayaron a compresión simple tomando datos de carga y deformación, luego se tomó un promedio de las tres cargas de falla y para la muestra que más se acercaba a este promedio se realizó la gráfica de esfuerzo – deformación.

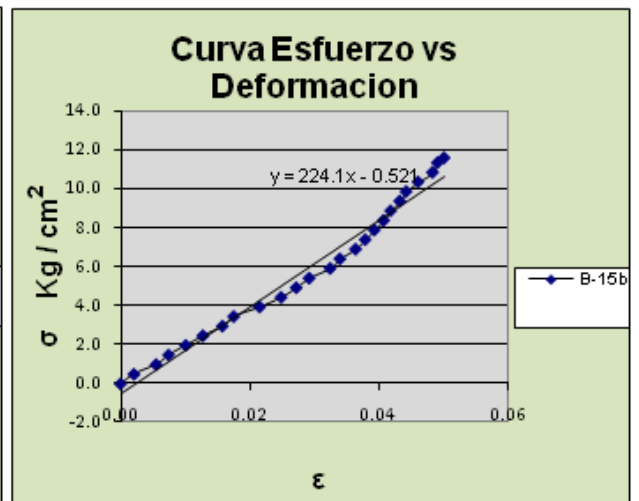
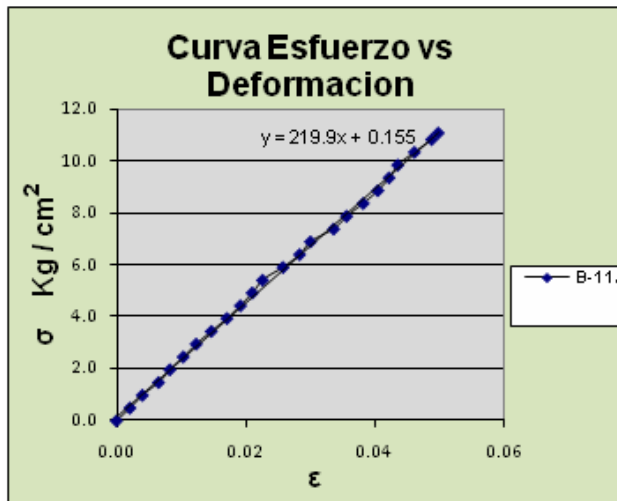
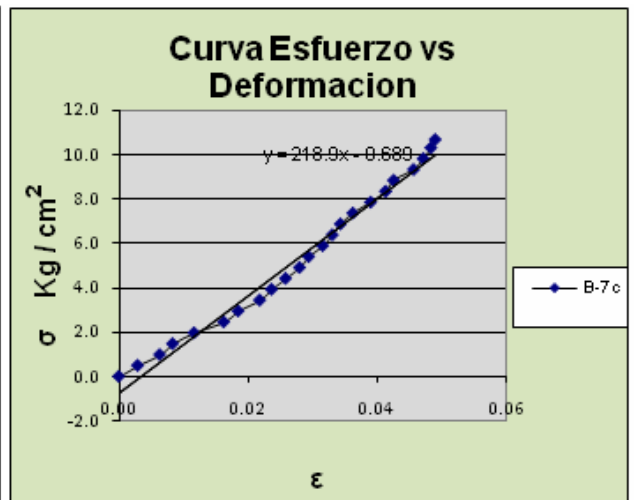
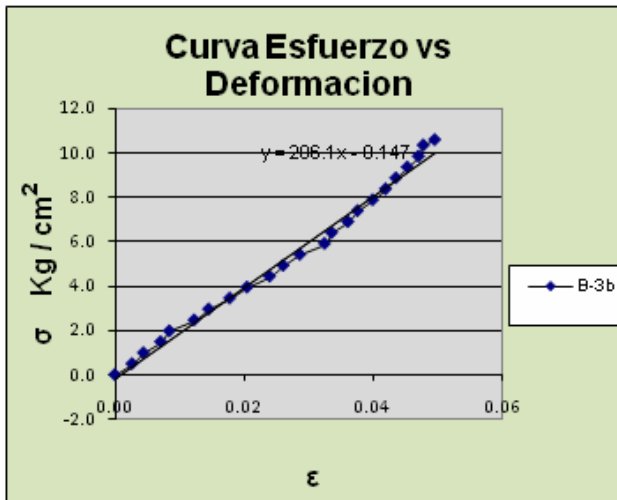
A partir de estas curvas se puede observar modulo de elasticidad, las curvas que se obtuvieron con los suelos de Barichara y Piedecuesta fueron las siguientes.



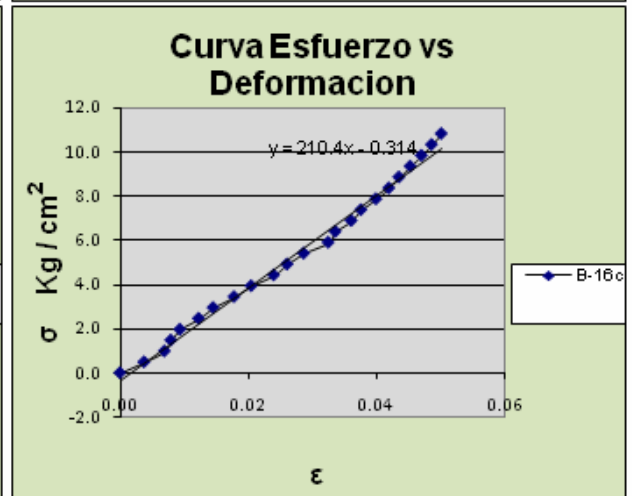
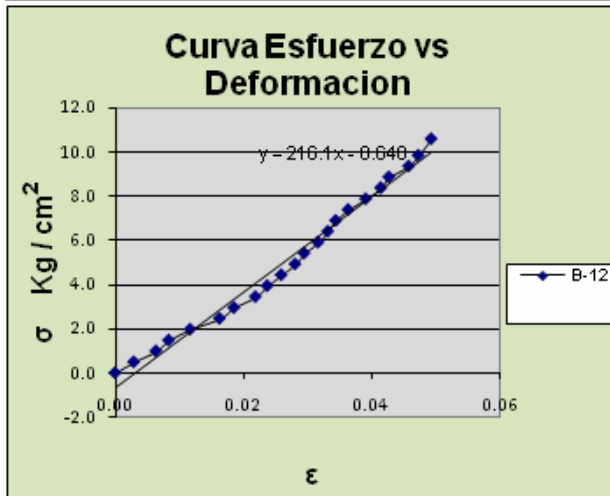
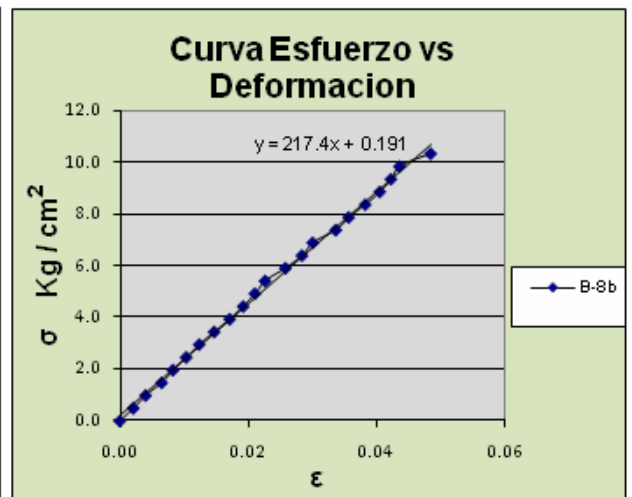
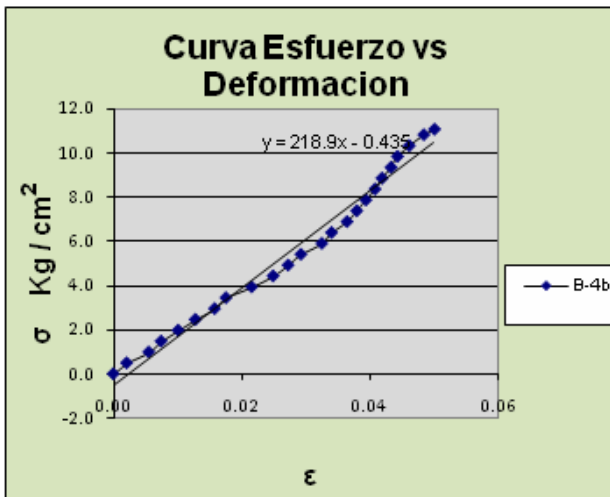
Gráfica 7-1 Curvas esfuerzo deformación suelo natural Barichara



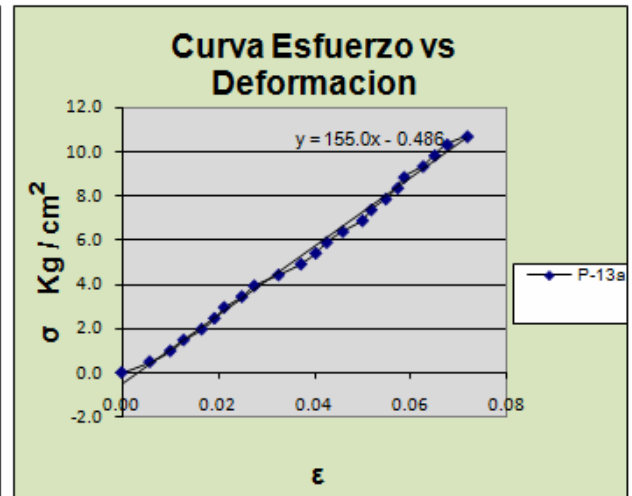
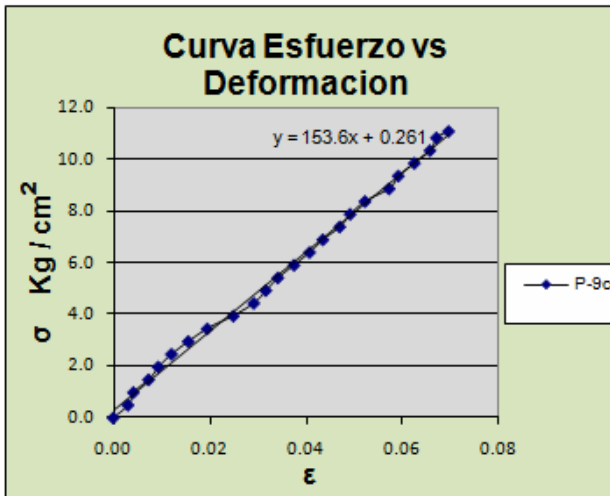
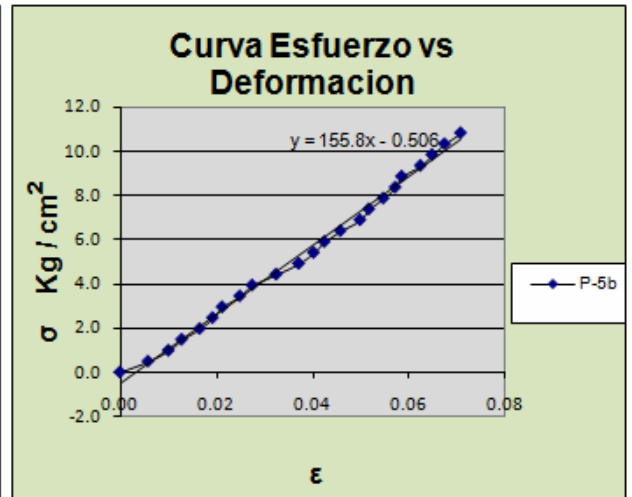
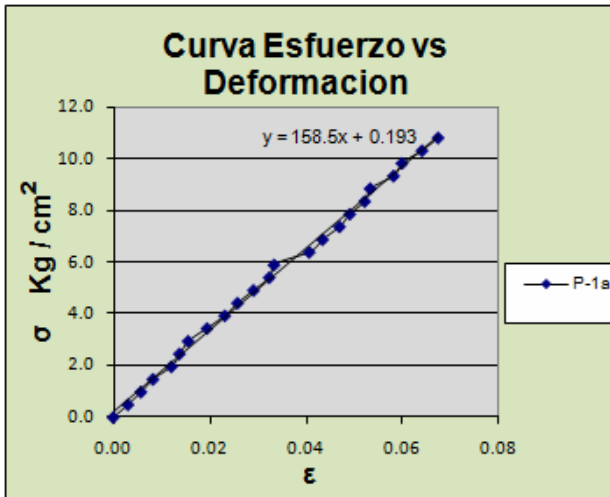
Gráfica 7-2 Curvas esfuerzo deformación suelo 25% arcillas y 75% arenas Barichara



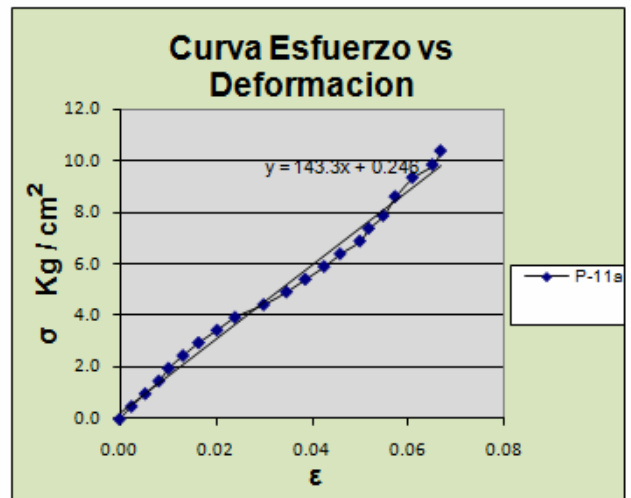
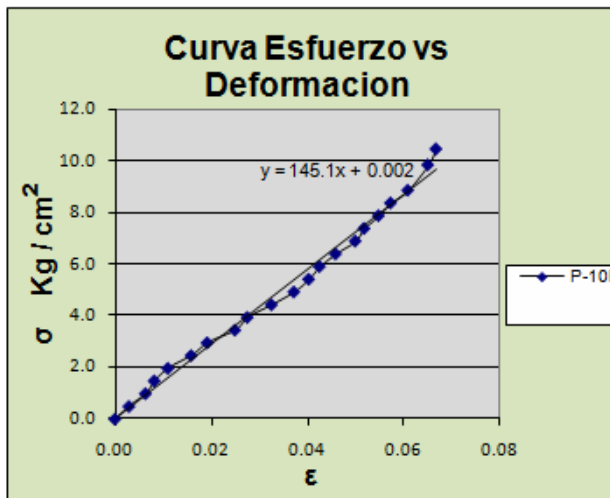
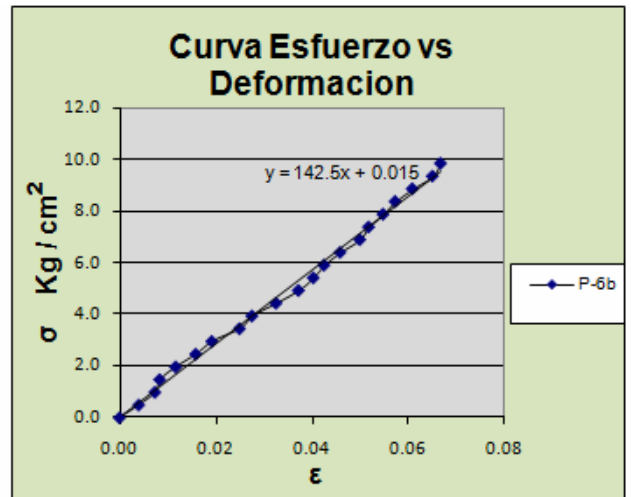
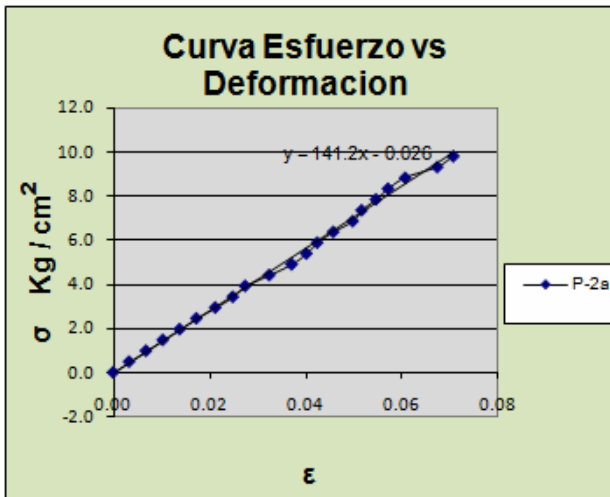
Gráfica 7-3 Curvas esfuerzo deformación suelo 50% arcillas y 50% arenas Barichara



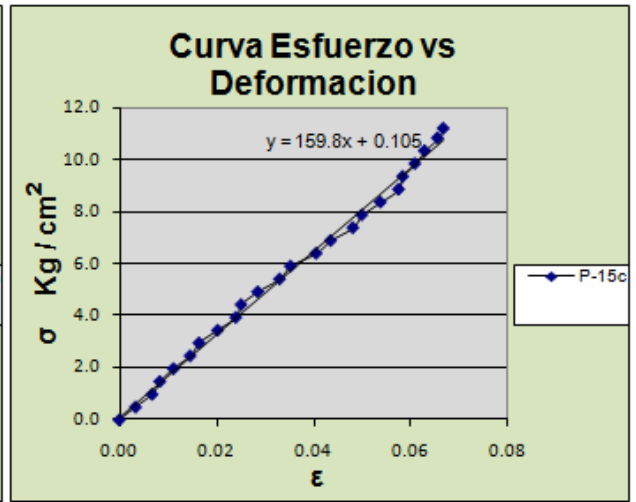
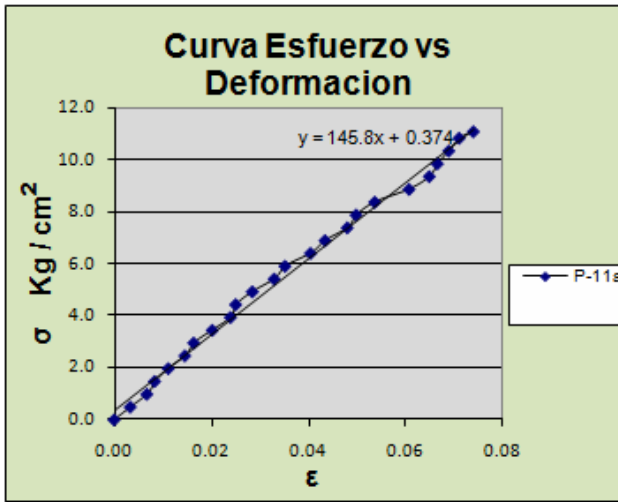
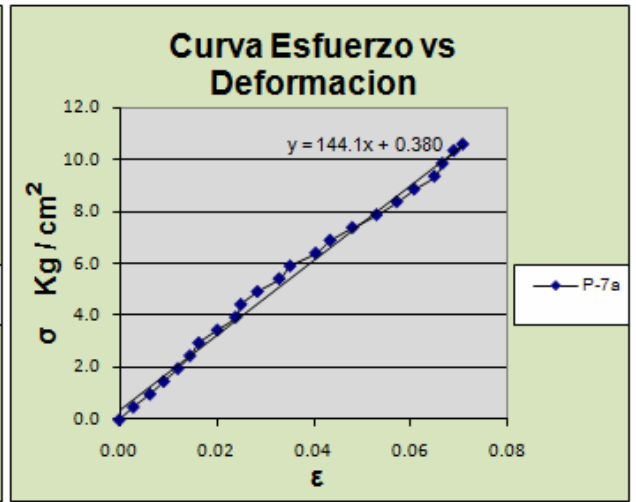
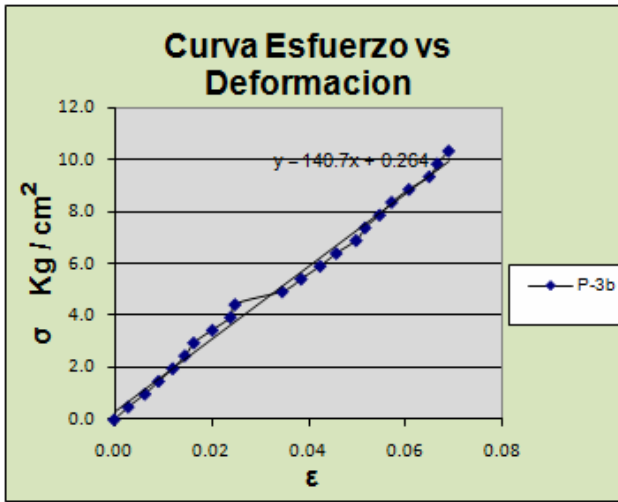
Gráfica 7-4 Curvas esfuerzo deformación suelo 70% arcillas y 30% arenas Barichara



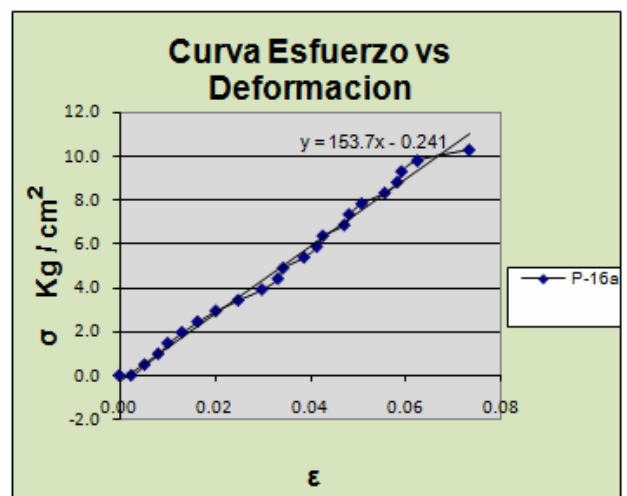
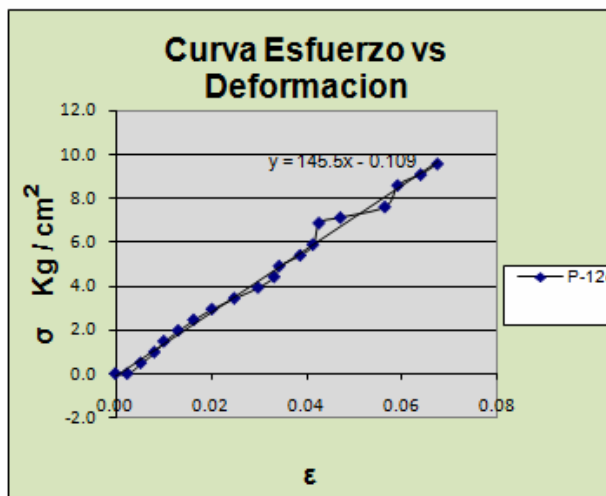
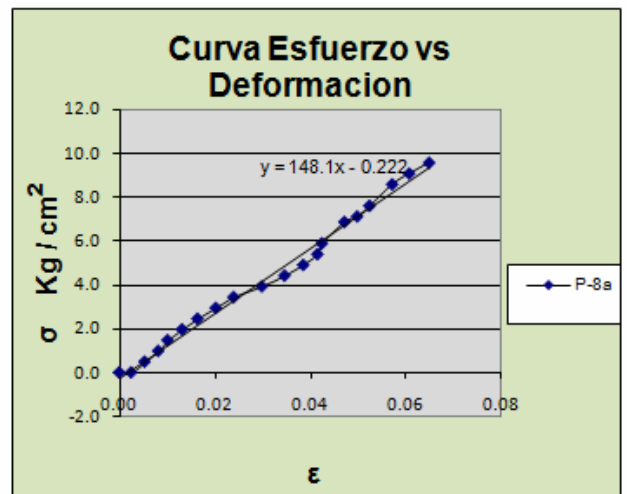
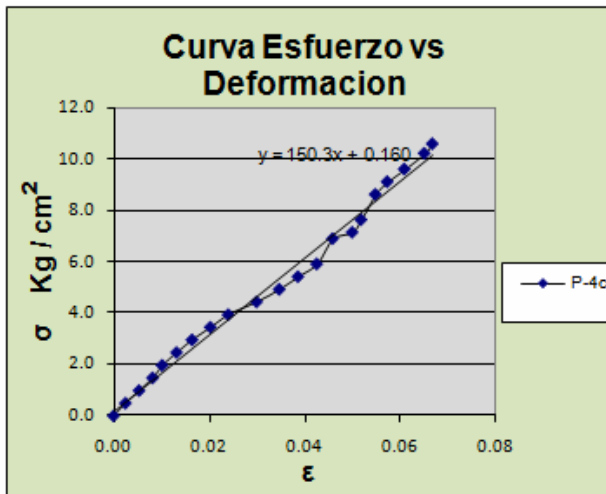
Gráfica 7-5 Curvas esfuerzo deformación suelo natural Piedecuesta



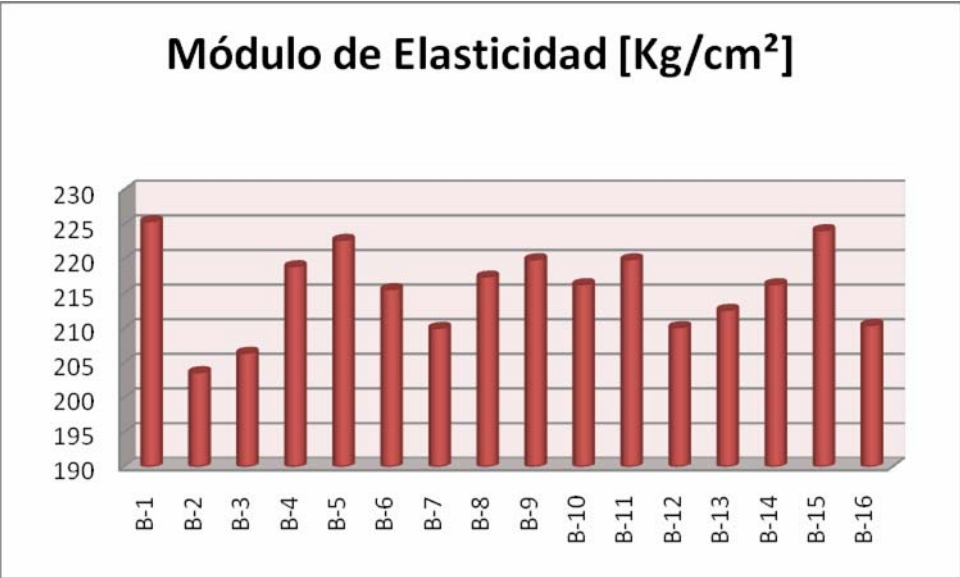
Gráfica 7-6 Curvas esfuerzo deformación suelo 25% arcillas y 75% arenas Piedrecuesta



Gráfica 7-7 Curvas esfuerzo deformación suelo 50% arcillas y 50% arenas Piedecuesta



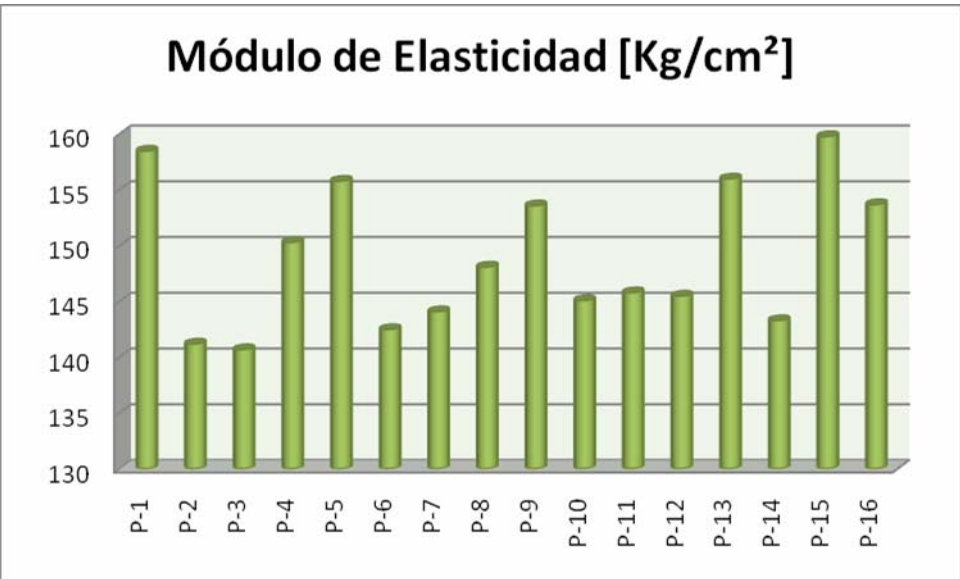
Gráfica 7-8 Curvas esfuerzo deformación suelo 70% arcillas y 30% arenas Piedecuesta



Grafica 7-9 Módulos de elasticidad suelo Barichara

Módulo de Elasticidad promedio [Kg/cm²]	215.6
desviación estandar	6.3

Tabla 7-3 Módulo de elasticidad promedio suelo Barichara



Grafica 7-10 Módulos de elasticidad suelo Piedecuesta

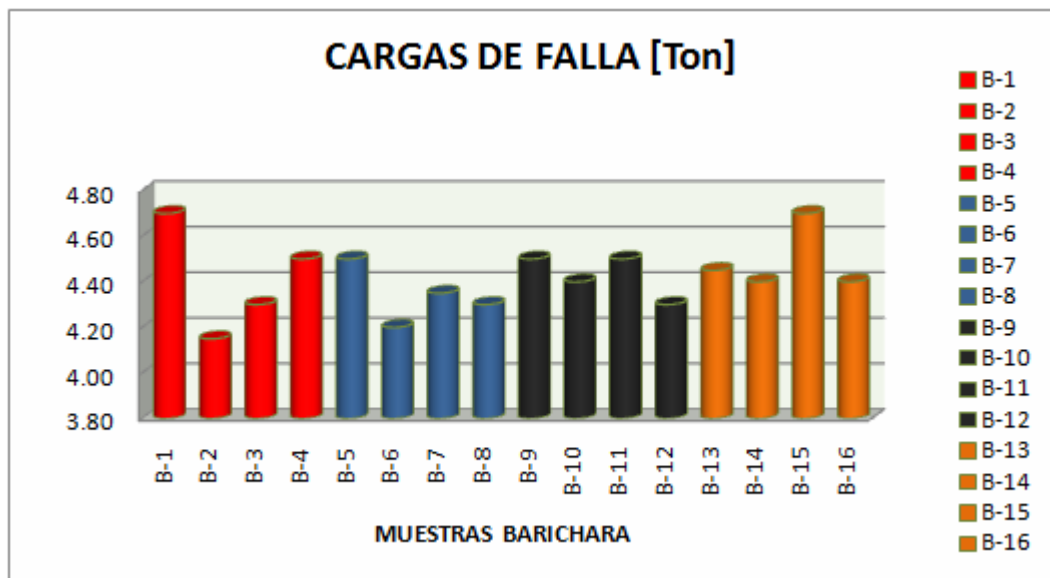
Módulo de Elasticidad promedio [Kg/cm²]	149.0
desviación estandar	6.4

Tabla 7-4 Módulo de elasticidad promedio suelo Barichara

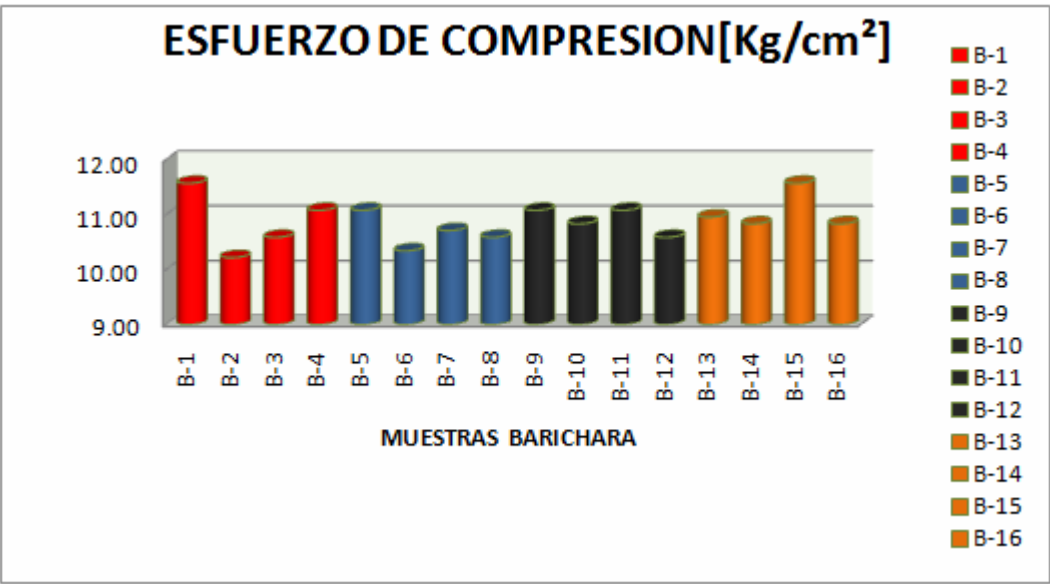
En las gráficas anteriores se puede ver que el comportamiento de las deformaciones respecto al esfuerzo no tienen una variación constante, el material no recupera sus deformaciones cuando esta sometido a compresión.

7.3 CARGAS DE FALLA, ESFUERZOS DE COMPRESIÓN Y DENSIDADES PARA UNA MISMA CANTIDAD DE ESTABILIZANTE.

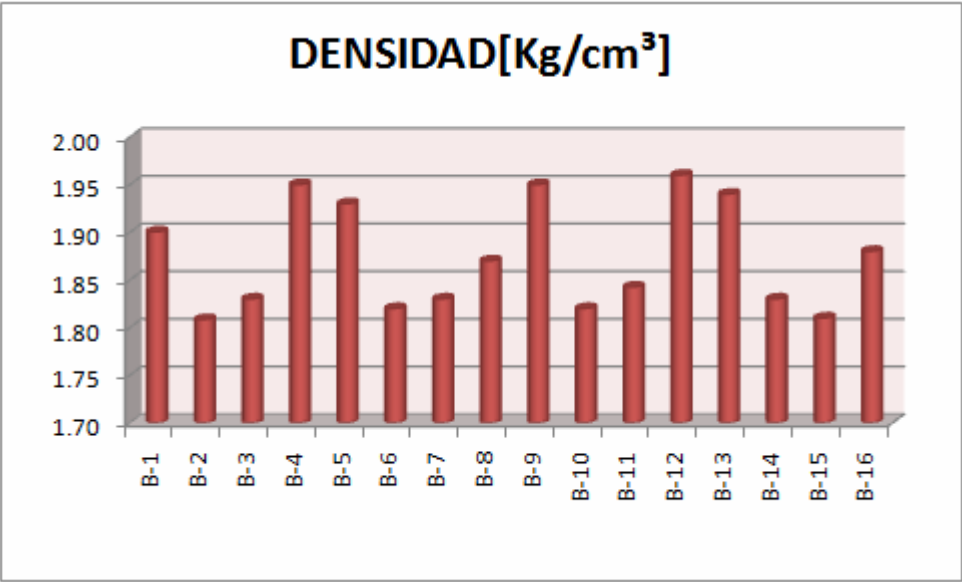
De las curvas se obtuvieron las siguientes gráficas para ambos suelos donde se puede observar el comportamiento de las cargas de falla y las densidades para cuatro tipos de granulometría con la misma cantidad de estabilizante, de izquierda a derecha los porcentajes en peso de cemento aumenta así: 3%, 5% y 7 %



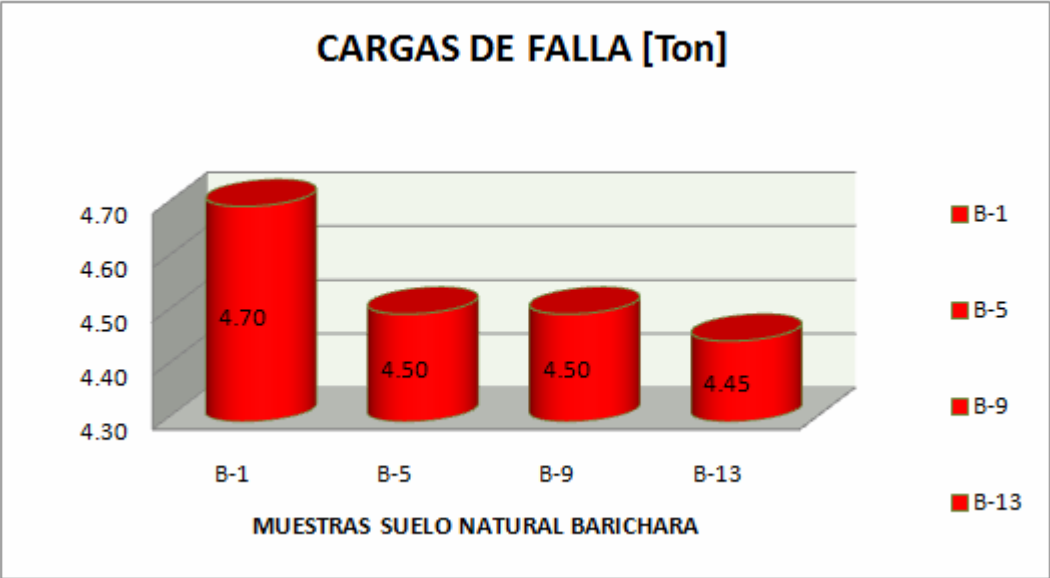
Gráfica 7-11 Cargas de falla suelo Barichara



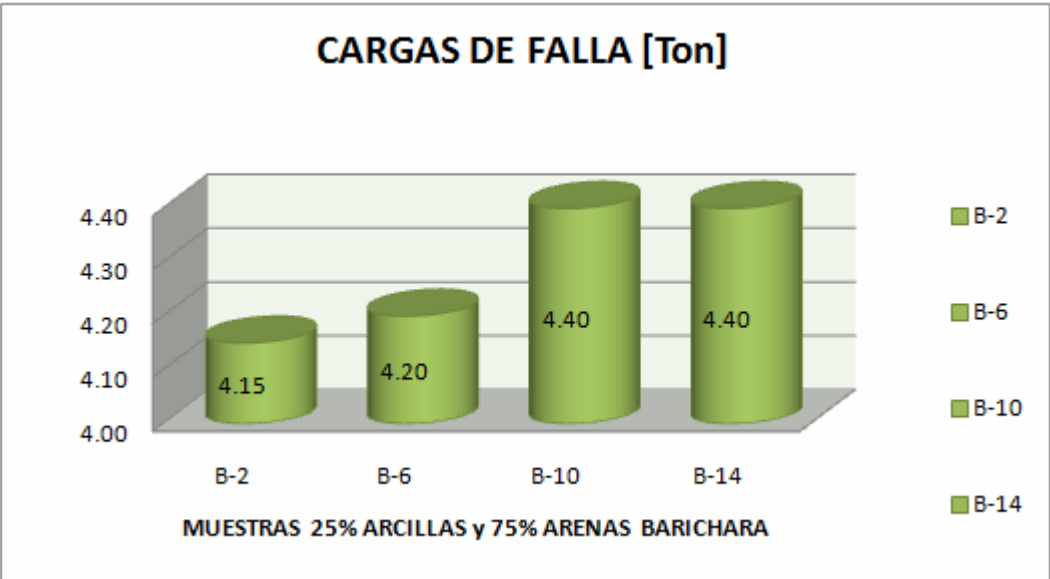
Gráfica 7-12 Esfuerzos de compresión suelo de Barichara



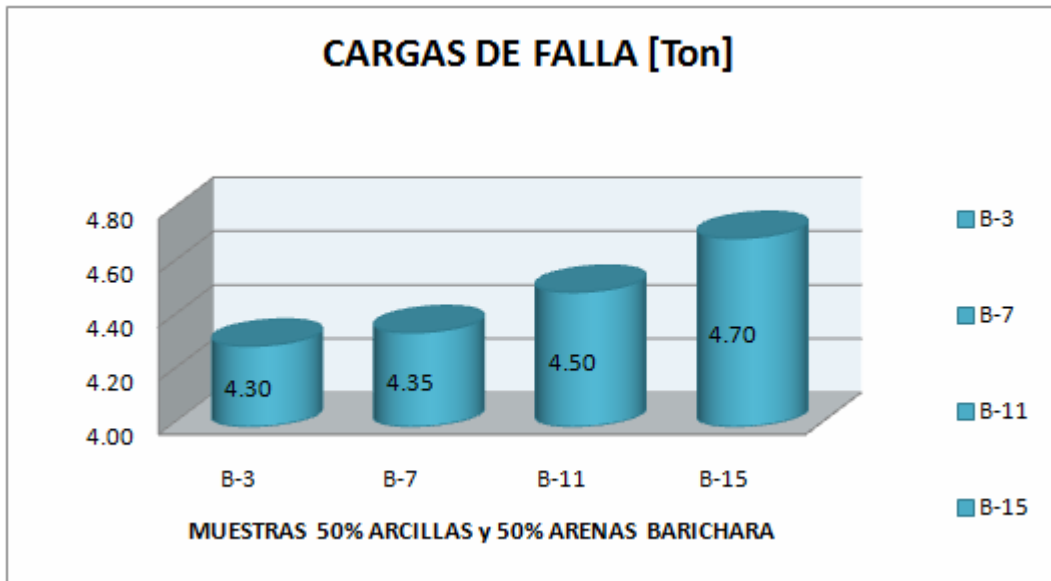
Gráfica 7-13 Densidad suelo Barichara



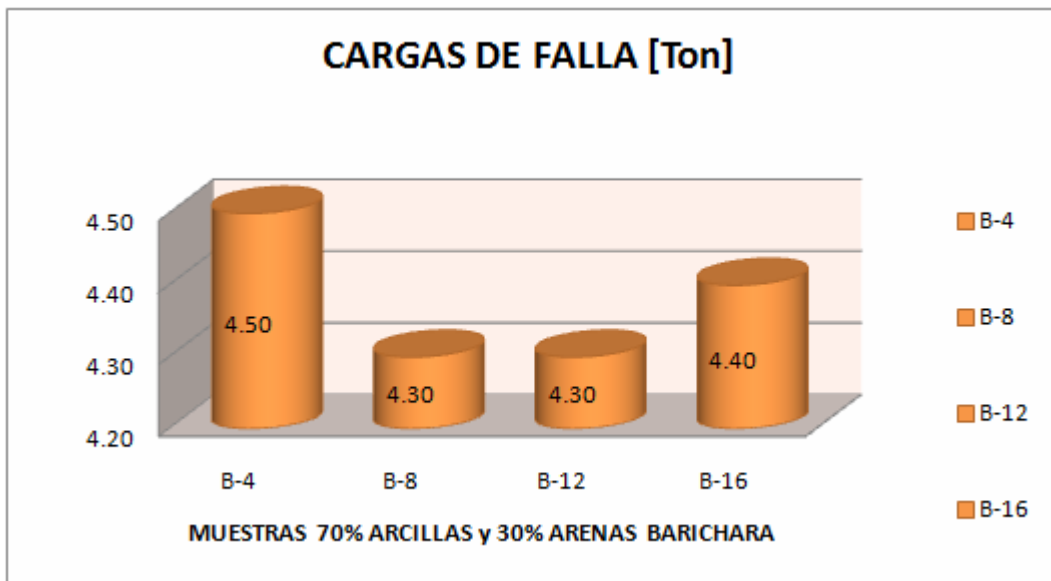
Gráfica 7-14 Cargas de falla suelo natural Barichara



Gráfica 7-15 Cargas de falla suelo 25% arcillas y 75% arenas Barichara



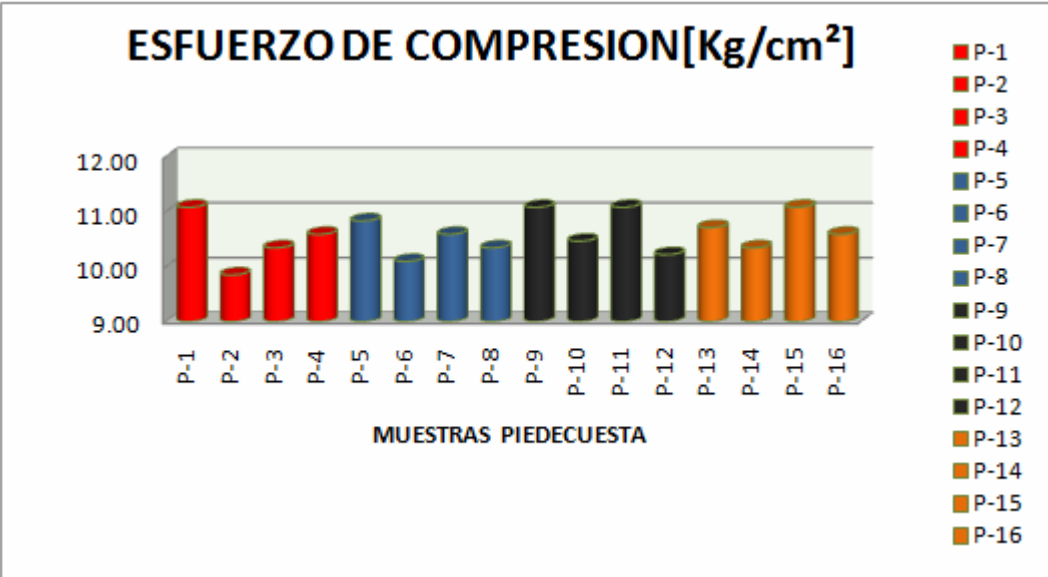
Gráfica 7-16 Cargas de falla suelo 50% arcillas y 50% arenas Barichara



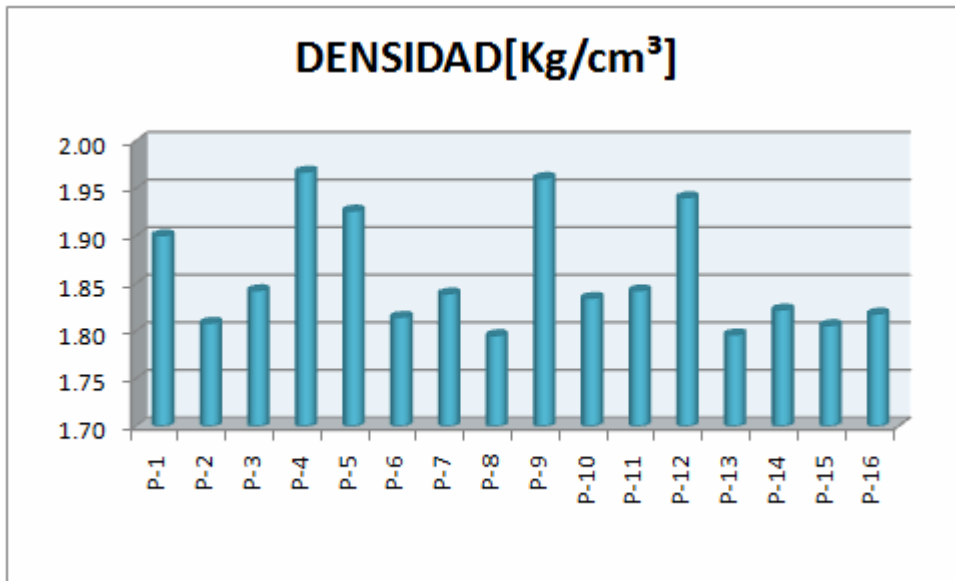
Gráfica 7-9 Cargas de falla suelo 70% arcillas y 30% arenas Barichara



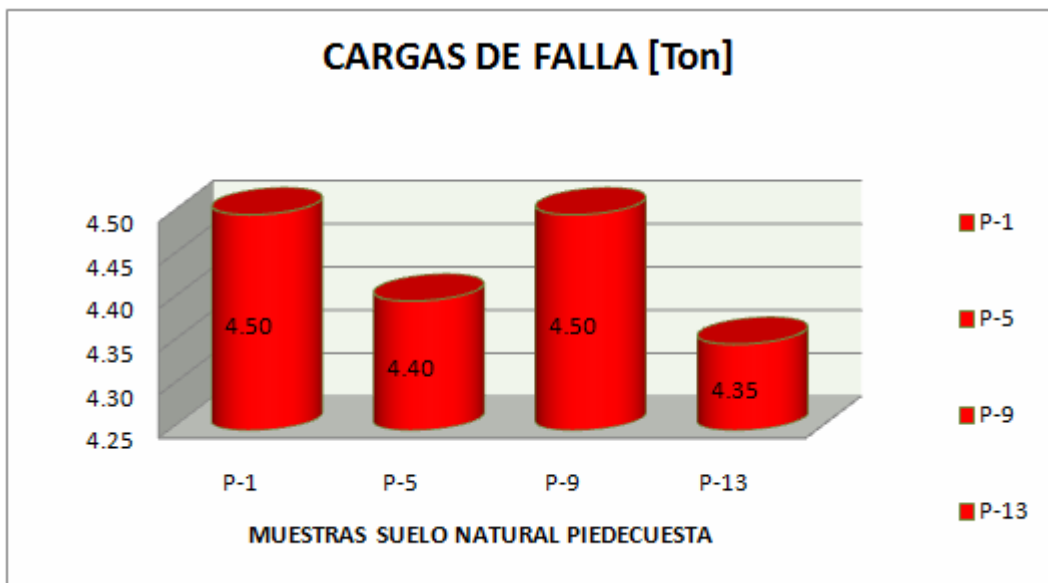
Gráfica 7-10 Cargas de falla suelo Piedecuesta



Gráfica 7-19 Esfuerzos de compresión suelo Piedecuesta

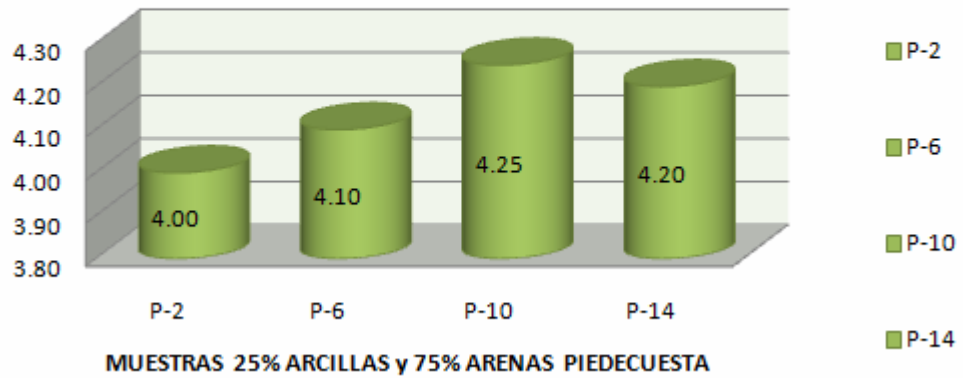


Gráfica 7-20 Densidad suelo Piedecuesta



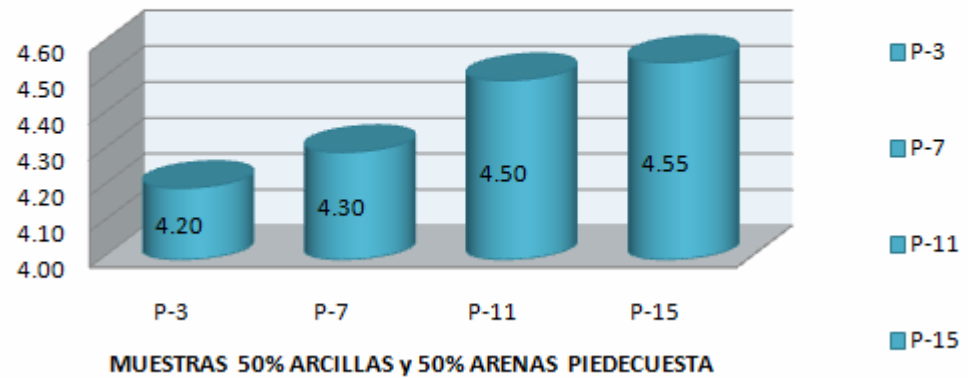
Gráfica 7-21 Cargas de falla suelo natural Piedecuesta

CARGAS DE FALLA [Ton]

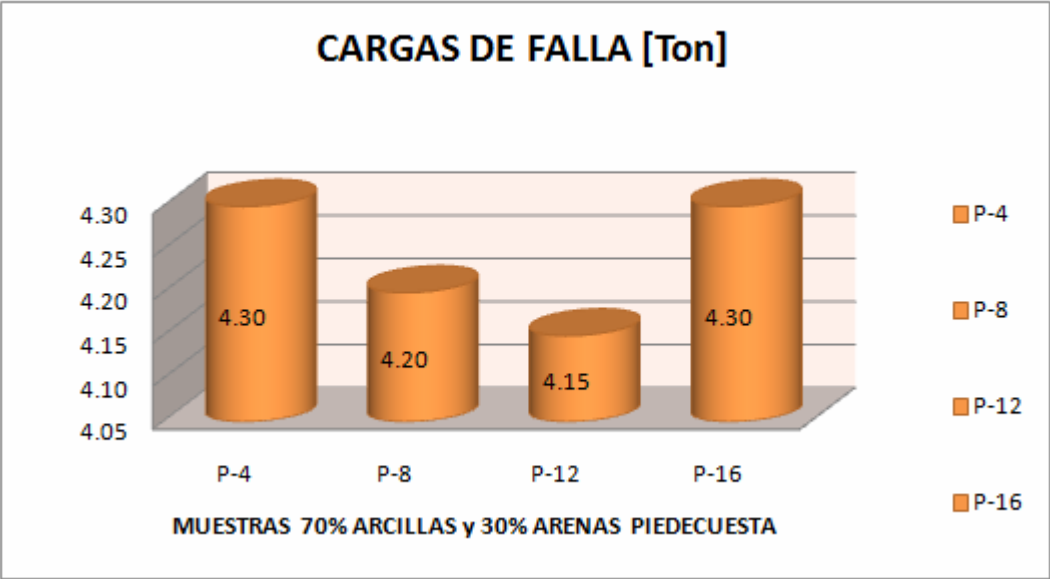


Gráfica 7-22 Cargas de falla suelo 25% arcillas y 75% arenas Piedecuesta

CARGAS DE FALLA [Ton]



Gráfica 7-23 Cargas de falla suelo 50% arcillas y 50% arenas Piedecuesta



Gráfica 7-24 Cargas de falla suelo 70% arcillas y 30% arena Piedecuesta

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las siguientes conclusiones son el producto de los experimentos realizados en el laboratorio de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER tomando como base los estudios hechos por el centro de investigación CRATERRE respecto de las combinaciones óptimas del tamaño de partículas para la elaboración de los bloques de tierra comprimidos, así como las experiencias recogidas en la región por los constructores en tierra.

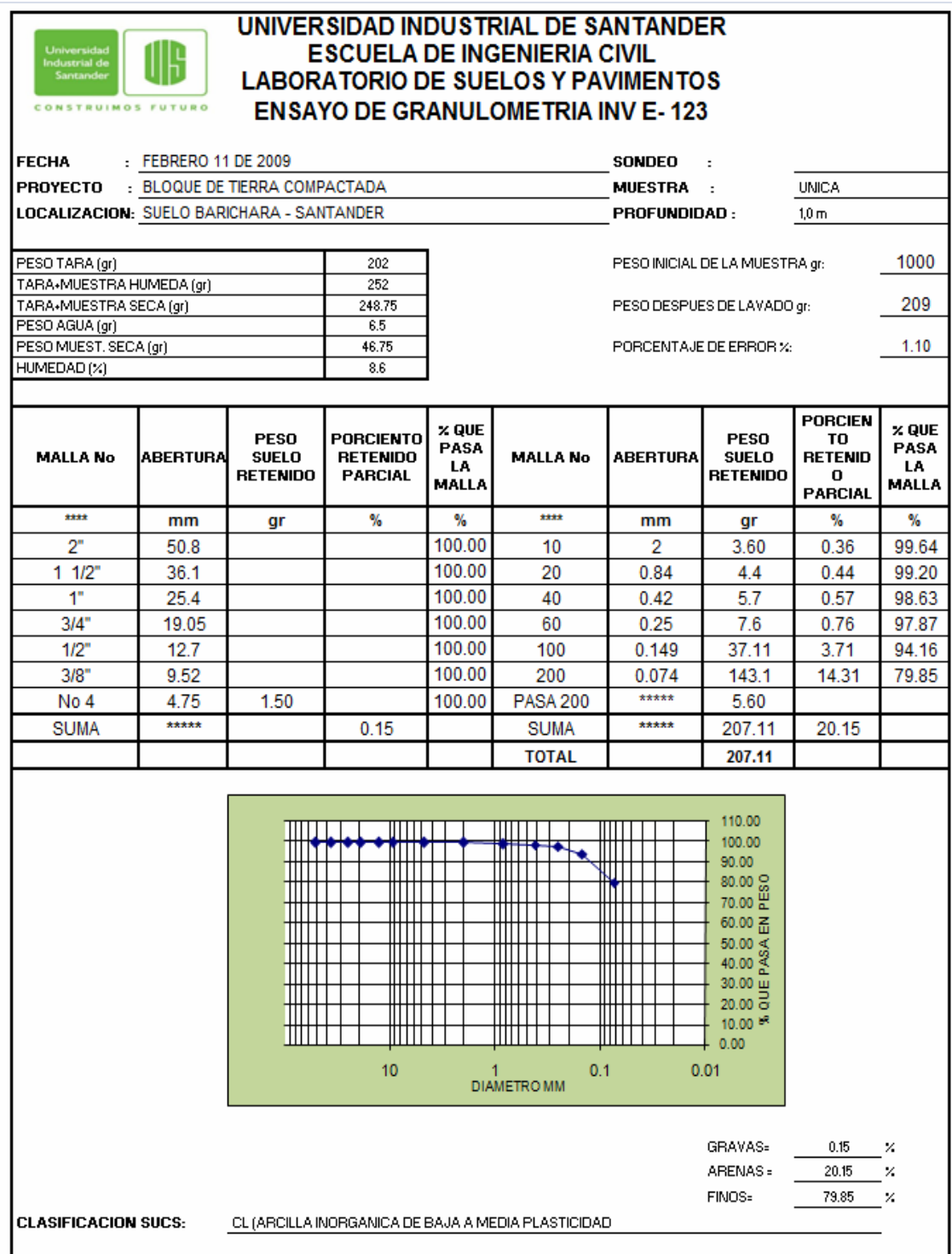
- ❖ En los bloques con suelo natural (sin estabilizante) se presentaron altas resistencias, es decir que a mayor cantidad de finos en el bloque los materiales tienen un mejor comportamiento a la compresión.
- ❖ En los bloques donde el contenido de finos es alto, se observó que al agregarles cemento Pórtland no mejoran sustancialmente su comportamiento a la compresión.
- ❖ La cantidad óptima de la parte gruesa en la variación de la granulometría de los bloques a una misma cantidad de estabilizante se encuentra entre el 50 y 75 %.
- ❖ El suelo de Barichara muestra mejores resultados en todas las combinaciones granulométricas, a pesar de tener una granulometría por fuera de las curvas recomendadas por CRATERRE.
- ❖ En general en los bloques con densidades altas se presentaron mayores resistencias en el ensayo de compresión.
- ❖ En los bloques con un porcentaje de tamaño grueso alto y mayor de estabilizante se obtuvieron buenas resistencias similares a las de los bloques con alto contenido de finos.
- ❖ Cuando se está trabajando con cemento Pórtland como estabilizante, es bueno trabajar con humedades a la derecha del Proctor para permitir la hidratación de este.
- ❖ No se pudo determinar la influencia de la plasticidad en el comportamiento a la compresión debido a que las dos muestras de suelo arrojaron índices de plasticidad similares.

- ❖ En el proceso de fabricación la prensa tiende a concentrar la presión en el centro del molde, por ello es necesario hacer un apisonamiento previo en las esquinas para obtener buenos acabados.
- ❖ Para la construcción de bloques con suelo de Barichara se recomienda trabajar con un suelo natural.
- ❖ Para la construcción de bloques con suelo de Piedecuesta se recomienda adicionar un 7 % de porcentaje en peso de cemento

BIBLIOGRAFIA

- ❖ CRATERRE, Construir con Tierra Tomo I y II. Traducido del libro original Construire en Terre, Paris, 1979
- ❖ PEREZ JARRO PABLO GEOVANNY y PACHON OLARTE CESAR AUGUSTO, Determinación de los Módulos Elástico, Plástico y de Rotura en material para tapia pisada, Universidad Industrial de Santander, proyecto de grado, 2003.
- ❖ RIVERO SANTIAGO y PRADA DIAZ AMAURY, comportamiento estructural de muros de tierra, Reforzados verticalmente con caña, sometidos a carga horizontales, Universidad Industrial de Santander, proyecto de grado, 1999.
- ❖ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA, Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe y Tapia Pisada.
- ❖ HAYS ALAIN y MATUK SILVIA, Técnicas Mixtas de Construcción con Tierra, Edición fundadores do Geodomus International.
- ❖ CRATERRE, Blocs de Terre Comprimée – Equipements de Production.
- ❖ CRATERRE, Blocs de Terre Comprimée – Normes.
- ❖ JUARES BADILLO, Mecánica de Suelos Tomo 1, México, 1985.
- ❖ NORMA PERUANA DE EDIFICACIONES EN ADOBE, Norma E-80, Perú, 1995.
- ❖ DEL TORO R. WILFREDO y CASTAÑEDA P. EDUARDO A. Guía de conocimientos básicos de suelos. Bucaramanga. Ediciones Uis. 1993
- ❖ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Normas de laboratorio para suelos

ANEXOS



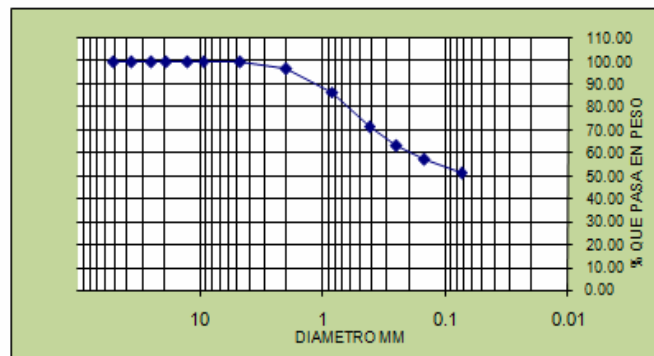
Anexo 1 Ensayo granulometría suelo Barichara

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123

FECHA : FEBRERO 11 DE 2009 **SONDEO** :
PROYECTO : BLOQUE DE TIERRA COMPACTADA **MUESTRA** : UNICA
LOCALIZACION: SUELO PIEDECUESTA - SANTANDER **PROFUNDIDAD** : 1,0 m

PESO TARA (gr)	124	PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr:	1000
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	174	PESO DESPUES DE LAVADO gr:	509
TARA+MUESTRA SECA (gr)	171.5	PORCENTAJE DE ERROR %:	0.76
PESO AGUA (gr)	2.5		
PESO MUEST. SECA (gr)	47.5		
HUMEDAD (%)	5.3		

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO O PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50.8			100.00	10	2	31.00	3.10	96.90
1 1/2"	36.1			100.00	20	0.84	101.1	10.11	86.79
1"	25.4			100.00	40	0.42	155.1	15.51	71.28
3/4"	19.05			100.00	60	0.25	84.2	8.42	62.86
1/2"	12.7			100.00	100	0.149	58.7	5.87	56.99
3/8"	9.52	1.90		100.00	200	0.074	59	5.90	51.09
No 4	4.75	4.70		100.00	PASA 200	*****	16.00		
SUMA	*****		0.77		SUMA	*****	505.10	48.91	
					TOTAL		505.10		



GRAVAS= 0.77 %
 ARENAS = 48.91 %
 FINOS= 51.09 %

CLASIFICACION SUCS: CL (ARCILLA INORGANICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD)

Anexo 2 Ensayo granulometría suelo Piedecuesta

FECHA : FEBRERO 11 DE 2009
PROYECTO : BLOQUE DE TIERRA COMPACTADA
LOCALIZACION: SUELO BARICHARA - SANTANDER

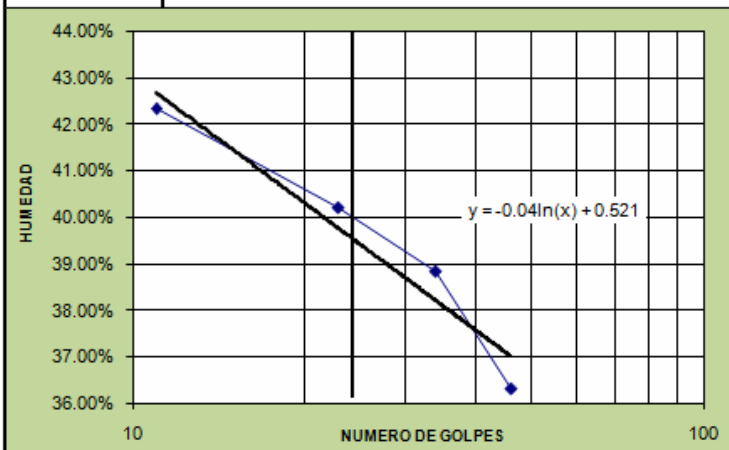
SONDEO : 1
MUESTRA : UNICA
PROFUNDIDAD : 1.0m

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
No		gr	gr	gr	gr	gr	%
	46	7.3	43.7	34.0	9.7	26.7	36.33%
4	34	7.1	43.2	33.1	10.1	26	38.85%
12	23	6.6	43.9	33.2	10.7	26.6	40.23%
8	11	7.2	43.5	32.7	10.8	25.5	42.35%
3							

LIMITE PLASTICO

		6.8	13.8	12.2	1.6	5.4	29.63%
37		6.9	13.6	12.1	1.5	5.2	28.85%
26							



LIMITE LIQUIDO : 39%
LIM. PLASTICO : 19%
IND. DE PLASTI. : 20%
CLASIFICACION SUCS. : CL

Anexo 3 Ensayo limites de Atterberg suelo Barichara

FECHA : FEBRERO 11 DE 2009
PROYECTO : BLOQUE DE TIERRA COMPACTADA
LOCALIZACION: SUELO BARICHARA - SANTANDER

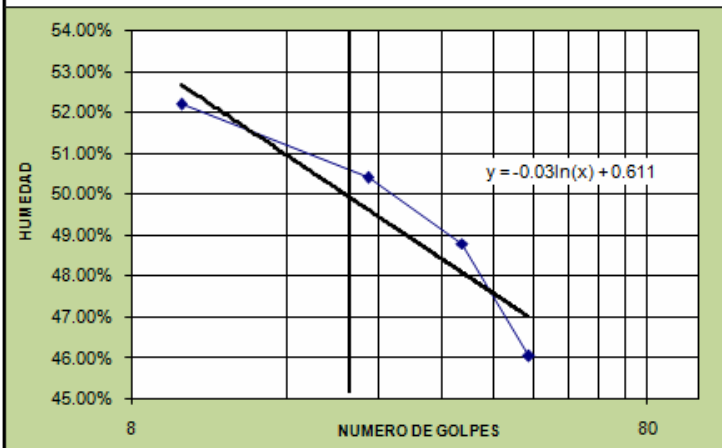
SONDEO : 1
MUESTRA : UNICA
PROFUNDIDAD : 1.0m

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA gr	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO gr	PESO CAPSULA + SUELO SECO gr	PESO DEL AGUA gr	PESO SUELO SECO gr	CONTENIDO DE AGUA %
12	47	7.1	44.2	32.5	11.7	25.4	46.06%
4	35	7.4	44.6	32.4	12.2	25	48.80%
13	23	6.8	44.1	31.6	12.5	24.8	50.40%
26	10	6.9	44.8	31.8	13.0	24.9	52.21%

LIMITE PLASTICO

36		6.8	13.8	12.2	1.6	5.4	29.63%
10		7.3	13.2	11.8	1.4	4.5	31.11%

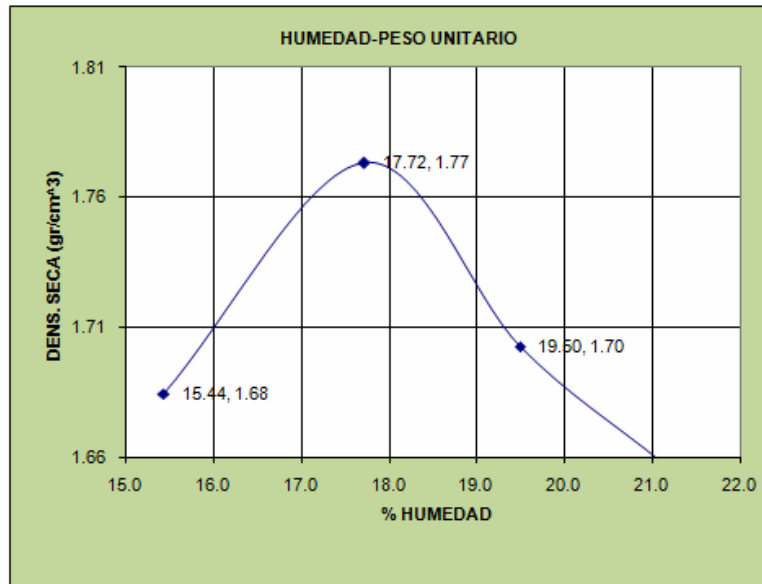


LIMITE LIQUIDO : 49%
LIM. PLASTICO : 20%
IND. DE PLASTI. : 29%
CLASIFICACION SUCS. : CL

Anexo 4 Ensayo limites de Atterberg suelo Piedecuesta

FECHA : FEBRERO 17 DE 2009
 PROYECTO : BLOQUE DE TIERRA COMPACTA
 LOCALIZACION : SUELO BARICHARA - SANTANDER
 MUESTRA : 1
 PROFUNDIDAD : 1.0m

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO							
NUMERO DE CAPAS	5							
NUMERO DE GOLPES POR CARA	25							
MOLDE No	24							
DIAMETRO MOLDE (cm)	10.16							
ALTURA MOLDE (cm)	11.64							
VOLUMEN MOLDE (cm3)	943.69							
PRUEBA #	1		2		3		4	
# GOLPES	25		25		25		25	
MUESTRA HUMEDA (gr)	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600
MOLDE #	24	24	24	24	24	24	24	24
PESO MOLDE (gr)	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300
MOLDE+MUESTRA COMPACTADA	6135	6135	6270	6270	6220	6220	6195	6195
# TARA	26	3	13	37	4	30	70	56
PESO TARA	6.9	7.2	7.4	6.8	7.4	7.4	8.1	7.1
W TARA+W HUMEDO	45.3	45.8	45.2	45.4	45.7	45.1	45.6	45.9
W TARA+W SECO	40.2	40.6	39.5	39.6	39.4	39	39	39.2
% DE HUMEDAD	15.32	15.57	17.76	17.68	19.69	19.30	21.36	20.87
% DE HUMEDAD PROMEDIO	15.44		17.72		19.50		21.12	
DENSIDAD HUMEDA	1.94		2.09		2.03		2.01	
DENSIDAD SECA	1.68		1.77		1.70		1.66	



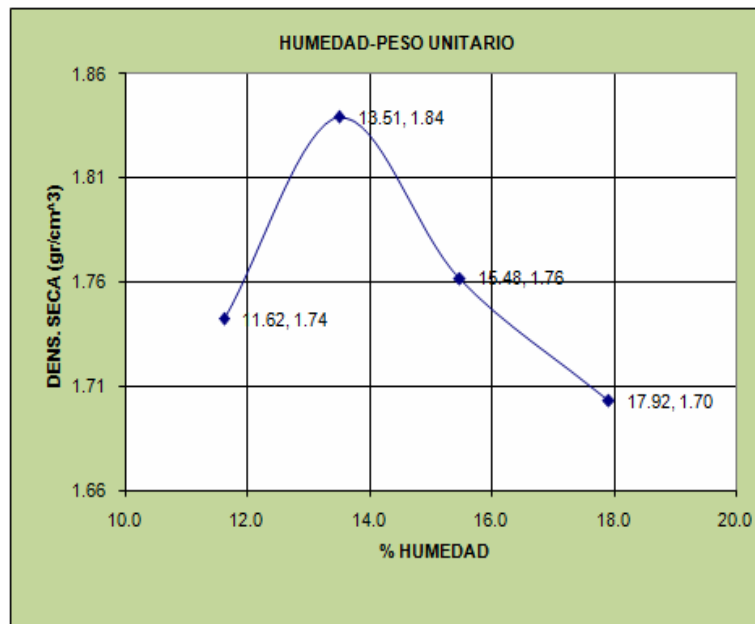
HUMEDAD OPTIMA (%)=	17.72
DENS. SECA MAX. =	1.77

Anexo 5 Ensayo compactación suelo Barichara

FECHA : FEBRERO 17 DE 2009
 PROYECTO : BLOQUE DE TIERRA COMPACTADA
 LOCALIZACION : SUELO PIEDECUESTA - SANTANDER
 MUESTRA : 1
 PROFUNDIDAD : 1.0m

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CARA	25
MOLDE No	24
DIAMETRO MOLDE (cm)	10.16
ALTURA MOLDE (cm)	11.64
VOLUMEN MOLDE (cm3)	943.69

PRUEBA #	1		2		3		4	
# GOLPES	25		25		25		25	
MUESTRA HUMEDA (gr)	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600
MOLDE #	24	24	24	24	24	24	24	24
PESO MOLDE (gr)	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300
MOLDE+MUESTRA COMPACTADA	6135	6135	6270	6270	6220	6220	6195	6195
# TARA	12	4	8	78	3	37	30	56
PESO TARA	7.1	7.3	6.6	7.1	7.2	6.8	7.4	7.1
W TARA+W HUMEDO	47.7	47.4	47.1	47.3	47.5	47.8	47.2	47.6
W TARA+W SECO	43.5	43.2	42.5	42.3	42.1	42.3	41	41.6
% DE HUMEDAD	11.54	11.7	12.81	14.20	15.47	15.49	18.45	17.39
% DE HUMEDAD PROMEDIO	11.62		13.51		15.48		17.92	
DENSIDAD HUMEDA	1.94		2.09		2.03		2.01	
DENSIDAD SECA	1.74		1.84		1.76		1.70	



HUMEDAD OPTIMA (%)=	13.51
DENS. SECA MAX. =	1.84

Anexo 6 Ensayo compactación suelo Piedecuesta