

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRÍQUEZ
UREÑA (UNPHU).

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Civil

*“Análisis De Resistencia a Compresión De Tierra Comprimida Estabilizada Para La
Fabricación de Bloques Estructurales”*



Trabajo de Grado presentado por:

Carol Wendy Reyes Lluberes

José Ramón Peralta Berroa

Para la obtención de grado de

Ingeniero Civil.

Santo Domingo, D.N.

2014

Índice

Dedicatoria.....	1
Agradecimientos.....	2
Introducción.....	4
Capítulo 1: El problema.....	6
Justificación e importancia.....	6
Objetivos generales.....	7
Objetivos específicos.....	7
Planteamiento del problema.....	8
Capitulo II: Marco Teórico.....	9
Antecedentes.....	9
Generalidades.....	10
La tierra.....	15
Identificación de los suelos.....	17
Pruebas de campo.....	18
Pruebas de laboratorio.....	20
Dosificación y mezcla.....	27
Estabilización.....	32
Tipos de estabilizadores.....	33
Estabilizadores químicos.....	33
Selección del estabilizador y curado.....	34
Contenido de agua compactación y densidad.....	40
Características mecánicas y térmicas.....	43
Resistencia.....	43
Absorción y erosión.....	44
Resistencia a ciclos de humectación–secado.....	47
Conductividad térmica.....	48
Durabilidad.....	48
Maquinaria.....	50
Bloques de hormigón.....	51
Capitulo III: Marco metodológico.....	54
Hipótesis.....	54
Variables.....	54

Tipo de investigación	55
Pruebas y ensayos realizados	55
Muestra.....	55
Técnicas y equipo.....	56
Capitulo IV: Resultados	57
Identificación y clasificación de suelos	57
Ensayos granulométricos	58
Límites de consistencia	62
Discusión sobre resultados de clasificación y aceptación.....	63
Selección del tipo y la cantidad de estabilizador	64
Densidad y cantidad de agua	65
Mezclado y compactación	70
Curado.....	70
Resistencia a compresión.....	70
Discusión	72
Conclusión y recomendaciones	74
Bibliografía	75

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Entrepiso con vigas T de hormigón y bloques de tierra comprimida	11
Ilustración 2: Casa "Aum" hecha con bloques de tierra comprimida estabilizada en	12
Ilustración 3 : Construcción con bloques de tierra comprimida estabilizada.	12
Ilustración 4 esquema del método constructivo del tapial.....	14
Ilustración 5 fabricación de adobes	14
Ilustración 6 la quincha en diferentes etapas de fabricación.....	15
Ilustración 7: Carta de plasticidad según Casagrande, 1948.....	24
Ilustración 8 entornos granulométricos según UNE 41410	28
Ilustración 9 Diagrama de plasticidades recomendadas según UNE 41410	28
Ilustración 10 Triangulo auxiliar para la determinacion del agente estabilizador.....	34
Ilustración 11 relación entre el contenido de cal y limite plástico	37
Ilustración 12 relación entre la resistencia a compresión y el contenido de cal	37
Ilustración 13 : Equipo utilizado en el ensayo Proctor	41
Ilustración 14 : Bloques de tierra comprimida estructurales y con huecos.....	44
Ilustración 15 : Ensayo de erosión acelerada de Swinburne.	47
Ilustración 16 sección de la muralla china construida en tapial.	49
Ilustración 17: ciudadela de Arg-é Bam.....	49
Ilustración 18: Vermeer BP714	51
Ilustración 19 probetas de suelo estabilizado con distinto porcentajes de cemento	71

Índice de tablas

Tabla 1: tamaños de los granos según SUCS.....	17
Tabla 2: identificación de suelos finos con pruebas manuales	20
Tabla 3 tamices normalizados y sus aperturas ASTM C-136	22
Tabla 4 clasificación de suelos según SUCS (ASTM D-2487).....	26
Tabla 5 granulometría óptima para estabilización con cemento según Auroville Earth Institute.	29
Tabla 6 granulometría óptima para estabilización con cemento según Auroville Earth Institute.	30
Tabla 7: Tabla para determinar el agente estabilizador.....	36
Tabla 8 : resistencia a la erosion. Criterios de aceptacion o rechazo	46
Tabla 9 resistencia y absorción para bloques estructurales de hormigón.....	52

Dedicatoria

A nuestras familias.

Agradecimientos

Carol Reyes

A Dios porque en el encontré la paz y la sabiduría para llevar a cabo este trabajo.

A nuestros profesores, Comarazami , Montero por su gran ayuda, y en especial a Ramón Tavarez por ser un ejemplo a seguir.

Mi familia, sin ellos este logro no sería posible.

A mis amigos Héctor, Génesis, Allam, Mayfel , Natalie y Víctor por estar ahí siempre.

José Peralta

Se lo dedico primero a Dios por darme la sabiduría para hacer esta carrera.

A mi familia, en especial a mi madre por siempre apoyarme a pesar de todas las adversidades que se nos presentaron y por siempre confiar en mí.

A los amigos que hice en la universidad y que serán para toda la vida, en especial a Eduardo Castro, Allam Pichardo, Mayfel, Cesar, Moises, Diego Tavarez, Francina entre otros muchos.

A mis profesores Ramón Tavarez, Cesar Torres y Ramón Calderón que fueron maestros de los cuales aprendí no sólo en lo académico, si no para la vida.

Introducción

Considerando el estado y las consecuencias del deterioro ambiental ocasionado, entre otros tantos factores, por los procesos de construcción y producción de materiales altamente invasivos y antiecológicos, es de urgencia la búsqueda e implementación de métodos alternativos que sean amigables con el medio ambiente. Sin embargo, tomando en cuenta los componentes sociales y económicos, es preciso analizar no solo las características medioambientales, sino también los costos, adaptabilidad y eficiencia a la hora de ser implementados.

La tierra como material de construcción ha sido utilizada desde los orígenes de la humanidad, siendo uno de los más abundantes y fáciles de obtener. Considerando que:

- 40% de la población mundial vive en las viviendas de barro.
- 25% de la población mundial no tiene acceso a una vivienda digna.

(Estadísticas de The United Nations Centre for Human Settlements, UNCHS)¹

- El 17% de los "sitios de patrimonio cultural de la humanidad" se construyeron con tierra.

(estadística de United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO)²

Se observa que el uso de la tierra como material de construcción, en diversidad de técnicas, fue y sigue siendo aceptado en muchos lugares, varias estructuras de tierra se han conservado por muchos años y que se necesita una capacitación en construcción con tierra para darle mantenimiento a las mismas además que urge la

¹ Auroville Earth Institute, An Intro to Earth Architecture, 2004. <http://www.earth-auroville.com>

² Auroville Earth Institute, An Intro to Earth Architecture, 2004. <http://www.earth-auroville.com>

necesidad de viviendas. Es por esto que la UNESCO y otras instituciones han invertido en la implementación e investigación de la tierra, dando mayor atención a los bloques de tierra comprimida (BTC), los cuales se han convertido en la técnica más popular y efectiva. Estos han sido implementados En países en vía de desarrollo en donde la necesidad de escuelas, viviendas y demás obras de interés social es alta y los recursos económicos son insuficientes. Los BTC representan un método de construcción que puede ser una solución al alcance aún no implementada ni considerada en la República Dominicana debido a que se le ha dado prioridad a la construcción con hormigón, a pesar de que la misma ha sido utilizada y aprobada en países como India en la construcción de muros de mampostería sismo resistentes , es por esto que el presente trabajo de investigación tiene como objetivo diseñar bloques de tierra comprimida , analizar la resistencia a compresión (que estado de carga de mayor sollicitación en bloques de mampostería) del material térreo utilizado, y proponer su uso en construcción como una solución eficaz, ambientalmente amigable y más económica.

Mediante el estudio de las propiedades y características del bloque de tierra comprimida obtenidas de las pruebas mecánicas realizadas y el análisis de normas, investigaciones y propuestas llevadas a cabo por distintos autores, se pretende demostrar que por su resistencia, los BTC pueden calificar como bloques estructurales sustentando así la conveniencia de utilizar este tipo de mampostería como material alternativo y complementario en la construcción.

Capítulo 1: El problema

Justificación e importancia

El bloque de tierra comprimida (BTC) es una pieza constructiva que cuenta con propiedades que hacen atractiva su implementación en la República Dominicana. Es un material cuyos componentes y métodos de fabricación lo convierten en un elemento ahorrador, sostenible y probablemente asequible. El BTC podría representar bienestar en términos económicos y ambientales ya que los mismos no requieren de procesos de fabricación costosos, la materia prima (material térreo y estabilizador) es de bajo costo, además de que han demostrado ser eficientes en la construcción de muros de carga. Estos bloques no requieren cocción para su curado, por lo que su producción puede realizarse con menos energía que el acero, ladrillo cocido y hormigón.³ Además, dada su inercia térmica, son más aislantes que estos últimos por lo que la temperatura en el interior se mantendría agradable.

La fabricación del BTC por parte una comunidad rural podría representar un bienestar económico en general debido a que la misma ofrecería al mercado un nuevo producto que bien puede ser utilizado para viviendas, escuelas y otras obras civiles de interés social. Proyectos gubernamentales podrían ser realizados utilizando esta mampostería, reduciendo probablemente los gastos y generando beneficios a la comunidad rural productora, además de la ventaja de poseer la materia prima en la localidad y no sería necesario el transporte de la misma como sucede con los agregados del hormigón. La implementación de BTC ha sido conveniente y su uso fomentado en países en vías de desarrollo y con déficit viviendas y escuelas, entre estos Bolivia, México, Colombia y países de África.

³ ASTM E- 2392-10, Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems, United States: ASTM international 2010.

Este tipo de mampostería representaría un medio adicional para expresar la arquitectura dominicana, resaltando aún más la belleza de nuestro paisaje, ya que estos bloques cuentan con un aspecto estético agradable, a pesar de ser hechos de tierra y además pueden ser recubiertos y pintados como los bloques de hormigón.

Objetivos generales

- Determinar la resistencia a compresión del material terreo moldeado y estabilizado.

Objetivos específicos

- Determinar el tipo de estabilización adecuado y sus proporciones óptimas.
- Analizar la información y manejo técnico necesario para la producción de bloques de tierra comprimida y para la construcción con los mismos.
- estudiar la combinación, proporción y fuente adecuada de la materia prima para el bloque de tierra comprimida en función de sus características, disponibilidad y eficiencia.
- Evaluar la calidad del material terreo moldeado y estabilizado tomando en cuenta los criterios de las normas de construcción con tierra y bloque de mampostería.
- Comparar los resultados obtenidos con los que se esperaría tener en bloques normalizados de hormigón.

Planteamiento del problema

Observando los requerimientos de resistencia de bloques de mampostería surgen las siguientes preguntas:

- ¿Resistirá el material utilizado en los bloques de tierra comprimida las solicitaciones de carga a las que pueden estar sometidas?
- ¿Será posible obtener una producción homogénea, estandarizada y con la calidad necesaria para su posterior venta y utilización?
- ¿Cuáles serán los tipos y cantidades de estabilizador adecuados?
- ¿Cuáles serán los materiales o la combinación de materiales térreos adecuados?

Capitulo II: Marco Teórico

Antecedentes

La tierra es uno de los primeros materiales de construcción utilizado por la humanidad. En América los indígenas fueron los que inicialmente desarrollaron técnicas de construcción con tierra, conocían el adobe y la quincha, con la llegada de los europeos se introdujo el tapial. La influencia árabe y romana extendió el uso de tierra en toda Europa la cual posee una cantidad importante de patrimonio arquitectónico construido en este material. Las primeras viviendas en la ciudad de Santo Domingo fueron hechas de adobe, tapial y mampostería con piedras corralinas utilizando como unión y recubrimiento tierra arenosa- arcillosa mezclada con cal. Actualmente la quincha o tejemaní se utiliza en República Dominicana pero un reducido número de casos, en este país la tecnología de construcción con tierra ha tenido muy poco desarrollo.

El Instituto Tecnológico de Santo Domingo publicó un artículo en la revista Cultura y Sociedad en 2008 escrito José Toirac Corral: El Suelo-Cemento Como Material De Construcción. Única investigación escrita en la República Dominicana y encontrada en internet sobre este tema.

En Haití después del terremoto del 2010 varias instituciones como el Instituto Tierra y Cal (ITyC) de México promueven la construcción con bloque de tierra comprimida, Y ofrecen consultoría para negocios.

El BTC de hoy en día fue creado en Colombia en 1950 por el Centro Iberoamericano de Vivienda junto con la primera prensa, la CINVARAM. Sin

embargo los primeros prototipos de bloques fueron hechos en Europa en el siglo 19 por el arquitecto francés François Cointereaux utilizando apisonadores de mano.

Generalidades

Los bloques de tierra comprimida (BTC) como su nombre lo indica están constituidos por tierra compactada que puede ser o no mezclada con cantidades pequeñas de algún estabilizador químico. La función de estos últimos es de dar mayor resistencia y durabilidad, generalmente se utiliza bajas proporciones de cal, cemento o una combinación de ambos. La compactación aumenta el peso específico de los bloques lo cual le confiere una mayor resistencia mecánica. Bloques bien diseñados son capaces de resistir la acción del agua, solicitaciones de cargas considerables y la difícil la prueba del tiempo.

Bloques de tierra comprimida = tierra + estabilización química + agua + compactación.

La tierra es como un concreto natural en donde la arena y la grava son los agregados que constituyen el esqueleto y la arcilla y el limo son los conglomerantes. Estos últimos son pocos resistentes al agua, hacer la tierra resistente a esta sustancia es función de los estabilizadores.

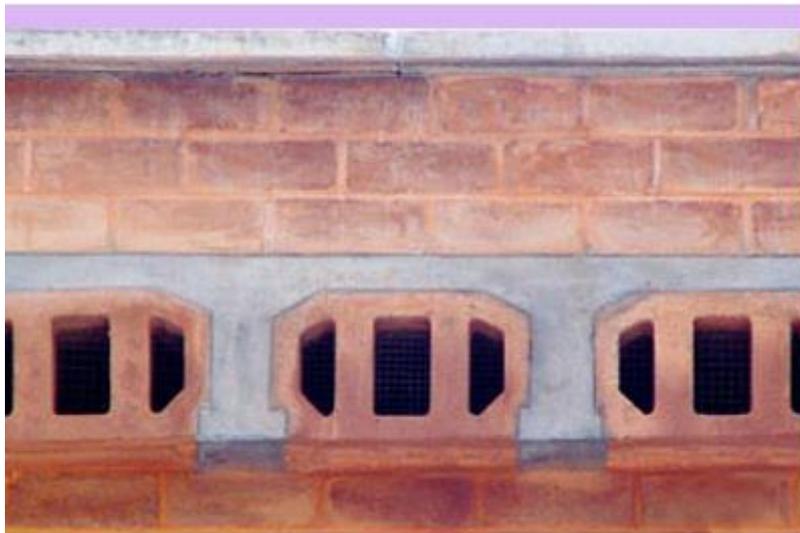
En general todos los suelos con cierto contenido de arcilla pueden ser utilizados para la fabricación de bloques, sin embargo en algunos casos se requiere adición de arena, previo tamizado o una combinación de suelos. La compresión puede realizarse con sencillas prensas manuales o con sofisticadas máquinas automáticas.

Los BTC pueden adaptarse a una gran variedad de formas y tamaños, son utilizados actualmente en muchos lugares como solución ecológica a la escasez de viviendas y ha sido industrializado satisfactoriamente.

Este elemento constructivo puede resistir cualquier clima. Existen varias normas e instituciones alrededor del mundo que regulan la calidad de los BTC, como son la UNE 41410 (España 2008) conocida como la primera norma europea de construcción con tierra, ASTM E2392N (Estados Unidos 2010) y NBR 10833 (Brasil 1989) y el Auroville Earth Institute en India, representante en Asia para la catedra de la UNESCO sobre arquitectura con tierra, la cual tiene como objetivo incentivar a través de la educación superior este y otros tipos de métodos de construcción con tierra,

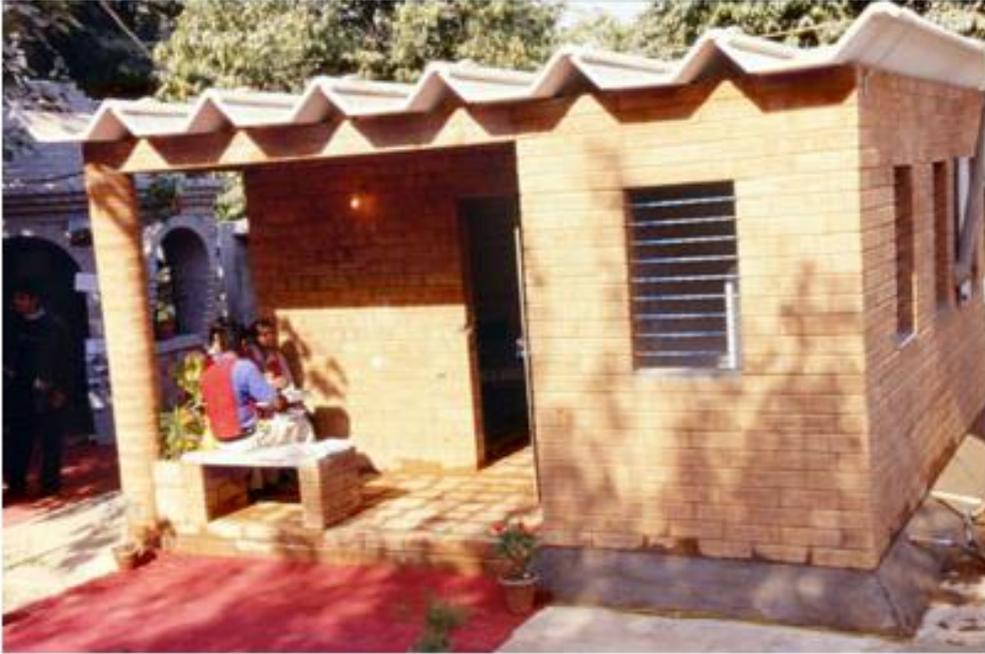
La tierra puede obtenerse del material sobrante de excavaciones para fundaciones, canales, carreteras, del subsuelo con el fin de no afectar área de cultivo o del terreno a construir.

Ilustración 1: Entrepiso con vigas T de hormigón y bloques de tierra comprimida



.Tomado de Auroville Earth Institute , Hourdi Roofing, 2004. <http://www.earth-auroville.com>

Ilustración 2: Casa “Aum” hecha con bloques de tierra comprimida estabilizada en Nueva Delhi india 1999.



Tomado de Auroville Earth Institute , Introduction to disaster resistance , 2004.
<http://www.earth-auroville.com>

Ilustración 3 : Construcción con bloques de tierra comprimida estabilizada.



Tomado de HEICON Hábitat Ecológico Integral Construcciones SAS, Bloques de tierra comprimida.
<http://www.heicon.com.co/>

Las etapas de fabricación de BTC se pueden dividir de la siguiente manera:

Identificación del material y estabilizador. En esta etapa se clasifica el material terreo mediante pruebas de campo o laboratorio, y se determina el tipo de estabilización, esta puede ser química si se decide mezclarlo con conglomerante como el cemento o la cal, y/o física cuando se modifica la granulometría del suelo.

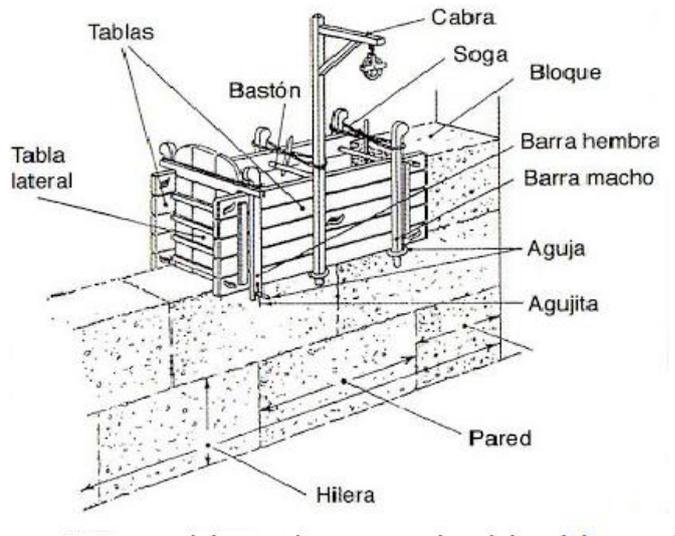
Cernido, Mezclado y prensado. Se tamiza o se cierne el suelo con el fin airearlo y separar granos muy grandes para su posterior mezclado con el estabilizador y el agua. La mezcla debe homogénea, logrando así que la acción del estabilizador sea efectiva. El prensado se realiza con prensas manuales o automáticas, los objetivos de este proceso son que el bloque alcance una densidad máxima y darle la forma y tamaño deseado. La compactación es un tipo de estabilización mecánica.

Curado y secado. Es el tiempo de necesario para el bloque endurezca y pierda humedad. El curado tomara tanto tiempo como el estabilizador requiera, en dicho tiempo el bloque deben estar sometidos a condiciones de temperatura y humedad conforme requiera la sustancia estabilizadora.

Además de los BTC, existen por lo menos otras 20 técnicas de construcción con tierra, entre las más importantes: el tapial, el adobe y la quincha. La tierra es utilizada también como relleno de bloques de hormigón como una manera de ahorrar mezcla. Las edificaciones con tierra pueden ser mixtas, esto es que incluye dos o más técnicas.

El tapial es un muro construido con tierra areno - arcillosa apisonada, se utiliza un encofrado para darle la forma.

Ilustración 4 esquema del método constructivo del tapial



Tomado de <http://porlascallesdegranada.blogspot.com>

El adobe es un bloque de tierra arcillosa estabilizado con fibras naturales generalmente y secado al aire libre.

Ilustración 5 fabricación de adobes



Tomado de <http://arqalexg.blogspot.com/>

La quincha consiste en muros reforzados con fibras y canas con un recubierta o relleno de tierra arcillosa.

Ilustración 6 la quincha en diferentes etapas de fabricacion



Tomado de <http://luzbelitoediciones.blogspot.com/>

La tierra

La tierra es el material que más abunda en la constitución de los bloques, está compuesta por diferentes granos de origen mineral, los cuales se clasifican según su tamaño y plasticidad en limo, arcilla, grava, arena, además de materia orgánica.

1. **Las gravas** poseen granos grandes no cohesivos, Pueden utilizarse si los mismos no son muy grandes, de lo contrario presentaría dificultades para mantenerse unidas en la mezcla. Su función es darle una mayor resistencia al bloque. El tamaño de sus partículas es mayor que 4.75 mm.
2. **Las arenas** son un componente del suelo de granos gruesos los cuales, a diferencia de los granos arcillosos, pueden ser identificados a simple vista y no son cohesivos. El papel jugado por las arenas en la mezcla es el de proporcionar una mayor resistencia al bloque, se podría comparar la función de la misma con la de un esqueleto. Sus partículas poseen un tamaño de 2

mm a 0.075 mm y sin importar su constitución mineralógica será arena siempre y cuando cumpla esta condición.

3. **Los limos** poseen granos finos y muy poco cohesivos o no cohesivos, Su compresibilidad aumenta conforme aumenta su límite líquido. Estos se distinguen en limos con límites líquidos bajos L y limos con límites líquidos altos H según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCS). La presencia de limo en la mezcla ayuda a evitar la fisuración del bloque, al igual que la arena forma parte del esqueleto. El tamaño de sus partículas varía de 0.075 mm a 0.002 mm.
4. **La arcilla** se caracteriza por poseer granos finos muy cohesivos, lo cual la convierte en un aglutinante natural. Principalmente el contenido de arcilla es lo que le da cohesión a la mezcla de los bloques. Al secarse se endurece. Con cambios de humedad la arcilla tiende a sufrir grandes variaciones de volumen ya sea por contracción debido al secado o dilatación debido a contacto con agua. Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCS) las arcillas pueden clasificarse según su plasticidad en arcillas de baja plasticidad L y alta plasticidad H. Cuanto más elevado sea el índice de plasticidad, más cohesiva será la arcilla. Poseen granos de un tamaño menor a 0.002 mm. Por su composición mineralógica pertenecen al grupo de los filosilicatos, esto es compuestos de sílice en forma de láminas, atendiendo a este último aspecto son también nombradas como montmorilonita, caolinita, illita entre otros, todas son silicatos de aluminio hidratado diferenciadas por la cantidad de sílice que presentan. La primera es conocida también como arcilla expansiva. Pueden presentarse en distintas tonalidades de rojo, amarillo, gris y pardo debido a impurezas, si es pura es de color blanco.

1. **La materia orgánica** en los suelos está formada por restos descompuesto o en proceso de descomposición de plantas y animales. Debe ser evitado el uso de suelos orgánicos en la mezcla debido a su capacidad de esponjarse y descomponerse.

La Tabla 1 muestra los tamaños de los granos descritos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Tabla 1: tamaños de los granos según SUCS.

Grano	Tamaño en mm
Gravas	Mayor de 4.75
Arenas gruesa	De 4.75 a 2.00
Arenas media	De 2.00 a 0.425
Arena fina	De 0.425 a 0.075
Finos(limo y arcilla)	Menores de 0.075

Identificación de los suelos

Los suelos pueden identificarse mediante análisis granulométricos y de plasticidad en el laboratorio o realizando pruebas de campo.

Para determinar el tipo de suelo es necesario distinguir el tipo de partículas que lo componen (arena, arcilla, grava, limo, y materia orgánica) y la proporción en que se encuentran las mismas. El Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS) establece dos grupos generales de suelos: suelos de granos finos si el 50% en peso son finos, suelos de granos gruesos, si el 50% en peso de los mismos son gruesos y suelos orgánicos. Se consideran gruesos a los granos que posean un

tamaño mayor a 0.075 mm, corresponden a este tipo las gravas y las arena. Los limos y arcillas son granos finos, sus tamaños son menores que 0.075

Pruebas de campo

Los ensayos realizados en el lugar donde se toma la muestra de suelo se conocen como pruebas de campo. Para la identificación de los constituyentes del suelo se utilizan las pruebas de identificación manual y visual descrita en ASTM D 2488: prueba de dispersión, de resistencia en estado seco, de plasticidad, de dilatación, distinción por color y olor.

Para identificar un suelo de granos finos o de granos gruesos en campo basta esparcir la muestra y distinguir a simple vista si posee más de un 50% en peso de granos finos o más de un 50% de granos gruesos.

Para diferenciar la arcilla y el limo se toman en cuenta sus propiedades físicas como la plasticidad, dilatación y tenacidad.

Color del suelo es un dato muy importante para diferenciar una clase de otra. Los que contienen escasa materia orgánica poseen colores brillantes y claros.

Los suelos con una gran cantidad de materia orgánica también conocidos como suelos turbosos se identifican fácilmente por su color negro o de tonos oscuros. Estos también se caracterizan por su textura fibrosa y su olor a vegetación podrida.

Prueba de dispersión

Consiste en la separación de las partículas del suelo gracias a la sedimentación por fases o capas de las mismas cuando se mezclan con agua. Este método permite identificar de una manera tosca la proporción de cada tipo de granos que la muestra posee.

Para realizar esta prueba:

- Tamizar la muestra de suelo
- Verter la tierra tamizada en un recipiente de manera que ocupe la mitad de su volumen.
- Llenar la capacidad restante del recipiente con agua .
- Agitar por dos minutos
- Dejar reposar por media hora

Transcurrido el tiempo de reposo se deben medir las capas, los granos gruesos como la arena y la grava caerán primero y se mantendrán en el fondo del recipiente, los limos formaran la capa siguiente mientras que las arcillas permanecerán en suspensión si las proporciones son de un tercio de arena como mínimo y 10% a 30% de arcilla es probable que el suelo en cuestión produzca buenos bloques. Debe notarse que aun siendo el material el adecuado, la manera más efectiva de cerciorarse es fabricando bloques de prueba.

Resistencia en estado seco.

Una muestra de arcilla al secarse requerirá más esfuerzo para romperse que una muestra de limo. Para llevar a cabo esta prueba se moldea una pequeña porción del suelo y se deja secar, una vez endurecida se rompe apretándola con los dedos. Mientras más contenido de arcilla tenga el suelo más difícil será romperla,

Prueba de dilatación

Los limos tiene la propiedad de la dilatancia , esta característica también puede ser aprovechada para su identificación . se golpea el dorso de la mano con una pequeña muestra húmeda y blanda , cuando el suelo es limoso el agua sube

rápidamente a la superficie y al deformarse el agua regresa al interior , mientras más rápido ocurra esta reacción más limosa será la muestra.

Tenacidad.

Para suelos con alto contenido de arcillas es posible formar cilindros largos y delgados sin que se rompan, los limos en cambio son poco tenaces. Esta característica se clasifica en baja, media o alta, indicando el contenido de arcilla respectivamente. La Tabla 2 muestra cómo interpretar los resultados de las pruebas descritas.

Tabla 2: identificación de suelos finos con pruebas manuales

Nombre típico	Resistencia en estado seco	Dilatancia	Tenacidad	Tiempo de Sedimentación en la Prueba de Dispersión
Limo arenoso	De ninguna a muy baja	Rápida	De débil a baja	de 30 a 60 min
Limo	De muy baja a baja	Rápida	De débil a baja	de 15 a 60 min
Limo arcilloso	De baja a media	De rápida a lenta	Media	de 15 min a varias horas
Arcilla arenosa	De baja a alta	De lenta a ninguna	Media	de 30 seg a varias horas
Arcilla limosa	De media a alta	De lenta a ninguna	Media	de 15 min a varias horas
Arcilla	De alta a muy alta	Ninguna	Alta	de varias horas a días
Limo orgánico	De baja a media	Lenta	De débil a baja	de 15 min a varias horas
Arcilla orgánica	De media a muy alta	Ninguna	Alta	de varias horas a días

Tomado de R.B. Peck, W. E. Hanson, y T. H. Thornburn, Ingeniería de Cimentaciones, Limusa , Mexico , 2009.

Pruebas de laboratorio

En el laboratorio se utilizan los ensayos granulométricos para suelos de granos gruesos y de plasticidad para suelos de granos finos. Estas pruebas son más exactas que las visuales y manuales realizadas en campo.

Ensayo granulométrico

Consiste en determinar el tamaño de las partículas del suelo. Para ello se pasa la muestra seca a través de un juego de tamices normalizados. La siguiente tabla muestra la apertura de los tamices y que tipo de grano es retenido por los mismos. Los tamices de la variedad presentada en la Tabla 3 son los generalmente para clasificación de suelos. Suelos que pasan por el tamiz N°200 están constituidos por granos finos y su granulometría se realiza con el hidrómetro.

Tabla 3 tamices normalizados y sus aperturas ASTM C-136

TAMIZ	MODULO (ABERTURA EN MM)
3"	75.00
2½"	63.00
2"	50.00
1½"	37.50
1"	25.00
¾"	19.00
½"	12.50
⅜"	9.50
4	4.75
10	2.00
40	0.42
200	0.075

Los tamices se colocan uno sobre otro de manera ascendente, es decir del diámetro menor al mayor, después se vierte el suelo a analizar.

Luego de tamizar, se pesa la cantidad retenida o que pasa por cada tamiz y se halla el porcentaje de la misma con relación al peso total de la muestra. Para hacer que los granos pasen por el juego de tamices es necesario vibrar el conjunto utilizando una máquina vibradora. Para clasificar la porción de suelos finos que queda en el recipiente generalmente se utiliza los límites de consistencia de Atterberg y la carta de plasticidad de Casagrande en lugar del hidrómetro.

Límites de Atterberg

Se basa en los distintos estados de consistencia (líquido, plástico y sólido) que toman los suelos finos al variar su contenido de humedad. Las fronteras o puntos de transición entre estos estados, para suelos similares, tendrán aproximadamente el mismo contenido de humedad, dichas fronteras se conocen como límites de Atterberg.

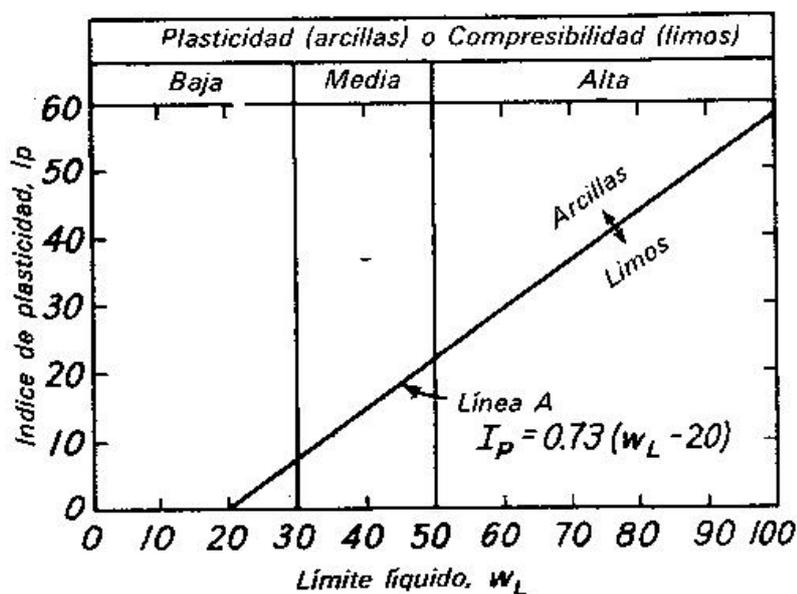
El límite líquido es el contenido de humedad cuando el suelo pasa del estado plástico al líquido. Para determinar el mismo se utiliza la Copa de Casagrande: se coloca la muestra en la copa, se hace una ranura con el ranurador de Casagrande y se deja caer la copa 25 veces si los extremos de la ranura se tocan, el contenido de humedad será el límite líquido. De lo contrario se aumentará o disminuirá la humedad y se repetirá el ensayo. Esto último es algo tedioso y difícil de lograr, es por ello que se puede trazar una recta con dos o tres valores de húmedas cuando extremos se toquen con menor o mayor cantidad de golpes e interpolar la humedad que tendría con 25 caídas.

En el estado plástico el suelo puede deformarse o moldearse sin que cambie su volumen ni se formen grietas⁴. Para determinarlo se amasa y se forman cilindros de 3mm de diámetro de manera sucesiva hasta que el cilindro se quiebre. El contenido de humedad en ese estado es el límite plástico. El índice de plasticidad es el intervalo de porcentajes de humedad para el cual el suelo se encuentra en estado plástico. Se calcula restando el límite plástico al límite líquido.

El límite de contracción es el contenido de humedad cuando el suelo pasa del estado sólido al plástico.

La siguiente gráfica es la carta de plasticidad la cual nos ayuda a interpretar los ensayos de límite líquido y plástico.

Ilustración 7: Carta de plasticidad según Casagrande, 1948



Tomado de R.B. Peck, W. E. Hanson, y T. H. Thornburn, Ingeniería de Cimentaciones, Limusa, México, 2009.

⁴ R.B. Peck, W. E. Hanson, y T. H. Thornburn, Ingeniería de Cimentaciones, Limusa, México, 2009.

En ella se observa una recta inclinada "A", puntos por encima de esta corresponden a arcillas, los puntos que queden por debajo son limos. Las rectas verticales $w_l=30$ y $w_l=50$ dividen la gráfica en 3 zonas, cada una de ellas corresponde a un grado de plasticidad o compresibilidad según se trate de arcillas o limos respectivamente.

La siguiente tabla pertenece al ensayo D-2487 de la ASTM y representa la clasificación de los suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Este sistema no es el único pero si uno de los más utilizados.

Tabla 4 clasificación de suelos según SUCS (ASTM D-2487)

DIVISION PRINCIPAL		SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACION		
SUELOS DE GRANOS GRUESOS 50% o más es retenido en el tamiz No. 200	ARENAS Más del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4	GRAVAS LIMPIAS	GW	Gravas bien gradadas y mezclas de arena y grava con pocos finos o sin finos	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Mayor que 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3 Si los criterios para GW no se cumplen Límites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o índice de plasticidad inferior a 4. Límites de Atterberg sobre la línea "A" e índice de plasticidad superior a 7. Si los límites de Atterberg se localizan en el área sombreada se debe clasificar utilizando símbolos dobles	
			GP	Gravas y mezclas de gravas y arenas mal gradadas con pocos finos o sin finos		
		GRAVAS CON FINOS	GM	Gravas limosas, mezclas de grava - arena y limo		
			GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava - arena y arcilla		
	ARENAS Más del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4	ARENAS LIMPIAS	SW	Arenas y arenas gravosas bien gradadas con pocos finos o sin finos	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Superior a 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3 Si no se cumplen los criterios para SW Límites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o índice de plasticidad inferior a 4. Límites de Atterberg sobre la línea "A" e índice de plasticidad superior a 7. Para los límites de Atterberg localizados en el área sombreada se debe clasificar utilizando símbolos dobles.	
			SP	Arenas y arenas gravosas mal gradadas con pocos finos o sin finos		
		ARENAS CON FINOS	SM	Arenas limosas, mezclas de arena limo		
			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		
	SUELOS DE GRANOS FINOS 50% o más pasa por el tamiz No. 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido de 50% o inferior	ML	Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas	GRAFICO DE PLASTICIDAD Para la clasificación de los suelos finos y de la fracción fina de los suelos granulares Los límites de Atterberg situados en el área sombreada corresponden a la clasificación de frontera y requieren símbolos dobles Ecuación de la línea A: $IP = 0.73 (LL - 20)$	
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, suelos sin mucha arcilla		
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad		
		LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido superior a 50%	MH	Limos inorgánicos, arenas finas o limos micáceos o de diatomeas limos elásticos		
CH			Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas			
OH			Arcillas orgánicas de plasticidad alta o media	MH		OH
				MI		OI
Suelos altamente orgánicos	PT	Turba, estiércol y otros suelos altamente orgánicos	Para la identificación visual y manual, véase ASTM norma D 2488			

Tomado de R.B. Peck, W. E. Hanson, y T. H. Thornburn, Ingeniería de Cimentaciones, Limusa, Mexico, 2009.

Luego de realizados los ensayos de granulometría y plasticidad es preciso consultar este u otro sistema de clasificación para identificar el nombre del suelo.

Dosificación y mezcla

Diversas normas sobre la construcción y fabricación de bloque de tierra comprimida y construcción con tierra en general, han sido desarrolladas tomando en cuenta los análisis de numerosas pruebas y ensayos. Se pueden encontrar alrededor de 91 documentos que regulan la construcción con tierra cruda en el mundo, estos varían en mayor o menor grado en métodos de control de calidad, fabricación y mezcla.

Para la fabricación de bloques de tierra comprimida la norma española UNE 41410, recomienda que la granulometría y plasticidad del suelo a utilizar este dentro de área sombreada en los diagramas de las Ilustración 8 e Ilustración 9 respectivamente garantizando en la mayoría de los casos buenos resultados. Los límites granulométricos son establecidos para evitar contenidos antieconómicos de estabilizador, además de facilitar el manejo del material y la elaboración de los bloques. Un suelo que posea las texturas recomendadas por las normas e instituciones utilizara menos estabilizador químico que uno que no las tenga, además esta característica representa un factor importante en la durabilidad del bloque.

Ilustración 8 entornos granulométricos según UNE 41410

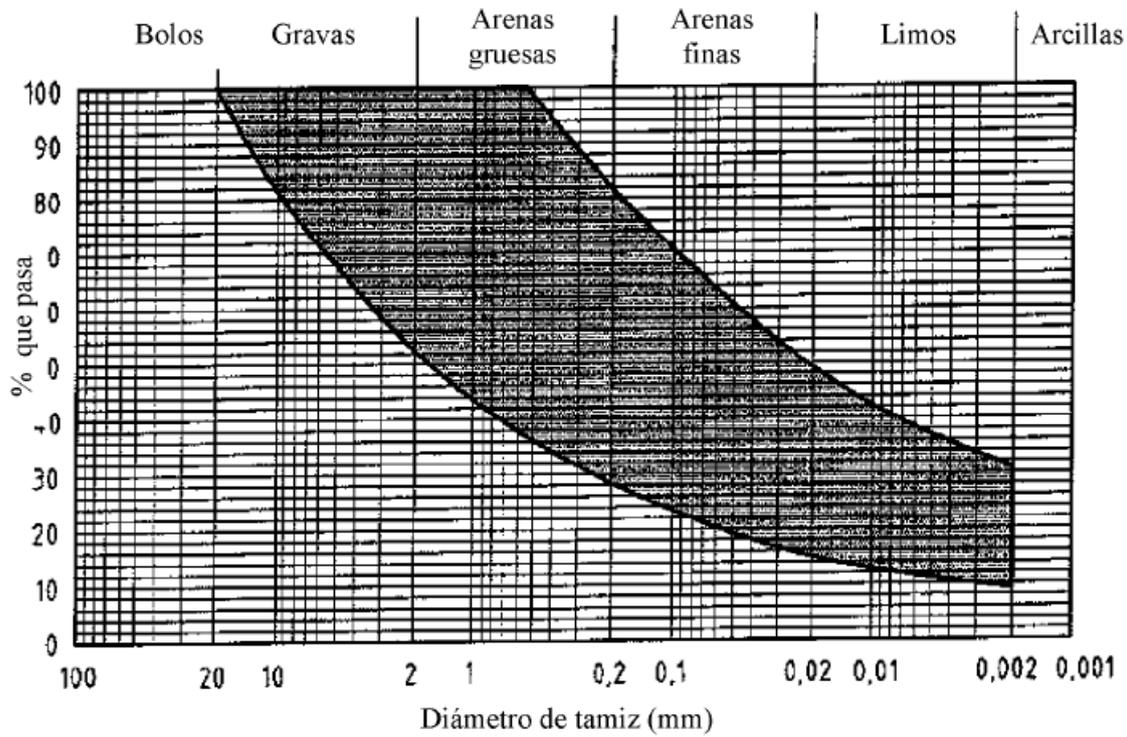
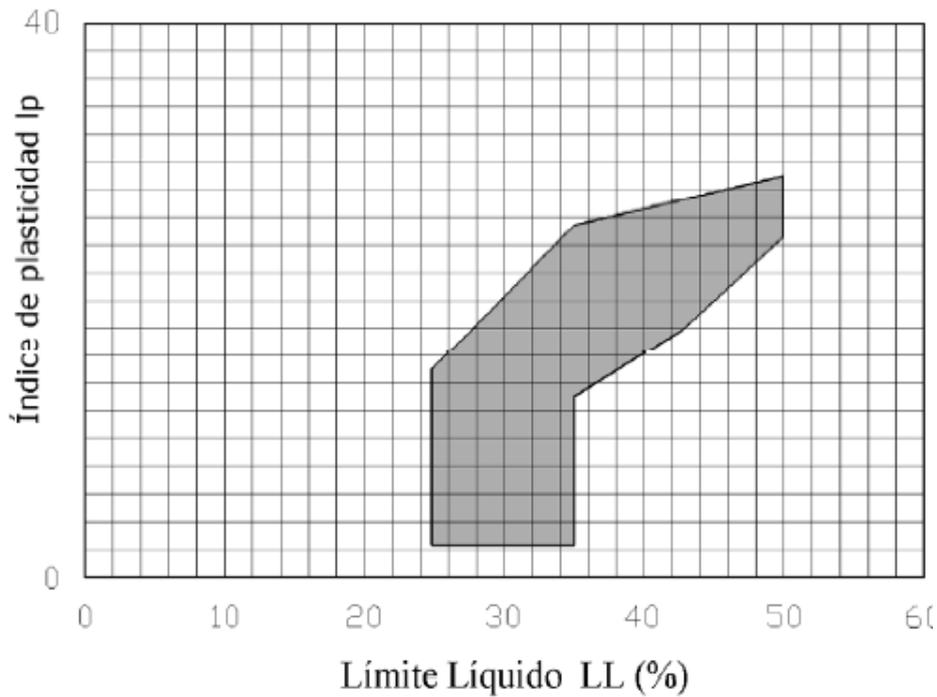


Ilustración 9 Diagrama de plasticidades recomendadas según UNE 41410



Según la norma brasileña NBR 10833:

% Pasando el tamiz 4,8 mm (No. 4) 100%

% Al pasar el tamiz de 0,075 mm (N ° 200) 10% a 50%

Límite líquido..... ≤ 45%

Índice de plasticidad ≤ 18%

Esta norma se aplica a bloques estabilizados con cemento portland.

Las arenas arcillosas o arcillas arenosas son los tipos de suelo ideales para la fabricación de bloques. Si no se poseen los mismos en estado natural pueden lograrse mezclando arena y suelos arcillosos en proporciones adecuadas valiéndose de los sistemas de clasificación y las normas sobre construcción con tierra. Cualquier suelo con contenido de arcilla no menor a 10% (UNE 41410) puede ser utilizado y dar buenos resultados si se da el trato necesario. En la República Dominicana hay diversidad de suelos dispuestos en zonas relativamente pequeñas de área superficial o de subsuelo, lo cual permite obtener mayores posibilidades.

Conforme a pruebas e investigaciones realizadas, el Auroville Earth Institute en India las granulometrías óptimas son las siguientes:

Tabla 5 granulometría óptima para estabilización con cemento según Auroville Earth Institute.

estabilización con cemento:	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Es más arenoso que arcilloso	15%	50%	15%	20%

Tabla 6 granulometría óptima para estabilización con cal según Auroville Earth Institute.

estabilización con cal:	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Es más arcilloso que arenoso	15%	30%	20%	35%

Suelos distintos a los descritos por la tabla y gráficas y pueden ser mejorados con el fin de ajustar la granulometría y requerimientos de plasticidad. Auroville recomienda llevar a cabo lo siguiente:

Para suelos con mayor cantidad de grava:

- Tamizar es indispensable para eliminar la grava gruesa.
- Un máximo de 15% a 20% en peso de grava que pasa el tamiz se debe permitir.
- Si el suelo contiene gran cantidad de grava, se debe agregar un suelo más arcilloso, pero no arcilla pura por el difícil manejo: seca es dura y requerirá trituración, mojada es muy pegajosa y difícil de mezclar.
- La estabilización puede ser de 3% a 4% en peso de cemento, si el contenido de arcilla es lo suficientemente alto.
- La estabilización puede ser 6% de cemento si el suelo contiene mucha grava.

Suelos arenosos:

Tamizar (# 10 a 12 mm) se requiere solamente para aflojar y airear el suelo.

- No se tamiza en una zona de mucho viento, sobre todo si el suelo está seco para no perder la arcilla fina.

- La estabilización puede ser 5% en peso de cemento, si el suelo no es demasiado arenoso.
- Si el suelo es muy arenoso, 6% en peso de cemento podría ser preferible, especialmente para la manipulación de bloques frescos.
- Si el suelo no es muy arenoso y tiene una buena calidad de la arcilla, el 4% en peso de cemento podría dar buenos resultados también.

Suelo arcilloso:

- Triturar puede a menudo ser necesario.
- Tamizado con malla (# 6 a 8 mm) se requiere, si el suelo está seco.
- La adición de 20 a 40% de arena gruesa se necesita para reducir la plasticidad y dar un poco de esqueleto.
- La estabilización puede ser:
 - 5% a 6% mínimo en peso de cemento, si la arcilla no es demasiado plástica. Se añadió arena como se mencionó anteriormente.
 - 6 a 7% en peso de cal si la arcilla es muy plástica. Cantidad de arena se reducirá o no podría ser necesaria.
 - Una combinación de la estabilización con cemento-cal también podría dar buenos resultados: 2% de cemento + 5% de cal. Se necesitará algo de arena (10 a 15%).
- Nota para la estabilización:
 - Estabilización de cemento tendrá 4 semanas de curado (incluso para el combinado con cal).

En la estabilización con cal los bloques sólo deben mantenerse 6 días bajo láminas de plástico).

Suelo limoso:

- triturar levemente podría ser necesario.
- Tamizar (# 6 a 10 mm) es necesario si los trozos son demasiado grandes y cohesionada.
- Adicionar de 10% a 20% de arena gruesa podrían ser necesario para dar más esqueleto al suelo. Recuerde que la adición de arena depende del tamaño de limo: si el tamaño de grano de los sedimentos es cerca de arena muy fina, debe añadirse sin arena.
- Estabilización debe ser del 6% como mínimo en peso de cemento.

Estabilización

El término estabilizador se refiere a una sustancia o proceso capaz de mejorar las propiedades mecánicas de los suelos, lo cual conlleva una modificación en su granulometría, límites de consistencia y densidades de compactación.

Las funciones del estabilizador son:

- Aumentar la resistencia a compresión y al impacto.
- Disminuir los cambios de volumen debido a la expansión por humectación o contracción por secado y por consiguiente disminuir el agrietamiento.
- Proporcionar una mayor resistencia al agua.
- Minimizar la absorción e impermeabilizar el bloque.

- Disminuir el peso específico seco⁵
- Disminuir la plasticidad.

Tipos de estabilizadores

La estabilización en los bloques de tierra comprimida se logra mediante la adición de sustancias cementantes o aglutinantes (estabilización química), una correcta dosificación (estabilización física granulométrica) y la compactación adecuada (estabilización mecánica).

Estabilizadores químicos

Este tipo de estabilización presenta inconvenientes para suelos con alto contenido de sulfatos solubles y materia orgánica. Modifican la granulometría, plasticidad y características de compactación,

Cemento portland es un conglomerante que endurece al mezclarse con agua, se obtiene de la mezcla y posterior cocción de roca caliza y arcilla, luego se le agrega yeso para disminuir el tiempo de fraguado. No es efectivo en suelos muy plásticos y arcillosos, además de que el mezclado con estos es más difícil. Es preferible su uso en suelos arenosos. Es recomendable probar bloques con varios porcentajes para comparar resistencias. Ha de esperarse una mayor resistencia con una mayor cantidad de cemento sin embargo, conforme aumenta el porcentaje de cemento el aumento de resistencia a compresión será menor.⁶ El tipo utilizado es el cemento común de usos generales.

⁵ Rosario Etchebarne, Gabriela Piñeiro y Juan Carlos Silva, Proyecto Terra Uruguay. Montaje de prototipos de vivienda a través de la utilización de tecnologías en tierra: adobe, fajina y btc.

⁶ Sandra Castells, Emilo Laperal, bloques de tierra comprimida en el proyecto del centro del adulto mayor de San José de Chiquitos, Bolivia. España: Universidad Internacional de Cataluña, 2011.

La cal es un conglomerante que se obtiene al calcinar la roca caliza, es el estabilizador por excelencia para suelos finos plásticos. Al mezclarse con la arcilla reacciona químicamente formando una masa aglutinante estable. Se conocen comúnmente dos clases de cal: la cal viva y la cal apagada. Esta última es la más utilizada.

La cal viva debe usarse con cuidado, su alto calor de hidratación puede causar quemaduras. La cal apagada o cal hidratada se obtiene al mezclar la cal viva con agua. Este estabilizador es más económico que el cemento. La cal facilita el manejo de suelos muy arcillosos, aporta resultados muy parecidos al cemento, sin embargo, no reacciona igual con todas las arcillas, es más efectiva en las arcillas montmorilonita y caolinita.

Yeso o sulfato de calcio se endurece rápidamente una vez humedecido. En estado sólido se disuelve fácilmente al contacto con el agua por lo que si se utiliza en los bloques estos no deben estar expuestos a humedades excesivas.

Cenizas volantes o fly ash se obtienen por la combustión de carbón en las plantas de energía termoeléctrica, se utiliza combinada con cemento portland, cal o ambos. El fly ash mezclado con cal forma un aglomerante tan resistente como el portland.

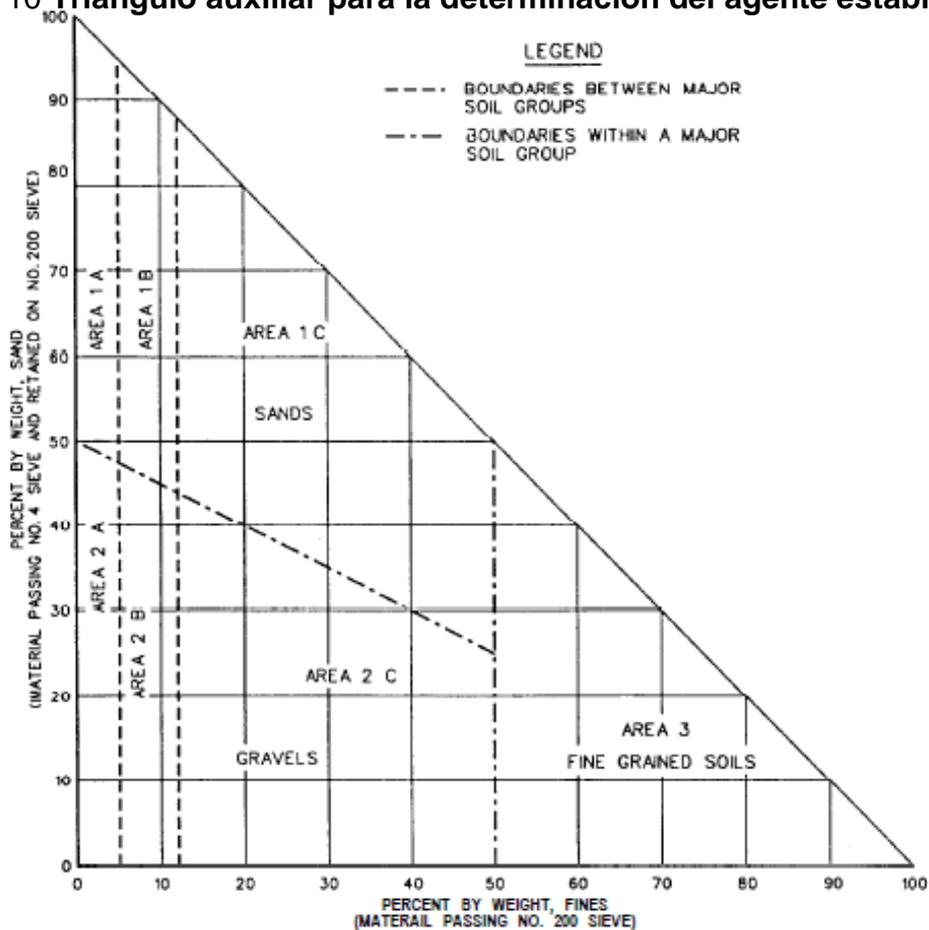
Selección del estabilizador y curado

El tipo de estabilizador dependerá del suelo en consideración, de su disponibilidad, precio, propiedades que se esperan que tenga el bloque y del impacto ambiental.

Para tierras arcillosas con altas plasticidades la utilización de cemento no es recomendable. El cemento como estabilizante es adecuado para suelos arenosos, Para tierras arcillosas con altas plasticidades la utilización de cemento no es

recomendable. El cemento como estabilizante es adecuado para suelos arenosos, gravosos o arcillosos en los cuales la plasticidad debe ser menor de 20%. Si estos últimos son muy plásticos, la cal es el estabilizador más efectivo, pero aumentara el tiempo de curado. Las proporciones se calculan en relación al peso seco de la muestra de suelo. Combinaciones de cal y cemento son recomendadas en arenas o gravas arcillosas con plasticidades altas en donde la función de la cal sería disminuir la plasticidad y la del cemento brindar resistencia. La Ilustración 10 y la tabla 7 ofrecen una guía que puede ser considerada a la hora de seleccionar el tipo de estabilizador, en estas se toma en cuenta del tipo de suelo, la granulometría, el límite líquido y de índice de plasticidad.

Ilustración 10 **Triángulo auxiliar para la determinación del agente estabilizador**



Tomado de Soil Stabilization for Pavement, Department of the Army, the Navy, and the Air force, october 1994.

Tabla 7: Tabla para determinar el agente estabilizador

Area	Soil Class. ^a	Type of Stabilizing Additive Recommended	Restriction on LL and PI of Soil	Restriction on Percent Passing No. 200 Sieve ^a	Remarks
1A	SW or SP	(1) Bituminous (2) Portland cement (3) Lime-cement-fly ash	PI not to exceed 25		
1B	SW-SM or SP-SM or SW-SC or SP-SC	(1) Bituminous (2) Portland cement (3) Lime (4) Lime-cement-fly ash	PI not to exceed 10 PI not to exceed 30 PI not to exceed 12 PI not to exceed 25		
1C	SM or SC or SM-SC	(1) Bituminous (2) Portland cement (3) Lime (4) Lime-cement-fly ash	PI not to exceed 10 .. ^b PI not less than 12 PI not to exceed 25	Not to exceed 30% by weight	
2A	GW or GP	(1) Bituminous (2) Portland cement (3) Lime-cement-fly ash	PI not to exceed 25		Well-graded material only Material should contain at least 45% by weight of material passing No. 4 sieve
2B	GW-GM or GP-GM or GW-GC or GP-GC	(1) Bituminous (2) Portland cement (3) Lime (4) Lime-cement-fly ash	PI not to exceed 10 PI not to exceed 30 PI not less than 12 PI not to exceed 25		Well-graded material only Material should contain at least 45% by weight of material passing No. 4 sieve
2C	GM or GC or GM-GC	(1) Bituminous (2) Portland cement (3) Lime (4) Lime-cement-fly ash	PI not to exceed 10 .. ^b PI not less than 12 PI not to exceed 25	Not to exceed 30% by weight	Well-graded material only Material should contain at least 45% by weight of material passing No. 4 sieve
3	CH or CL or MH or ML or OH or OL or ML-CL	(1) Portland (2) Lime	LL less than 40 and PI less than 20 PI not less than 12		Organic and strongly acid soils falling within this area are not susceptible to stabilization by ordinary means

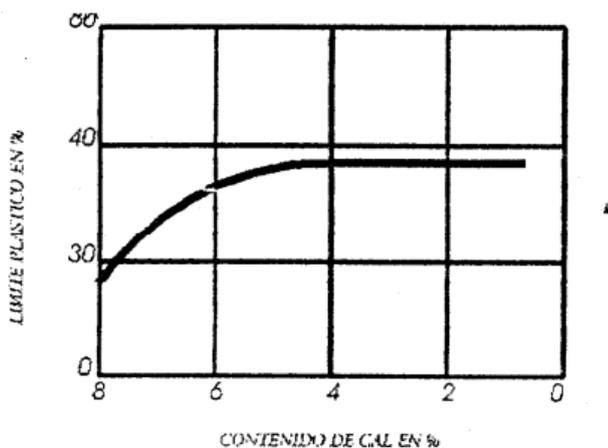
^a Soil classification corresponds to MIL-STD-619B. Restriction on liquid (LL) and plasticity index (PI) is in accordance with Method 103 in MIL-STD-621A.

^b $PI \leq 20 + \frac{50 - \text{percent passing No. 200 sieve}}{4}$

Tomado de Soil Stabilization for Pavement, Department of the Army, the Navy, and the Air force, october 1994.

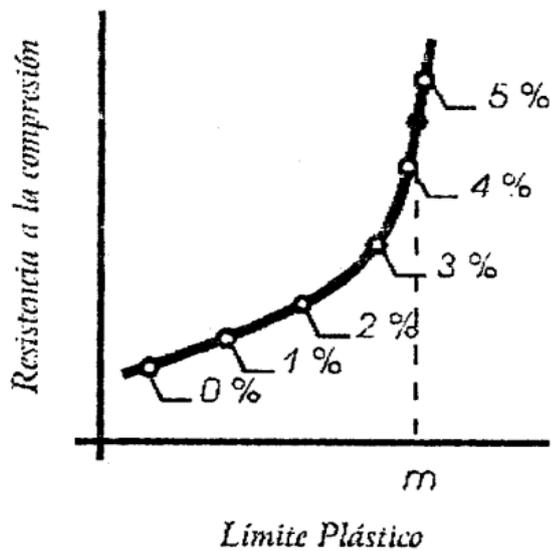
La proporción adecuada de estabilizador debe ser determinada mediante pruebas, las mismas pueden ser realizadas al bloque o previamente a su fabricación. La cantidad de cal necesaria dependerá de si el objetivo es disminuir la plasticidad o un aumento de resistencia. El punto de fijación es el contenido de cal a partir del cual no se producen mejoras en el comportamiento de suelo, también llamado proporción óptima de cal. si se pretende sólo disminuir la plasticidad, dicho punto se determinará mediante ensayos de limite plástico para distintas proporciones de cal la figura Ilustración 11 muestra un ejemplo en donde a partir de 4% de cal no disminuye el limite plástico, por consiguiente podría considerarse como la proporción optima o punto de fijación. Sin embargo, aunque no disminuya la plasticidad para porcentajes mayores de 4%, puede haber un aumento de resistencia, la Ilustración 12 muestra como el suelo en cuestión con un 5% de cal aún se obtiene modificaciones de la misma, es por esto que el punto de fijación dependerá de si lo buscado es una reducción de plasticidad o un aumento de resistencia.

Ilustración 11 relación entre el contenido de cal y limite plástico



Tomado de Empleo de a cal en el mejoramiento de suelos arcillosos disponible en tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7605/Capitulo1.pdf

Ilustración 12 relación entre la resistencia a compresión y el contenido de cal



Tomado de Empleo de a cal en el mejoramiento de suelos arcillosos disponible en tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7605/Capitulo1.pdf

La prueba rápida o método de p.h. de Aedes y Grim (ASTM D6276) se realiza para determinar el contenido óptimo de cal, consiste en medir el p.h de muestra de suelos con proporciones de 2, 3, 4, 5, 6 y 7%, la mezcla que alcance un ph. De 12.4 con la menor cantidad de cal representa el punto de fijación. También se podría fabricar directamente los bloques con distintas proporciones de cal seleccionadas arbitrariamente, y luego probar su calidad y resistencia. Utilizando el método de ph deberán realizarse bloque con porcentaje 2% y 4% alrededor del inicial, incluyendo el mismo.

Estos deben se rociados con agua diario durante o mantenerlos cubiertos con plástico durante 14 días, luego reposaran en la sombra 7 días antes de exponerlos al sol. Se empieza a contar el tiempo de curado desde la formación de los bloques. Un aumento de temperatura disminuye el tiempo de curado la temperatura debe ser mayor a 5c, la ideal es de 23 c.

Es importante que el agua no se evapore muy rápido para que las reacciones tengan tiempo completarse y así adquirir el efecto deseado. De aquí la importancia de cubrir los bloques con plástico y rociar agua periódicamente. La cobertura también impide la carbonatación de la cal, proceso químico en el cual ésta se convierte en carbonato de calcio cuando reacciona con el dióxido de carbono presente en el aire, es decir, vuelve a la estructura original de roca caliza.

Porcentajes muy altos en relación al óptimo no sólo serán ineficientes sino contra productores para la mezcla debido a que la cal no reaccionante puede debilitar la resistencia del bloque haciéndolo más sensible al agua.

Según la UNE 41410 no debe ser utilizada una cantidad mayor al 15% en peso de cemento, cal, mezcla de ambos o cualquier otro estabilizador, de lo contrario la fabricación de bloques sería antieconómica.

La cantidad necesaria de cemento será determinada mediante pruebas de compresión a las que serán sometidos los bloques durante y después de su curado. El agua será la que responda al contenido óptimo de humedad de la muestra de suelo una vez realizada la prueba Proctor con el porcentaje intermedio de tanteo.

Los bloques deben permanecer 7 días siendo rociados con agua 3 veces al día o cubierto con plástico en una cámara húmeda y fresca. Se recomienda que la temperatura de curado sea mayor de 10c. Las pruebas de compresión simple deben ser realizadas a los 7, 21 y 28 días, este último es el tiempo total de curado. Al igual que la cal, una pérdida de humedad prematura interrumpe los procesos químicos del cemento.

La combinación de cemento y cal es también efectiva. Para suelos con plasticidades de alta a media, se puede utilizar la cal para disminuir la plasticidad y cemento para aumentar la resistencia, el proceso es el siguiente: se mezcla la tierra con el porcentaje de cal seleccionado, luego se agrega agua y se deja dos días reposar cubierto con un plástico para evitar la pérdida de humedad, esto primer proceso es para hacer el suelo arcilloso más manejable ya que la cal hace que los terrones duros de arcilla deshagan además de hacerla más friable. La cantidad de cal será sólo la necesaria para alcanzar la plasticidad deseada, la proporción de cemento pueden hallarse siguiendo las recomendaciones del Auroville Earth Institute mencionadas, la última palabra la tendrá los resultados a las pruebas de resistencia y durabilidad. Los resultados óptimos son los que satisfagan los requerimientos de uso conforme a la norma vigente utilizada.

Contenido de agua compactación y densidad

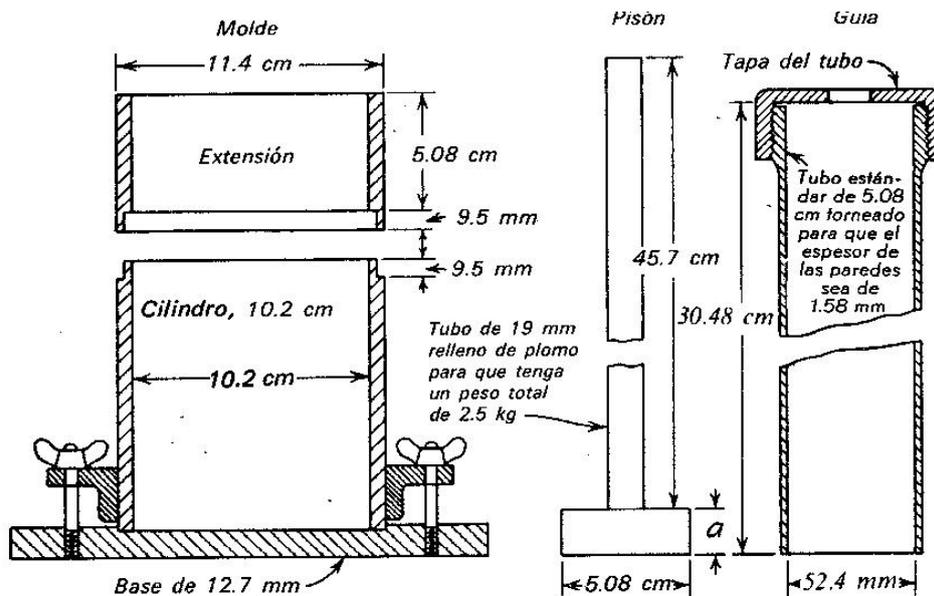
El agua facilita el mezclado, activa los estabilizantes químicos como el cemento y, en una proporción adecuada, ayuda a alcanzar una mayor densidad y resistencia en los bloques. Se deberá alcanzar el contenido de humedad óptimo, es decir la humedad necesaria para conseguir el peso unitario máximo al compactar. Debido a la compactación los granos del suelo estarán más cerca uno del otro, lo cual aumenta la fricción interna y esto a su vez provoca un aumento de resistencia a la compresión.

Las pruebas Proctor Modificado y Proctor estándar son utilizadas para determinar las relaciones entre el contenido de agua y el peso unitario seco, ha sido estandarizadas por la ASTM D-1557 y ASTM D-698 respectivamente.

Para llevar a cabo esta prueba es necesario el uso de un molde y pistón o martillo metálicos que posean las formas y dimensiones mostradas en la

Ilustración 13

Ilustración 13 : Equipo utilizado en el ensayo Proctor



Tomado de R.B. Peck, W. E. Hanson, y T. H. Thornburn, Ingeniería de Cimentaciones, Limusa , Mexico , 2009.

Dentro del molde se colocan capas de tierra con contenido de agua arbitrario, a cada una de las capas se le aplican golpes con el martillo, luego se enraza y se pesa. Se repite esta operación para distintos contenidos de agua. la cantidad de golpes y capas varían según el material y la energía de compactación.

Se determina los pesos unitario y los porcentajes de humedad de la muestra y se grafican en los ejes del plano de las abscisas y de las ordenadas respectivamente formando lo que se conoce como curva de compactación. Mediante esta curva se determinan la densidad máxima y humedad óptima. El Proctor deberá realizarse a la

muestra de suelo previamente mezclada con el estabilizador debido a que este modifica sus propiedades de compresibilidad. Es preciso tener en cuenta la energía de compactación de estos ensayos y compararlas con la energía de la maquinaria utilizar.

La energía de compactación está definida por la siguiente formula

$$Y = \frac{n \cdot N \cdot P \cdot H}{V}$$

En donde:

Y = energía aplicada a la muestra.

n = número de capas compactadas.

N = número de golpes aplicados por capa.

P = peso del martillo o pisón

H = altura de caída del pisón.

V = volumen del molde.

Diferentes ensayos de compactación pueden ser realizados cambiando el peso del pisón o la altura de caída para obtener una energía similar a las prensas disponibles, cuando la energía Proctor modificada y estándar no se ajustan. También se pueden comparar las densidades obtenidas en el ensayo con las obtenidas con la prensa y así verificar si se alcanzó la máxima o un porcentaje alto de la misma. El peso de los bloques dependerá tanto del suelo como del estabilizador.

Es posible determinar la densidad y humedad adecuada por prueba y error fabricando varios bloques con distintas humedades; la cantidad de agua óptima será la que produzca bloques de mayor peso.

La cantidad óptima de agua también puede ser estimada mediante pruebas sencillas de campo como la prueba de bola: se moldea un poco de tierra húmeda para formar una esfera firme del tamaño de una naranja y se deja caer desde la altura de los hombros, si la bola se mantiene casi con la misma forma desprendiéndose pocos pedazos, tiene el contenido correcto de humedad, si se aplasta o se deforma, le sobra humedad y si al moldearse es quebradiza está muy seca.

Características mecánicas y térmicas

Los requerimientos que deberán satisfacer el bloque dependerán de las solicitaciones a las cuales estén destinados: condiciones climatológicas, caras vistas o recubiertas, muros estructurales o muros tabique entre otros.

Resistencia

La resistencia de los bloques aumenta conforme aumenta su densidad, es por esto que una correcta compactación ha de llevarse a cabo. La cantidad y el tipo de estabilizador químico también determinan su resistencia. Para porcentajes mayores de cemento por ejemplo, ocurre un aumento de la misma. El Auroville Earth Institute ha alcanzado resistencias de hasta 7.0 Mpa a compresión simple utilizando un porcentaje de 5% a 10% de cemento y presiones de compactación de 2Mpa a 4Mpa. Esta institución clasifica los bloques en tipo A y tipo B de acuerdo a sus características mecánicas y térmicas. La norma UNE los clasifica, según su

resistencia a compresión en BTC 1, BTC 3 y BTC 5, siendo este último el de mayor resistencia (50Mpa como mínimo). Las dimensiones del bloque también influyen, mientras más grande es el bloque, tendera a ser menos resistente cita. Para determinar cuánto soporta un bloque se realizan ensayos de laboratorio regulados por la normas. La resistencia analizada es a la compresión simple debido a que es el tipo de esfuerzo de mayor sollicitación. La resistencia a cortante dependerá tanto del bloque como del mortero o tipo de unión utilizada para formar el muro.

Pueden utilizarse para fines estructurales, pero los bloques solos no son capaces de resistir la acción sísmica, armaduras de acero y formas especiales son requeridas. Los BTC han sido aprobados como sismo resistente en la India y en Irán, lugares donde es permitido construir con estos hasta dos pisos, el Auroville Earth Institute diseño los bloques utilizados, (Ilustración 14).

Ilustración 14 : Bloques de tierra comprimida estructurales y con huecos



Tomado de Auroville Earth Institute , Hollow interlocking blocks , 2004. <http://www.earth-auroville.com>

Absorción y erosión

La cantidad de agua que puede absorber el bloque debe ser determinada así como la resistencia cuando el mismo está saturado. Una absorción elevada tendría como consecuencia humedades altas dentro de la vivienda y esta resultaría incomoda, además los bloques aumentan de volumen y disminuyen su resistencia, esto debe controlarse. Sin embargo, cierta absorción es necesaria para que el mortero pueda

adherirse a los bloques. Mezclas hechas con suelos arenosos tendrán un tiempo de absorción más corto mientras que las de suelos arcillosos tendrán un periodo más largo de absorción y absorberán más humedad. Los estabilizadores juegan un papel importante en la reducción de la absorción pero pueden utilizarse impermeabilizantes como el pañete de cal o arcilla en las caras expuestas. Bloques no estabilizados necesariamente deberán protegerse del agua. Para llevar a cabo la prueba de absorción se siguen las especificaciones de las normas ASTM C-67 o UNE EN 772-11, en donde se determina el coeficiente de absorción de agua por capilaridad y mide en gramos sobre metro cuadrado por segundo($g/(m^2*s)$). Norma española sobre fabricación de BTC no presenta la interpretación de los resultados de este ensayo, a diferencia del reglamento colombiano para bloques de suelo cemento NTC 5324, que los califica y rechaza si no cumple con las pautas especificadas.

La absorción por inmersión total no es considerada en la UNE 41410, la misma concibe el porcentaje en peso del contenido de agua después de sumergir el bloque totalmente durante un tiempo determinado. La absorción por inmersión admisible es menor o igual a 15% en peso de agua para varias normas internacionales de construcción con tierra como IS 1725, NT 2133 Y ARS 683.

Es importante señalar que la resistencia del bloque en estado saturado es menor que cuando está seco, es por esto que se recomienda hacer la prueba de resistencia a compresión también en cuando el bloque alcanza su absorción máxima.

Los requerimientos que debe cumplir dependerán de las condiciones climatológicas de la zona, principalmente las precipitaciones y cambios bruscos de temperatura.

La erosión, principalmente ocasionada por lluvias fuertes, debe ser considerada para asegurar la integridad de los bloques. Los estabilizadores ofrecerán una importante resistencia. Para medir este fenómeno la norma UNE 41410 describe un procedimiento en el cual se somete al bloque a una corriente de agua tal como se muestra en la figura 14.

La profundidad en mm de la oquedad o agujero formado por la acción del agua es la medida de la erosión. La Tabla 8 muestra las pautas de aceptación o rechazo.

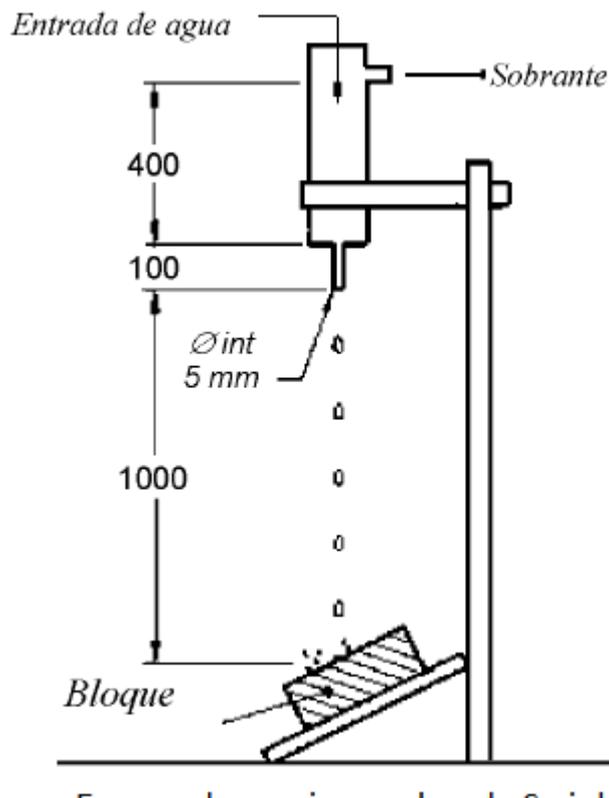
Tabla 8 : resistencia a la erosión. Criterios de aceptación o rechazo

Resistencia a la erosión. Criterios de aceptación o rechazo

Propiedad	Criterio	Resultados
<i>D</i> , (profundidad de la oquedad, en mm)	$0 \leq D \leq 10$	Bloque apto
	$D > 10$	Bloque no apto

Tomado de la norma UNE 41410, 2008, España.

Ilustración 15 : Ensayo de erosión acelerada de Swinburne.



Tomado de la norma UNE 41410, 2008, España.

Otros autores y normas presentan métodos y pautas alternativos para medir la erosión. “Handbook of Building Homes of Earth”, por ejemplo, utiliza un procedimiento diferente anterior y los criterios de rechazo varían en función de la precipitación anual de la zona.

Resistencia a ciclos de humectación–secado

La UNE 41410 especifica el ensayo para verificar si los bloques permanecerán íntegros frente a la acción cíclica de humectado-secado a las que estarán expuestos. La prueba consiste en someter bloques a 6 ciclos y observar si el deterioro es aceptable según parámetros de esta misma norma.

Conductividad térmica

Los BTC presentan una baja conductividad térmica ($0.46 \text{ W/m}^\circ\text{C}$), esto lo convierte en un material más aislante que el ladrillo cocido ($0.8 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) y que los bloques de hormigón ($0.8 \text{ W/m}^\circ\text{C}$). Esta es una importante ventaja, significa que dentro de casas construidas con BTC se gozaría de una temperatura más fresca que la del exterior en los tiempos calurosos, o más cálida en los tiempos cuando la temperatura sea baja. El coeficiente de conductividad del BTC puede variar conforme a la calidad del bloque. La norma UNE-EN 1745 explica ensayos referentes a este aspecto.

Durabilidad

La construcción con tierra nació hace varios siglos y, aun sin contar con los mecanismos de fabricación, clasificación y de prueba actuales, muchas obras siguen en pie como muestra de su durabilidad. Los ensayos de erosión hídrica, hielo/deshielo y humectación/ secado nos dan una idea acerca de la durabilidad ya que el agente agresor más influyente al que está expuesto el BTC es el agua.

En general lo que determina la durabilidad del bloque son la cantidad de estabilizante químico como son el cemento y la cal, el grado de compactación (mientras más compactado más resistente), la granulometría del material y el grado de explosión al agua .

Ejemplos de la durabilidad son el muro de tapial de la antigua muralla china La ciudadela de Arg-é Bam, Iran : la estructura de adobe más grande del mundo (500 a. C), destruida por un terremoto en 2003.

Ilustración 16 sección de la muralla china construida en tapial.



Tomado de http://geotecnia-sor.blogspot.com/2011_06_26_archive.html

Ilustración 17: ciudadela de Arg-é Bam



Tomado de <http://gorgopanta.blogspot.com/2010/12/europa-asia.html>.

Los bloques de tierra comprimida representan el método de construcción con tierra más confiable de todos, además el único utilizado en estructuras antisísmicas, un buen diseño de mezcla garantiza una durabilidad considerable si se toma en cuenta que los casos presentados en las imágenes, construidos sin el control técnico actual. También pueden ser observados la Zona Colonial de Santo Domingo tapiados aun en pie.

Maquinaria

Las maquinas utilizadas son prensas automáticas, o prensas de mano. Un aspecto muy importante que convierte a los BTC en una técnica de autoconstrucción es la sencillez y bajo costo de estas últimas. Para producción masiva es conveniente maquinas más sofisticadas ya sean eléctricas o de combustión. Un adelanto notable de la ingeniería en 2013 fue la Vermeer BP714, esta máquina produce un bloque cada 15 segundos con una resistencia de un 20% a 30% mayor que los bloques de cemento normalizados, según la revista Popular Science. Esto es debido a la alta presión que aplica lo cual además reduce el contenido de agente estabilizador en comparación con los bloque fabricados con otras prensas. Su costo es alrededor de \$26,700 US.

Existe gran diversidad de prensas en el mercado desarrolladas en distintos países, sin embargo es posible y resulta sencillo fabricarlas si se cuenta con algún conocimiento sobre herrería. En internet se disponen planos con este fin. El más comúnmente encontrado se el juego de planos de la CETARAM, prensa desarrollada en Honduras.

La CINVARAM desarrollada en Colombia, la AURAM PRESS 3000 en India, TERRABLOCK en USA son algunas prensas encontradas en el mercado. La presión que estas aplican y rendimientos varían y los precios oscilan alrededor de los \$900 US.

Ilustración 18: Vermeer BP714



Vermeer BP714. Tomado de <http://www.popsci.com/bown/2013/product/vermeer-bp714>

Bloques de hormigón

Los bloques de hormigón esta constituidos por cemento, agregado fino (arena) y agregado grueso (grava).para una resistencia dada, la cantidad de cemento dependerá de las propiedades físicas de los agregados, como la granulometría y la absorción, y de la trabajabilidad deseada. Los tamaños comerciales más utilizados son los conocidos como “block de 4”, “block de 6” y “block de 8”, estos son huecos y las medidas son mostradas en las tablas.

Block de 8"

Medidas Nominales:		
Ancho	8 pulgadas	20.32cms.
Alto	8 pulgadas	20.32cms
Largo	16 pulgadas	40.64cms

Tomado de:
<http://www.panablock.com/>

Block de 4"

Medidas Nominales:		
Ancho	4 pulgadas	10.16cms.
Alto	8 pulgadas	20.32cms
Largo	18 pulgadas	45.72cms

Tomado de:<http://www.panablock.com/>

Block de 6"

Medidas Nominales:		
Ancho	6 pulgadas	15.24cms.
Alto	8 pulgadas	20.32cms
Largo	18 pulgadas	45.72cms

Tomado de: <http://www.panablock.com/>

La resistencia, absorción y demás características varían y deben ser especificadas por el fabricante. Los parámetros de control de calidad considerados están contenidos en las normas ASTM C129, ASTM C90 y R-027. Los bloques estructurales son calificados en grado N si son aptos para muros vistos o en grado S en caso contrario. Los grados mencionados pueden ser tipo I o tipo II si son sometidos a control de humedad y o no respectivamente. La tabla 9 muestra los requerimientos de resistencia y absorción.

Tabla 9 resistencia y absorción para bloques estructurales de hormigón

Strength and Absorption Requirements						
NOTE—To prevent water penetration protective coating should be applied on the exterior face of basement walls and when required on the face of exterior walls above grade.						
Grade	Compressive Strength min, psi (MPa)		Water Absorption, max, lb/ft ³ (kg/cm ³) (Average of 3 Units) with Oven-Dry Weight of Concrete, lb/ft ³ (kg/cm ³)			
	Average Gross Area		Weight Classification			
	Average of 3 Units	Individual Unit	Light weight		Medium weight Less than 125 to 105 (2002 to 1682)	Normal Weight 125 (2002) or More
			Less than 85 (1362)	Less than 105 (1682)		
N-I	1000 (6.9)	800 (5.5)	18 (29)	15 (24)	13 (21)
N-II						
S-I ^a	700 (4.8)	600 (4.1)	20 (32)
S-II ^a						

^a Limited to use above grade in exterior walls with weather-protective coatings and in walls not exposed to the weather.

Tomado de ASTM C90

Según la norma dominicana R-027 los bloques estructurales deben cumplir con lo expuesto en la siguiente tabla tomada de la misma norma.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL BLOCK (f'_b)
(Sobre la base de área bruta)

TIPO	USO	OBSERVACIÓN	f'_b (Kg/cm ²)
I	Edificaciones que no excedan 4 niveles.	Bloques industrializados con control de calidad.	50 60
II	Edificaciones mayores a 4 niveles.	Bloques industrializados con control de calidad, y que por lo menos el 90% de las piezas ensayadas cumpla con el valor mínimo de este intervalo.	≥ 70

Capítulo III: Marco metodológico

Hipótesis

“La tierra comprimida estabilizada cumple con los requisitos de resistencia normalizados para bloques estructurales”.

Variables

Variable	Definición	Indicador	Escala
Resistencia a compresión	Presión máxima que soporta un elemento sometido a compresión antes de la rotura	Cantidad	Numérica
Humedad optima	Cantidad de agua con la cual se obtiene la densidad máxima del material	Cantidad	Numérica
Densidad máxima	Peso volumétrico máximo obtenido mediante compactación	Cantidad	Numérica
Porcentaje de estabilizador	Porcentaje de estabilizador químico en función del peso seco de la muestra	Cantidad	Numérica
Tipo de suelo	Clasificación del material terreo en función de su textura y plasticidad	Tipos de suelo según SUCS Y ASSHTO	Nominal

Tipo de investigación

Experimental: se describirán y analizarán los datos obtenidos de los diferentes ensayos y pruebas experimentales, observando la relación entre las variables para demostrar la hipótesis establecida.

Pruebas y ensayos realizados

Las pruebas y ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Suelo y materiales de la Universidad Nacional Pedro Enríquez Ureña (UNPHU), P&R Ingeniería y Roberto Herrera y asociados, son las siguientes:

- Estados de consistencia según Atterberg según ASTM D-423 Y ASTM D-424 (UNPHU)
- Lavado por el tamiz 200, ASTM C-117 (UNPHU)
- Granulometría, ASTM C-136 (UNPHU)
- Determinación de las características de compactación (ensayo Proctor modificado) ASTM D-1557y ASTM D-558. (UNPHU, P&R Ingeniería y Roberto Herrera y asociados,)
- Obtención de la resistencia a compresión no confinada cilindros y ASTM D-1633 (P&R Ingeniería)

Muestra

Se eligieron al azar dos muestras diferentes de material terreo de los siguientes lugares:

- Municipio Guaranas , provincia Duarte.
- Municipio Boca Chica , provincia Santo Domingo.

Técnicas y equipo

Se extrajo el material terreo que se encontraba a 1 metro de profundidad con el fin de evitar la materia orgánica presente en la superficie.

Los equipos utilizados son los descritos en los ensayos normalizados ya mencionados: balanzas digitales, copa y ranurador de Casa Grande, hornos, moldes para suelo cemento y equipo para Proctor modificado, bandejas y platillos, tamices. La máquina para romper las probetas fue un TEST MARK modelo CM-3000-DRI.

Se moldearon probetas de utilizando la energía de compactación del ensayo Proctor modificado. Para fines de comparación con las tecnologías de compactación disponible en el mercado y, debido a la variación de las mismas, es posible que sea necesario utilizar energías de compactación menores o mayores que las de este ensayo. Sin embargo se ha elegido este procedimiento considerando que se adapta a la mayoría de las prensas comerciales.

Capitulo IV: Resultados

Identificación y clasificación de suelos

Para esto se realizaron ensayos granulométricos y de límites de consistencia definidos por Attemberg a las muestras de suelo conforme las normas ASTM C117-13, ASTM C136-06 y ASTM D-4318 descritas en las en la página 23 y en la página 21 para luego, con los resultados obtenidos, identificar el tipo de suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y ASSHTO. Se realizó ensayos granulométricos a las muestras en estado natural y se terminó la granulometría resultante de extraer los granos mayores de 19 mm.

Ensayos granulométricos

Muestra 1

COMPOSICION GRANULOMETRICA DE LA MUETRA 1 (ASTM C-117/136)

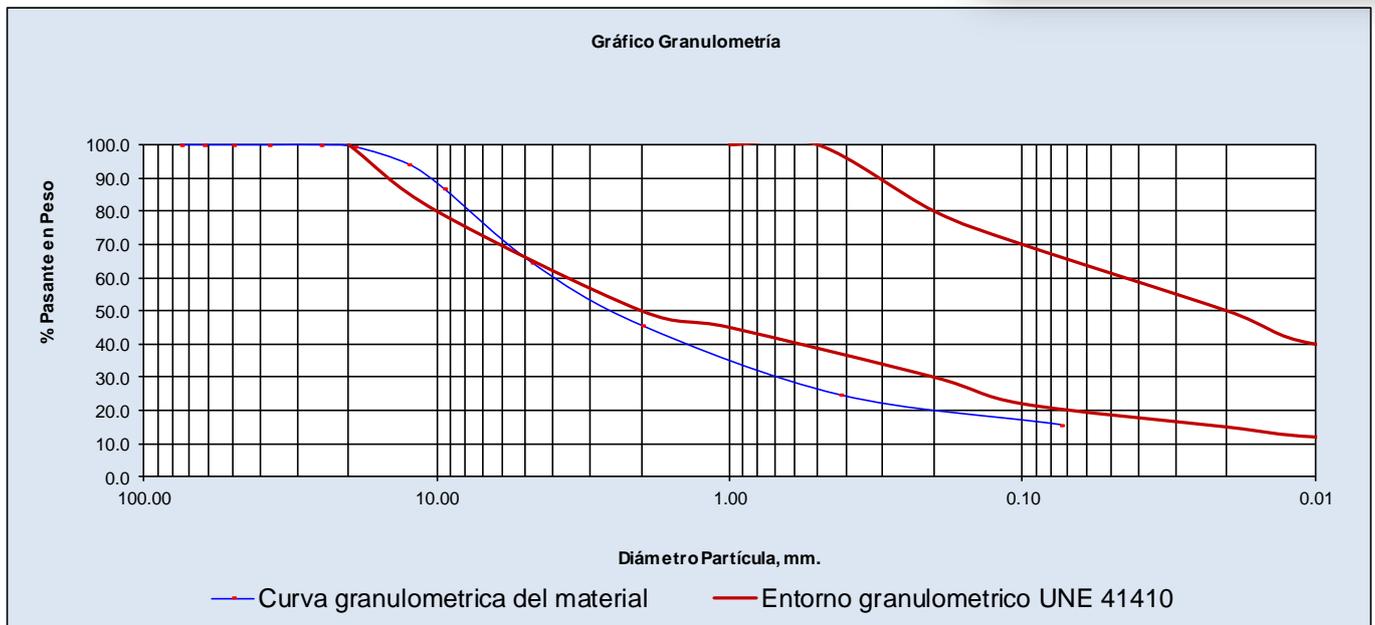
DESCRIPCION: Arena limosa v arcillosa marron

PESO MUESTRA HUMEDA	3,672 g
PESO MUESTRA SECA	3,574 g
PESO AGUA	98 g
% HUMEDAD	2.73 %

PESO MUESTRA. 3,574 GRS.

TAMIZ	MODULO (ABERTURA EN MM)	PESO RETENIDO	PORCENTAJES (%)		
			RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0.0	0.00	0.00	100.0
2½"	63.00	0.0	0.00	0.00	100.0
2"	50.00	0.0	0.00	0.00	100.0
1½"	37.50	0.0	0.00	0.00	100.0
1"	25.00	0.0	0.00	0.00	100.0
¾"	19.00	22.8	0.64	0.64	99.4
½"	12.50	184.6	5.16	5.80	94.2
¾"	9.50	258.7	7.24	13.04	87.0
4	4.75	798.3	22.34	35.38	64.6
10	2.00	678.1	18.97	54.35	45.7
40	0.42	748.1	20.93	75.28	24.7
200	0.07	321.1	8.98	84.26	15.7

FOTO DE MUESTRA



D10 = 0.13
 D30 = 0.90
 D60 = 4.60

Cu = 35.38
 Cc = 1.35

GRAVA	35.38	%
ARENA	48.89	%
FINOS	15.74	%

CLASIFICACION SUCS: **SM-SC**

CLASIFICACION AASHTO: **A-2-4**

COMPOSICION GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA 1 EXTRAYENDO FRACCIONES DE 3/4" (ASTM C-117/136)

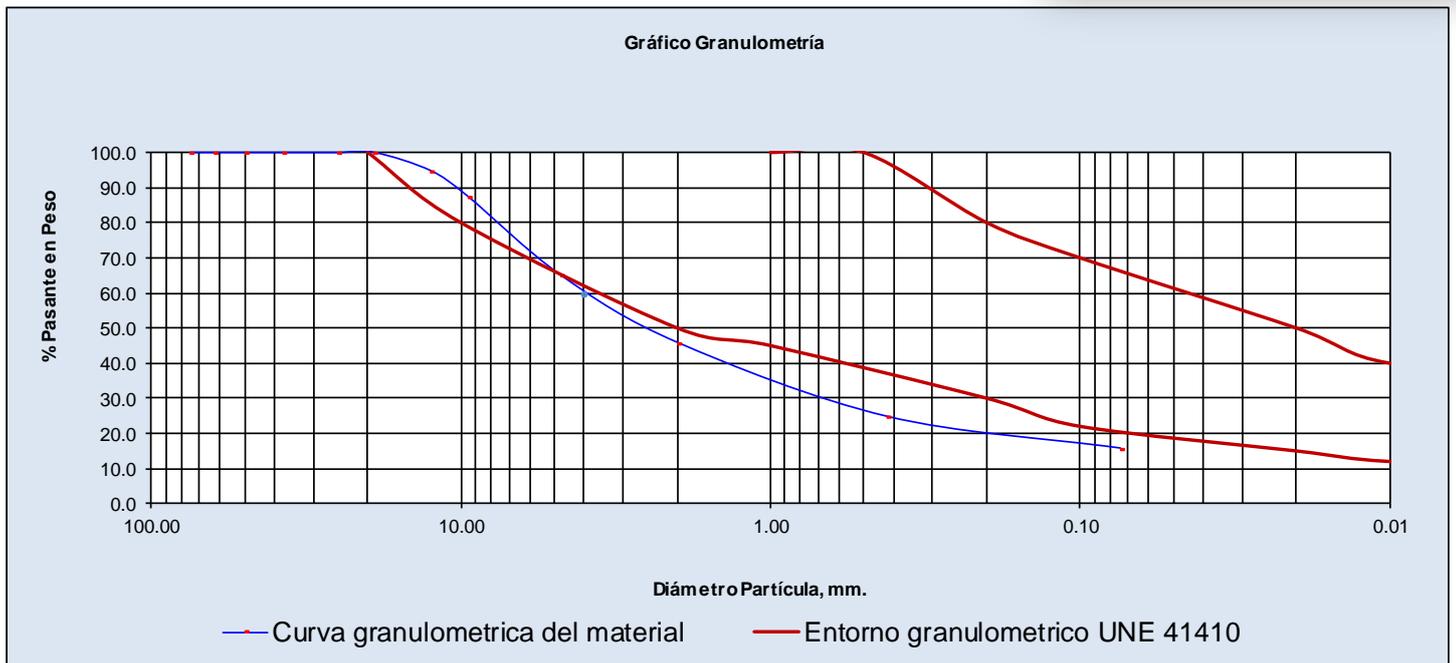
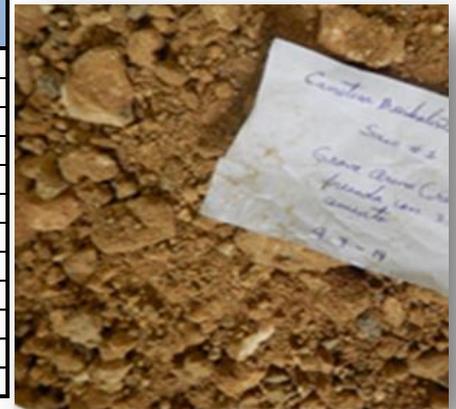
DESCRIPCION: Arena limosa v arcillosa marron

PESO MUESTRA HUMEDA	3,649 g
PESO MUESTRA SECA	3,551 g
PESO AGUA	98 g
% HUMEDAD	2.76 %

PESO MUESTRA. 3,551 GRS.

TAMIZ	MODULO (ABERTURA EN MM)	PESO RETENIDO	PORCENTAJES (%)		
			RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0.0	0.00	0.00	100.0
2½"	63.00	0.0	0.00	0.00	100.0
2"	50.00	0.0	0.00	0.00	100.0
1½"	37.50	0.0	0.00	0.00	100.0
1"	25.00	0.0	0.00	0.00	100.0
¾"	19.00	0.0	0.00	0.00	100.0
½"	12.50	184.6	5.20	5.20	94.8
⅜"	9.50	258.7	7.28	12.48	87.5
4	4.75	798.3	22.48	34.96	65.0
10	2.00	678.1	19.09	54.06	45.9
40	0.42	748.1	21.07	75.12	24.9
200	0.07	321.1	9.04	84.17	15.8

FOTO DE MUESTRA



D10 = - 4
 D30 = 0.70 60
 D60 = 4.00

Cu = -
 Cc = -

GRAVA	34.96	%
ARENA	49.20	%
FINOS	15.83	%

CLASIFICACION SUCS: **SM-SC**

CLASIFICACION AASHTO: **A-2-4**

MUESTRA 2

COMPOSICION GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA 2 (ASTM C-117/136)

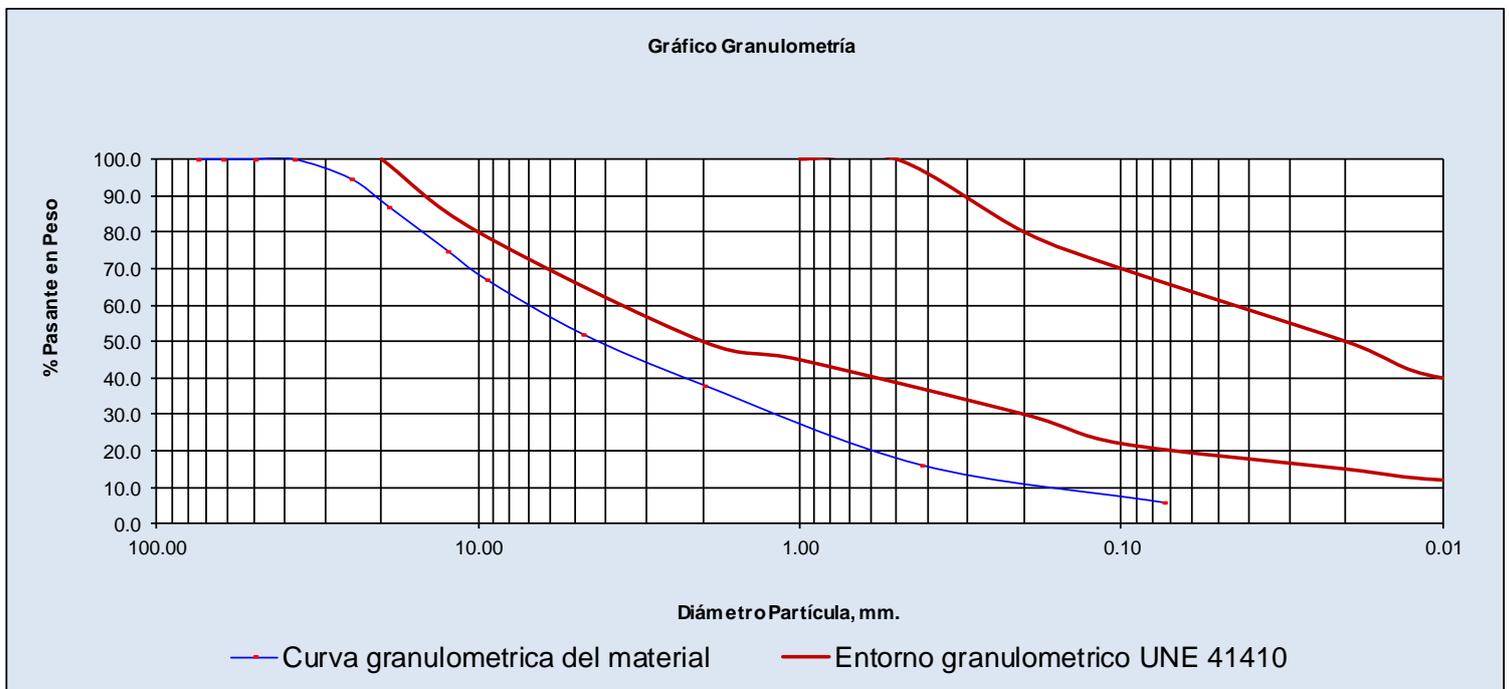
DESCRIPCION: Arena limosa v arcillosa marron

PESO MUESTRA HUMEDA	4,205 g
PESO MUESTRA SECA	4,164 g
PESO AGUA	41 g
% HUMEDAD	0.98 %

PESO MUESTRA. 4,164 GRS.

TAMIZ	MODULO (ABERTURA EN MM)	PESO RETENIDO	PORCENTAJES (%)		
			RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0.0	0.00	0.00	100.0
2½"	63.00	0.0	0.00	0.00	100.0
2"	50.00	0.0	0.00	0.00	100.0
1½"	37.50	0.0	0.00	0.00	100.0
1"	25.00	220.4	5.29	5.29	94.7
¾"	19.00	321.7	7.73	13.02	87.0
½"	12.50	499.3	11.99	25.01	75.0
⅜"	9.50	326.4	7.84	32.85	67.2
4	4.75	626.3	15.04	47.89	52.1
10	2.00	582.9	14.00	61.89	38.1
40	0.42	914.8	21.97	83.86	16.1
200	0.07	428.4	10.29	94.15	5.9

FOTO DE MUESTRA



D10 = 0.15
 D30 = 1.20
 D60 = 7.00

Cu = 46.67
 Cc = 1.37

GRAVA 47.89 %
 ARENA 46.26 %
 FINOS 5.85 %

CLASIFICACION SUCS: **GW-GC**

CLASIFICACION AASHTO: **A-1-a**

COMPOSICION GRANULOMETRICA DE LA MUETRA 2 EXTRAYENDO FRACCIONES DE 3/4" (ASTM C-117/136)

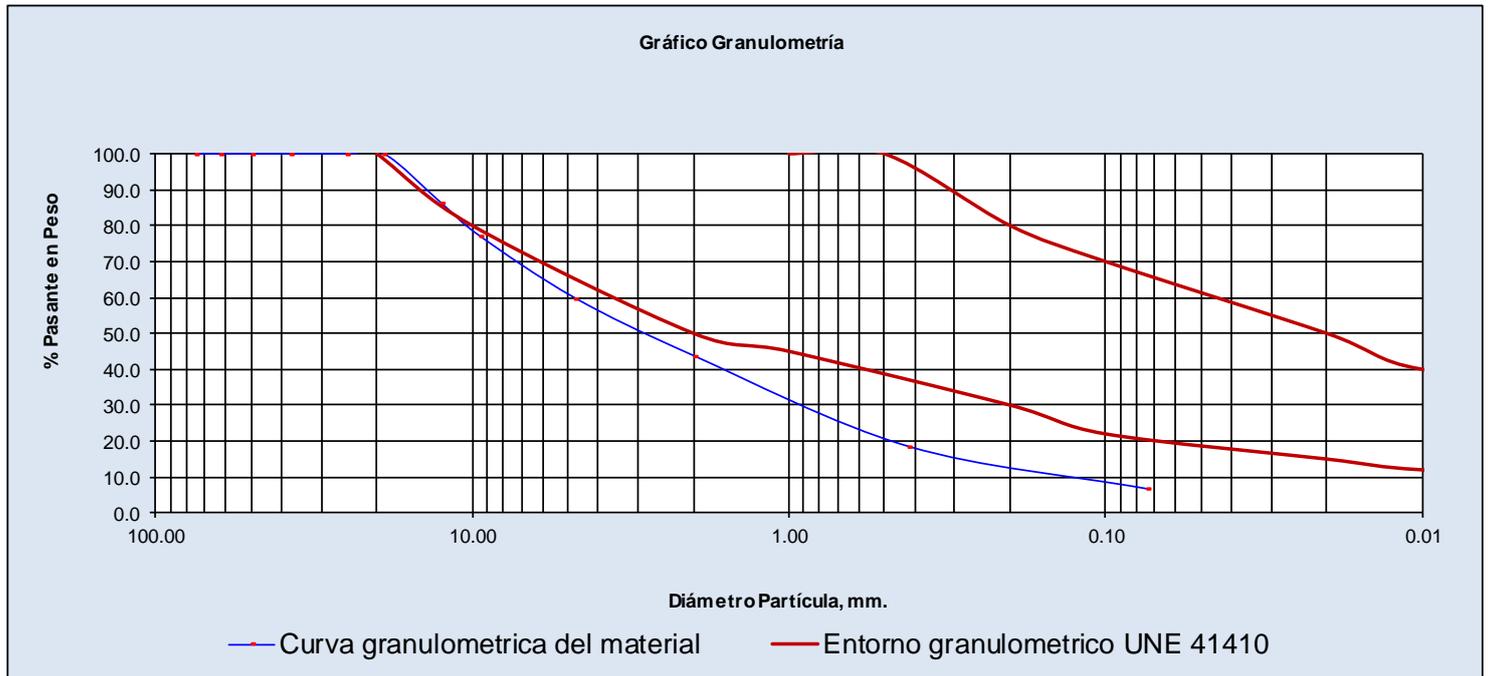
DESCRIPCION: Grava limosa marron

PESO MUESTRA HUMEDA	3,663 g
PESO MUESTRA SECA	3,622 g
PESO AGUA	41 g
% HUMEDAD	1.13 %

PESO MUESTRA. 3,622 GRS.

TAMIZ	MODULO (ABERTURA EN MM)	PESO RETENIDO	PORCENTAJES (%)		
			RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0.0	0.00	0.00	100.0
2½"	63.00	0.0	0.00	0.00	100.0
2"	50.00	0.0	0.00	0.00	100.0
1½"	37.50	0.0	0.00	0.00	100.0
1"	25.00	0.0	0.00	0.00	100.0
¾"	19.00	0.0	0.00	0.00	100.0
½"	12.50	499.3	13.79	13.79	86.2
⅜"	9.50	326.4	9.01	22.80	77.2
4	4.75	626.3	17.29	40.09	59.9
10	2.00	582.9	16.09	56.18	43.8
40	0.42	914.8	25.26	81.44	18.6
200	0.07	428.4	11.83	93.27	6.7

FOTO DE MUESTRA



D10 = 0.13
D30 = 0.90
D60 = 4.60

Cu = 35.38
Cc = 1.35

GRAVA	40.09	%
ARENA	53.18	%
FINOS	6.73	%

CLASIFICACION SUCS:

GW-GM

CLASIFICACION AASHTO:

A-1-a

Límites de consistencia

ENSAYO LIMITE LIQUIDO (AASHTO T 89) Y LIMITE E INDICE PLASTICO (AASHTO T 90) MUESTRA 1

DESCRIPCION: Arena limosa arcillosa marron

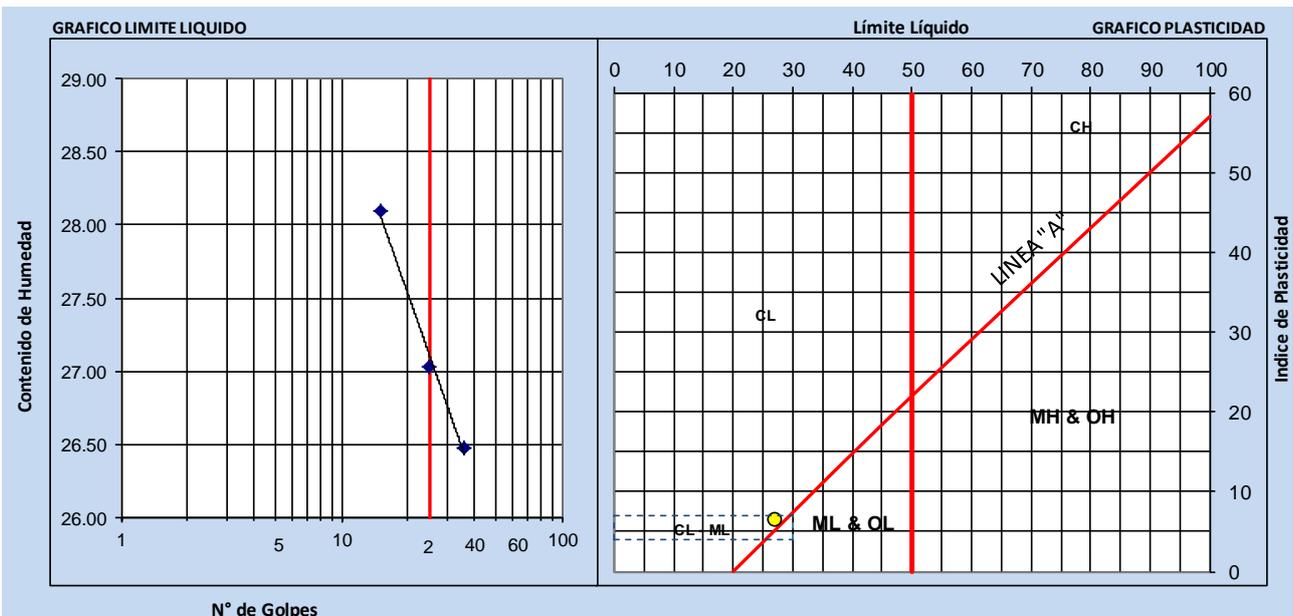
LIMITE LIQUIDO	No. de Golpes	15	25	36
	Platillo No.	CO 331	CO 329	CO 342
	Wt. Platillo + Suelo Hum	48.05	47.29	48.88
	Wt. Platillo + Suelo Seco	42.97	42.59	43.91
	Wt. del Agua	5.08	4.70	4.97
	Wt. del Platillo	24.89	25.20	25.14
	Wt. del Suelo Seco	18.08	17.39	18.77
	Cont. de Humedad %	28.10	27.03	26.48

PROMEDIO A 25 GOLPES 27.03%

LIMITE PLASTICO	Determinación			
	Platillo No.	CO 315	CO 316	CO 355
	Wt. Platillo + Suelo Hum	35.67	33.28	34.34
	Wt. Platillo + Suelo Seco	33.37	31.88	32.74
	Wt. del Agua	2.30	1.40	1.60
	Wt. del Platillo	25.08	25.18	24.80
	Wt. del Suelo Seco	8.29	6.70	7.94
	Cont. de Humedad %	27.74	20.90	20.15

PROMEDIO 20.52%

FOTO DE MUESTRA



RESUMEN	MUESTRA	% HUMEDAD	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	CLASIFICACION DE LOS FINOS
		-	27.03	20.52	6.51	CL-ML

El material de la muestra 2 no presenta límite plástico por lo que su fracción fina es limo.

Discusión sobre resultados de clasificación y aceptación

Las muestras estudiadas no clasifican por granulometría para la elaboración de bloques según el entorno granulométrico propuesto en la norma UNE 41410. Sin embargo no serán descartadas, puesto que las recomendaciones de “Handbook of Building Homes of Earth” con tierra y Auroville Earth Institute califican estos materiales como aceptable. Cabe destacar que los límites granulométricos de UNE 41410 son aproximaciones por lo tanto se halla prudente probarlos en la elaboración de bloques antes de su rechazo o aprobación. Si los resultados no son satisfactorios, ya sea por su costo, cantidad de estabilizador o su resistencia, estos materiales serán estabilizados físicamente mediante la adicción de otro tipo de suelo que posea las fracciones requeridas para el ajuste de la curva. La muestras 2 tampoco clasifica por su bajo contenido de finos (< 10%).

Selección del tipo y la cantidad de estabilizador

El estabilizador químico seleccionado es el recomendado por la Tabla 7: Tabla *para determinar el agente estabilizador* del manual Soil Stabilitation for Pavement, Deparment en la página 36. Dada las granulometrías y plasticidades de las muestras el estabilizante adecuado el cemento.

Los porcentajes iniciales de tanteó se seleccionaron tomando en cuenta las recomendaciones del Aruoville Earth Institute , considerando la granulometría resultante de un tamizado previo, ya que granos que queden retenidos en el tamiz de 3/4 de pulgada serán retirada para extraer la gravas muy grandes .las modificaciones de textura dependerá del tipo de suelo en el anexo tal se muestran ejemplos de estabilizaciones físicas para distintas muestra de suelo.

Los porcentaje de cemento de prueba serán 3% ,5%y 7% respecto al peso seco de la muestra 1, 4% para la muestra 2, no se tanteo con más porcentaje por que la cantidad de material fue obtenido fue insuficiente.

El criterio de selección será la resistencia a compresión simple. El porcentaje de mínimo de cemento que de mayor resistencia será el escogido. Es preciso notar que estos son menores o iguales que el 15% del peso seco de suelo conforme indica la UNE 41410. En la practica el porcentaje seleccionado será el que cumpla con los requerimiento de resistencia y durabilidad, no necesariamente los mayores. Cabe esperar una mayor resistencia a medida que se le aumenta la cantidad de cemento, no ocurriendo así con la cal debido a que existe un porcentaje de la misma a partir del cual no se presentan mejorías. Las tablas siguientes ofrecen un resumen de lo realizado.

Estabilización de la muestra 1

Peso de suelo (Kg)	Porcentaje de cal	Porcentaje de cemento	de agente estabilizador	Porcentaje total de agente estabilizador	Peso de estabilizador (Kg)
7.00	-	3.5%		3.5%	0.245
7.00	-	5%		5%	0.35
7.00	-	7%		7%	0.49

Estabilización de la muestra 2

Peso de suelo (Kg)	Porcentaje de cal	Porcentaje de cemento	de agente estabilizador	Porcentaje total de agente estabilizador	Peso de estabilizador (Kg)
7.00	-	4%		4%	0.28

Densidad y cantidad de agua

Se determinó la cantidad de agua y densidad máxima mediante el ensayo Proctor ASTM D558-03 para el porcentaje intermedio de tanteo (4%) en ambas muestras. El contenido óptimo de humedad así hallado también podrá utilizarse para los demás porcentajes de estabilizador según indica el manual de "Soil Stabilization for Pavement". Además se halló la densidad suelta para conocer el factor de cambio volumétrico el cual se utiliza para determinar el peso del material suelto necesario para obtener determinado un volumen compactado.

ENSAYO DE COMPACTACIÓN MUESTRA 1, 4% cemento (ASTM D-1557)

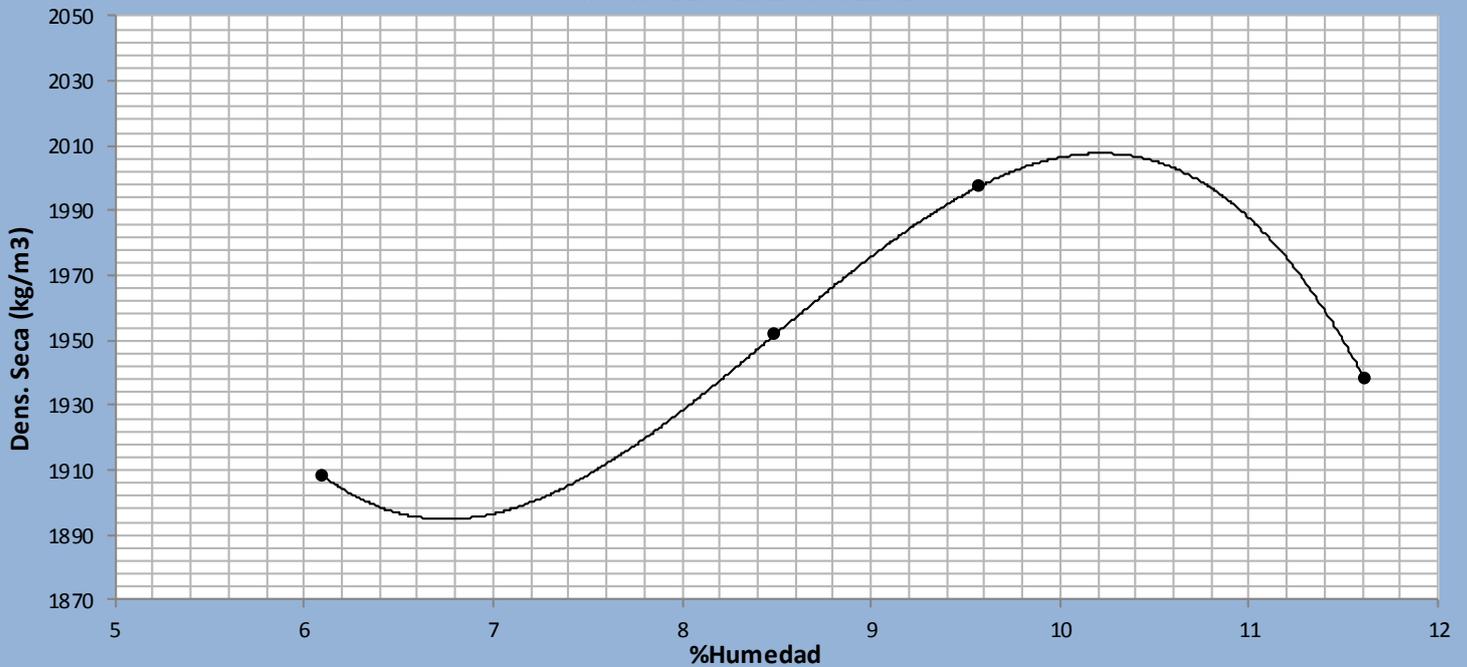
MOLDE NO.	8		58		56		6 PYR	
NO. DE CAPAS	5		5		5		5	
NO. GOLPES/CAPAS	56		56		56		56	
MAT. HUMEDO+MOLD.	8.442		8.601		8.780		8.737	
PESO MOLDE	4.191		4.167		4.163		4.195	
PESO MAT. HUMEDO	4.251		4.434		4.617		4.542	
VOLUMEN MUESTRA	0.002099621		0.002094121		0.002109699		0.002099621	
PESO UNITARIO HUM.	2,025		2,117		2,188		2,163	
CONTENIDO DE AGUA								
NO. DE ENVASE	314	315	316	317	319	320	320	322
PESO ENVASE	50.74	50.60	50.53	50.19	50.16	50.55	50.55	50.34
ENVASE + MAT. HUMEDO	390.80	376.70	378	397.6	347.90	364.20	357.80	336.80
ENVASE + MAT. SECO	371.40	357.80	352.1	370.7	322.00	336.70	325.20	307.60
PESO DEL AGUA	19.40	18.90	25.9	26.9	25.90	27.50	32.60	29.20
MATERIAL SECO	320.66	307.20	301.6	320.5	271.84	286.15	274.65	257.26
CONTENIDO DE AGUA (%)	6.05	6.15	8.59	8.39	9.53	9.61	11.87	11.35
PROMEDIO CONT. AGUA%	6.1		8.5		9.6		11.6	
PESO UNTARIO SECO	1908		1952		1997		1938	

FOTO DE MUESTRA



% Humedad	6.1	8.5	9.6	11.6			
Dens. Seca (Kg/m ³)	1908	1952	1997	1938			

CURVA DENSIDAD-HUMEDAD



DENSIDAD SECA MÁXIMA: 2008 Kg/m³

HUMEDAD ÓPTIMA: 10.2 %

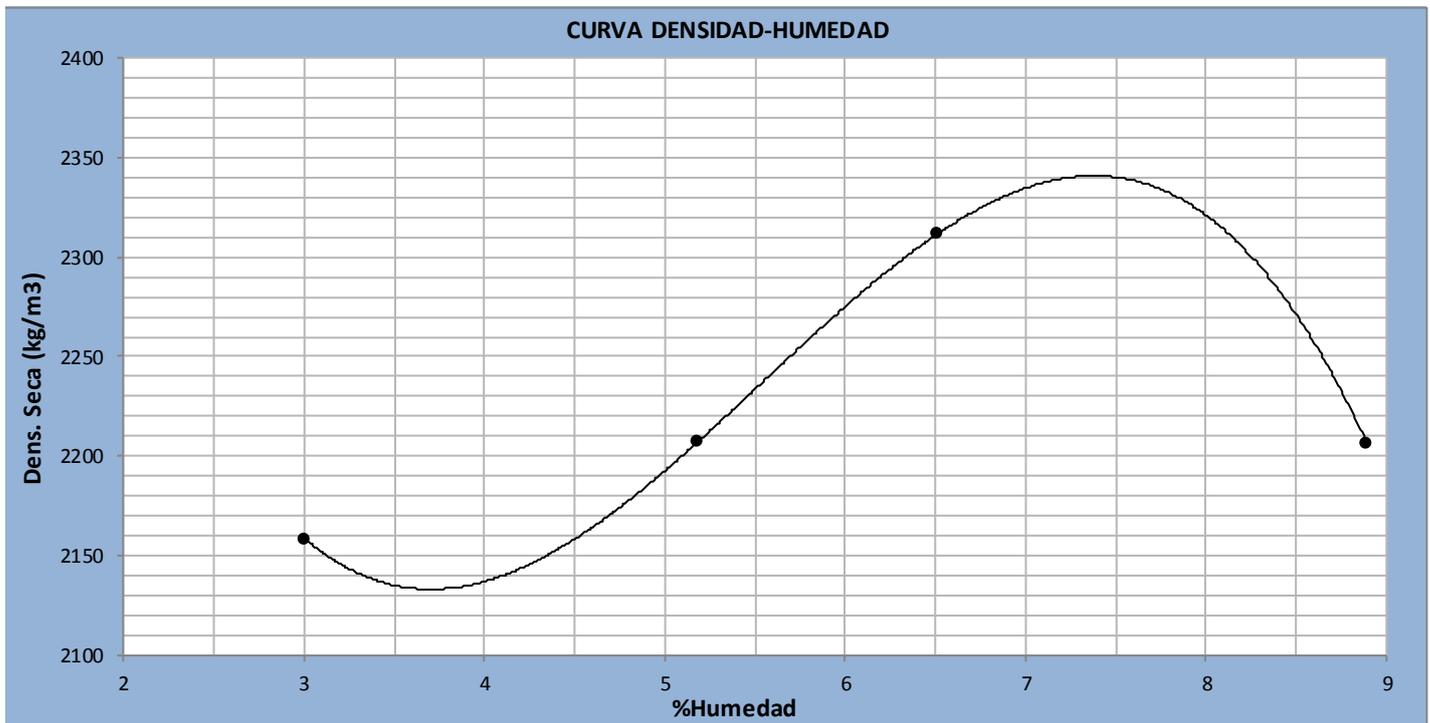
ENSAYO DE COMPACTACIÓN MUESTRA 2, 4% cemento (ASTM D-1557)

MOLDE NO.	2		2		2		2	
NO. DE CAPAS	5		5		5		5	
NO. GOLPES/CAPAS	56		56		56		56	
MAT. HUMEDO+MOLD.	7.511		7.717		8.012		7.887	
PESO MOLDE	2.8531		2.8531		2.8531		2.8531	
PESO MAT. HUMEDO	4.658		4.864		5.159		5.034	
VOLUMEN MUESTRA	0.00209522		0.00209522		0.00209522		0.00209522	
PESO UNITARIO HUM.	2,223		2,321		2,462		2,403	
CONTENIDO DE AGUA								
NO. DE ENVASE	351	328	317	326	330	318	321	332
PESO ENVASE	50.67	50.01	50.19	50.70	50.53	50.53	50.45	50.70
ENVASE + MAT. HUMEDO	427.90	413.40	381.00	387.50	351.70	399.10	477.50	482.20
ENVASE + MAT. SECO	417.00	402.70	365.00	370.60	333.80	377.20	441.80	447.80
PESO DEL AGUA	10.90	10.70	16.00	16.90	17.90	21.90	35.70	34.40
MATERIAL SECO	366.33	352.69	314.81	319.90	283.27	326.67	391.35	397.10
CONTENIDO DE AGUA (%)	2.98	3.03	5.08	5.28	6.32	6.70	9.12	8.66
PROMEDIO CONT. AGUA%	3.0		5.2		6.5		8.9	
PESO UNTARIO SECO	2158		2207		2312		2206	

FOTO DE MUESTRA



% Humedad	3.0	5.2	6.5	8.9			
Dens. Seca (Kg/m3)	2158	2207	2312	2206			



DENSIDAD SECA MÁXIMA: 2340 Kg/m³

HUMEDAD ÓPTIMA: 7.3 %

DENSIDAD SUELTA DEL MATERIAL 1 (ASTM C-29)

Envase No.	2	2	2		
Peso Mat. + Envase (kg)	16.024	16.100	16.080		
Peso de Envase (kg)	4.108	4.108	4.108	HUMEDAD DE LA MUESTRA	
Peso de Material (kg)	11.916	11.992	11.972	PESO MUESTRA HUMEDA	3,672 g
Peso Mat. Sin Humedad (kg)	11.590	11.664	11.644	PESO MUESTRA SECA	3,574 g
Volumen Envase (m ³)	0.00835	0.00835	0.00835	PESO AGUA	98 g
Densidad Suelta (kg/m ³)	1,388.10	1,396.90	1,394.57	CONTENIDO HUMEDAD %	2.7 %

Promedio Densidad Suelta

1,393.2

 (kg/m³)

Humedad de Muestra: 2.73 %

DENSIDAD COMPACTA DEL MATERIAL

Densidad Compacta

2,075.0

 (kg/m³)

Para 100% Compactacion

Densidad Compacta

1,971.3

 (kg/m³)

Para 95% Compactacion

Factor Cambio Volumétrico
De compacto a Suelto

1.49

Para 100% Densidad

Factor Cambio Volumétrico
De compacto a Suelto

1.41

Para 95% Compactacion

DENSIDAD SUELTA DEL MATERIAL 2 (ASTM C-29)

Envase No.	2	2	2		
Peso Mat. + Envase (kg)	18.117	18.190	18.100		
Peso de Envase (kg)	4.108	4.108	4.108	HUMEDAD DE LA MUESTRA	
Peso de Material (kg)	14.009	14.082	13.992	PESO MUESTRA HUMEDA	4,205 g
Peso Mat. Sin Humedad (kg)	13.871	13.943	13.854	PESO MUESTRA SECA	4,164 g
Volumen Envase (m ³)	0.00835	0.00835	0.00835	PESO AGUA	41 g
Densidad Suelta (kg/m ³)	1,661.25	1,669.86	1,659.19	CONTENIDO HUMEDAD %	1.0 %

Promedio Densidad Suelta

1,663.4 (kg/m³)

Humedad de Muestra:	0.98 %
----------------------------	--------

DENSIDAD COMPACTA DEL MATERIAL

Densidad Compacta

2,340.0 (kg/m³)

Para 100% Compactacion

Densidad Compacta

2,223.0 (kg/m³)

Para 95% Compactacion

Factor Cambio Volumétrico
De compacto a Suelto

1.41

Para 100% Densidad

Factor Cambio Volumétrico
De compacto a Suelto

1.34

Para 95% Compactacion

Mezclado y compactación

El mezclado se realizó con palas de mano teniendo especial cuidado en que quedara homogéneo. Primero se incorporaron los porcentajes seleccionados cemento a las muestras de suelo previamente secadas al aire, se adicionó el agua según el contenido óptimo, se utilizó la prueba de bola para verificar.

Curado

Las muestras se mantuvieron dentro de fundas plásticas cerradas para mantener la humedad, y se guardaron en un lugar fresco durante el tiempo de curado.

Resistencia a compresión

La cantidad de bloques de prueba recomendados está dado en función de la producción total. Según la UNE 41410 se recomienda tomar la muestra en función de la producción de bloques. Para esta investigación se probaron 2 probetas para cada porcentaje, las cuales fueron elaboradas según la norma ASTM D 1632-96. Las probetas tenían dimensiones de 12 cm de altura y 10 cm de diámetro. Las siguientes tablas muestran los resultados.

Rotura de Probetas Cilíndricas de Estabilización Suelo-Cemento por Compresión Simple, Muestra 2 (ASTM D-1633)

% Cemento	% Humedad óptima del Material	% Humedad Material (Después de la Rotura)	Peso (kg)	Densidad Seca (kg/m ³)	Carga Aplicada (kg)	Esfuerzo de Rotura (kg/cm ²)	Edad de probeta (días)
4.0%	7.3%	6.15	2085.38	2,120.64	3,440.00	37.28	7 DIAS
4.0%	7.3%	5.30	2085.00	2,119.01	5,180.00	56.14	28 DIAS
4.0%	7.3%	5.16	2149.60	2,151.82	4,120.00	44.56	28 DIAS

PROMEDIO A LOS 28 DIAS

50.35

**Rotura de Probetas Cilindricas
de Estabilización Suelo-Cemento por Compresión Simple, Muestra 1
(ASTM D-1633)**

% Cemento	% Humedad optima del Material	% Humedad Material (Despues de la Rotura)	Peso (kg)	Densidad Seca (kg/m ³)	Carga Aplicada (kg)	Esfuerzo de Rotura (kg/cm ²)	Edad de probeta (dias)
3.5%	10.2%	6.15	1940.90	1,973.72	2,500.00	27.09	15 DIAS
3.5%	10.2%	5.30	1958.70	1,990.65	2,450.00	26.55	15 DIAS

PROMEDIO A LOS 15 DIAS 26.55

% Cemento	% Humedad optima del Material	% Humedad Material (Despues de la Rotura)	Peso (kg)	Densidad Seca (kg/m ³)	Carga Aplicada (kg)	Esfuerzo de Rotura (kg/cm ²)	Edad de probeta (dias)
5.0%	10.2%	11.87	1999.10	1,879.49	2,140.00	26.71	15 DIAS
5.0%	10.2%	12.25	2009.26	1,879.18	1,720.00	21.47	15 DIAS

PROMEDIO A LOS 15 DIAS 21.47

% Cemento	% Humedad optima del Material	% Humedad Material (Despues de la Rotura)	Peso (kg)	Densidad Seca (kg/m ³)	Carga Aplicada (kg)	Esfuerzo de Rotura (kg/cm ²)	Edad de probeta (dias)
7.0%	10.2%	10.49	1970.92	1,924.77	3,660.00	45.68	15 DIAS
7.0%	10.2%	8.46	1924.80	1,879.85	3,300.00	41.19	15 DIAS

PROMEDIO A LOS 15 DIAS 41.19

Ilustración 19 probetas de suelo estabilizado con distinto porcentajes de cemento



Discusión

Por su resistencia a compresión promedio los suelos estabilizados de la muestra 2 clasifican como estructurales SI según la norma ASTM c-90 para bloques de hormigón. Según la UNE 41410 bloque tipo “5”, tipo “A” conforme el Auriville Earth Institute y tipo I para la norma R-027. Considerando lo anterior, se ha demostrado que este tipo de material es apto por su resistencia a compresión para su empleo en bloques estructurales.

Para la muestra 1 estabilizada con un 7% de cemento se obtuvo una resistencia promedio de 41 Kg/cm^2 para 15 días de curado, puede clasificarse este material por su resistencia como SI según la ASTM C-90 y “tipo B” para el Auriville Earth Institute. Si se considera que el cemento alcanza un 85% de su resistencia con esta edad, podría esperarse un aumento de la misma hasta alcanzar 53 Kg/cm^2 .

Se esperaba que 5% de cemento fuese la cantidad optima sin embargo se puede observar que la diferencia en la densidad de compactación con respecto a la máxima alcanzada en el Proctor es mayor que en las otras probetas y es probable que esto sea la causa de su baja resistencia. Las de 5% alcanzaron un 93% de la densidad máxima y las demás un 95%.

La cantidad de estabilizador mínima que produjo la resistencia estructural fue de un 4% y 7% en la muestra 1 y 2 respectivamente, cantidades de cemento muy por debajo de la que tendría un bloque de hormigón común.

El material térreo necesario para un bloque de 0.0157 m^3 (volumen aproximado de un block de 8”) con la densidad máxima de compactación de la muestra uno, $2,340 \text{ Kg/m}^3$, es 36.62 Kg. El 7% de este peso es la cantidad de cemento, esto es

2.56 Kg. El precio de un bloque con estas dimensiones es de aproximadamente 17.50 RD\$. Se podría establecer en ese caso un precio de $0.48 \text{ RD}\$/\text{Kg de tierra}$, esta relación sólo toma en cuenta el costo de cemento utilizado, la tierra se supone gratuita. Para elaborar un bloque de 0.0157 m^3 con el material de la muestra 2 compactado hasta llegar a su máxima densidad, $2,008 \text{ Kg}/\text{m}^3$, se necesitaran 31.53 Kg. La cantidad de cemento es un 4% del peso anterior, esto es 1.261Kg resultando un precio de 8.60 pesos o $0.27 \text{ RD}\$/\text{Kg de tierra}$. El precio del cemento considerado fue de 290 RD\$ la funda de 42.5 Kg.

Para la muestra dos se obtuvo una menor densidad y menor porcentaje de estabilizador que para la muestra uno, así como un precio más bajo por kilogramo de tierra. Es preciso notar que, para alcanzar la resistencia ambas requirieron una cantidad de cemento inferior al 15% establecido por la norma UNE 41410 a pesar de que ninguna quedó dentro del entorno granulométrico descrito por esta. Cabe esperar una economía mayor si se cumplen estas especificaciones de textura.

Las densidades alcanzadas fueron para la muestra 1 95% y 93% y para la muestra 2 aproximadamente un 90% de la densidad máxima. Esto se atribuye a un probable exceso de humedad en las muestras al realizar los ensayos, aun así las resistencia fueron satisfactorias.

Conclusión y recomendaciones

Dado los resultados obtenidos, se recomienda ensayar más suelos y realizar las pruebas de conductividad térmica, absorción, erosión y las pruebas mecánicas correspondientes con el fin de obtener un estudio completo del material y así evaluar su manejo y modificación según las condiciones y los requerimientos propios de la República Dominicana.

Es preciso determinar en qué medida reduce o afecta el impacto ambiental y en qué proyectos y métodos constructivos podría emplearse así como promover su publicidad y aceptación. Los bloques de tierra comprimida son una técnica que pueden dar buenos resultados en la lucha contra la falta de vivienda digna en el país, no sólo por su economía, también por su resistencia, sin embargo muy pocos lo conocen. Además, la arquitectura en tierra forma parte de muchos de los patrimonios tanto a nivel mundial como local, ejemplo de ello son algunas estructuras de la zona colonial de Santo Domingo. Se recomienda que las universidades incluyan en sus programas la construcción con tierra de manera análoga a la construcción con hormigón, metales y madera o simplemente se incorpore como una materia optativa. Considerando que no existen normas nacionales que contemplen este tipo de construcción ni la fabricación de BTC o alguna técnica de construcción con tierra, es preciso fomentar la investigación sobre este tema con el fin de desarrollar documentos que regulen su uso conjuntamente con una tecnología de compactación propia que se ajuste al método y a las condiciones de trabajo.

Bibliografía

1. R.B. Peck, W. E. Hanson, y T. H. Thornburn, *Ingeniería de Cimentaciones*, Mexico : Editora Limusa , 2009.
2. Rosario Etchebarne, Gabriela Piñeiro y Juan Carlos Silva, *Proyecto Terra Uruguay. Montaje de prototipos de vivienda a través de la utilización de tecnologías en tierra: adobe, fajina y btc.*
3. Karen Tatiana Arteaga Medina, Óscar Humberto Medina, Óscar Javier Gutiérrez junco, *Bloque de tierra comprimida como material constructivo* ,Revista Facultad de Ingeniería, UPTC, Julio-Diciembre de 2011, Vol. 20,No. 31.
4. Norma ASTM C51-11, Standard Terminology Relating to Lime and Limestone (as used by the Industry), United States : ASTM international 2011.
5. Voluntarios en Asistencia Técnica (VITA), *fabricación de bloques de construcción con la prensa cinva EE.UU: VITA INC. 1977.*
6. Norma UNE 41410 , *Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques , definiciones , especificaciones y métodos de ensayo. España: AENOR, 2008.*
7. Lyle A. Wolfskill, Wayne A. Dunlop and Bob M. Callaway, *Handbook for Building Homes of Earth* , USA: Texas A & M university 1981.
8. Soil Stabilization for Pavement, Department of the Army, the Navy, and the Air force, USA ,October 1994.
9. Norma ASTM D558-03 Standard Test Methods for Moisture-Density (Unit Weight) Relations of Soil-Cement Mixtures ,United States : ASTM international 2003
10. Norma ASTM D 559 – 03, Standard Test Methods for Wetting and Drying Compacted Soil-Cement Mixtures, United States : ASTM internacional 2003
11. Norma ASTM D 1633 – 00 , Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylind, United States: ASTM international 2000.
12. Norma ASTM D 2488 – 00, Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure), United States: ASTM international 2000.
13. Norma ASTM D 1632-96 Standard Practice for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure Test Specimens in the Laboratory.

14. Gabi Barbeta mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo xxi ANY 2002
15. Manual de estabilización con cemento o cal, España: Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones
16. Luis Guerrero, Rubén Salvador, Francisco Soria, ventajas constructivas del uso de tierra comprimida y estabilizada en México, palapa vol.V, num, 10 enero-julio 2010 pp. 45-57, Universidad de Colima , Colima, Mexico
17. Norma ASTM E- 2392-10, Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems, United States: ASTM international 2010.
18. Norma ASTM Standard Practice for Capping Concrete Masonry Units, Related Units and Masonry Prisms for Compression Testing, United States: ASTM international 2000.
19. Jaime Jesus Cid Falceto, *Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de erosión y absorción*, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid 2014.
20. Auroville Earth Institute, *AVI technologies, Compressed Stabilised Earth Block*. <http://www.earth-auroville.com>.
21. Auroville Earth Institute, *building whit earth, raw materials*. <http://www.earth-auroville.com>.
22. Auroville Earth Institute, *building whit earth, technique overview*. <http://www.earth-auroville.com>.
23. Roberto E. Lou Ma, *manual para la construccion de la CETA RAM*, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 1981.
24. José Toirac Corral, *el suelo-cemento como material de construcción*, Ciencia y Sociedad, vol. XXXIII, núm. 4, octubre-diciembre, 2008, pp. 520-571
25. Las normativas de construcción con tierra en el mundo, Informes de la Construcción Vol. 63, núm. 523, 159-169, julio-septiembre 2011.
26. Norma NBR 10833 Fabricação de tijolo maciço e blocovazado de solo-cimento com utilização de prensa hidráulica, Brasil:1989.
27. Domingo acosta La Mampostería de Bloques de Suelo-Cemento: ¿Tecnología Apropriada para la Producción Masiva de Viviendas de Interés Social? Tecnología y Construcción. Vol. 16, núm. 1, pp. 19-30, 2000.

28. Sandra Castells, Emilo Laperal , *bloques de tierra comprimida en el proyecto del centro del adulto mayor de San José de Chiquitos*, Bolivia. España: Universidad Internacional de Cataluña, 2011.
29. Norma ASTM D-4328 determinación del límite líquido límite plástico e índice de plasticidad United States: ASTM international .
30. Norma ASTM D-1557 ensayo de compactación esfuerzo modificado (4.54 Kg) United States: ASTM international.
31. Norma ASTM D-698 ensayo de compactación esfuerzo estándar (2.45 Kg) United States: ASTM international .

