



**FABRICACIÓN Y REFORZAMIENTO DE BLOQUES DE TIERRA
COMPACTADA (BTC) EN BOGOTA BAJO LA REUTILIZACIÓN DE LAS
FIBRAS DE LA POLI SOMBRA**

Lizeth Giovanna Barrera Martínez

Francy Nataly Buitrago Martin

Universidad La Gran Colombia

Facultad de Arquitectura

Bogotá D.C., Colombia

2014

BLOQUES DE TIERRA COMPACTADA REFORZADO CON POLI SOMBRA

**FABRICACIÓN Y REFORZAMIENTO DE BLOQUES DE TIERRA
COMPACTADA (BTC) EN BOGOTA BAJO LA REUTILIZACIÓN DE LAS
FIBRAS DE LA POLI SOMBRA**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título

de:

Arquitectas

Lizeth Giovanna Barrera Martínez

Franco Nataly Buitrago Martin

Director (a):

Arq. José Alcides Ruiz

Línea de Investigación:

Hábitat tecnológico e innovación.

Universidad La Gran Colombia

Facultad de Arquitectura

Bogotá D.C., Colombia

2014

BLOQUES DE TIERRA COMPACTADA REFORZADO CON POLI SOMBRA

Dedicatoria

A mi madre

A tu paciencia y comprensión, preferiste sacrificar tu tiempo para que yo pudiera cumplir con el mío. Por tu bondad y sacrificio me inspiraste a ser mejor para ti, ahora puedo decir que esta tesis lleva mucho de ti, gracias por estar siempre a mi lado.

Agradecimientos

El presente trabajo de tesis lo agradecemos a la Universidad La Gran Colombia por darnos la oportunidad de estudiar y ser profesionales.

A nuestro director de investigación y tesis de grado Arq. José Alcides Ruiz por todo su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, experiencia, paciencia han logrado que podamos terminar nuestros estudios con éxito.

A el Profesor y Arquitecto Andrés González por su paciencia y dirección en el proceso de la realización de la tesis

A el Arq. Darío Angulo dueño de Tierra Tec, que quien por su visión crítica, rectitud en su profesión como arquitecto nos permitió desarrollar parte de nuestra investigación en su empresa y con su equipo de trabajo.

BLOQUES DE TIERRA COMPACTADA REFORZADO CON POLI SOMBRA

Resumen

El reforzamiento estructural de Bloques de Tierra Compactada con fibras de polisombra reutilizada se realizó en un principio de manera deductiva donde se observó que los bloques no respondían de manera estructural, por lo cual fue necesario en este caso reforzarlo y estabilizarlo con fibras de polisombra reutilizada que cumplen con las características necesarias para hacer el refuerzo, así mismo el material tierra y los bloques con polisombra fueron sometidos a pruebas y ensayos de laboratorio para dar como resultado el mejoramiento de su resistencia a compresión donde su resultado fue de $41,87 \text{ kg f/cm}^2$, superando la norma NTC 4017 donde lo mínimo es de 20 kg f/cm^2 .

Palabras clave:

Bloques

Tierra.

Reciclaje.

Plástico.

Estructura.

BLOQUES DE TIERRA COMPACTADA REFORZADO CON POLI SOMBRA

Abstract

The structural reinforcement of Earth Blocks Compacted fiber reused polisombra was performed initially deductively where it was observed that the blocks did not respond structurally, so it was necessary in this case reinforce and stabilize fiber polisombra reused to meet the necessary features to make the reinforcement, also the material earth and polisombra blocks were subjected to laboratory tests and trials to result in improved resistance to compression where the result was 41.87 kg f / cm², exceeding the standard NTC 4017 where the minimum is 20 kg f/cm².

Keywords:

Blocks

Earth.

Recycling.

Plastic.

Structure.

BLOQUES DE TIERRA COMPACTADA REFORZADO CON POLI SOMBRA

Contenido

Pág.

Resumen

Lista de figuras y figuras

Lista de Símbolos y abreviaturas

<u>Introducción</u>	1
<u>Antecedentes</u>	2
<u>Formulación</u>	5
<u>Justificación</u>	7
<u>Objetivos</u>	10
<u>Marcos referenciales</u>	11
<u>Construcciones en tierra</u>	24
<u>Generalidades del material tierra</u>	25
<u>Procesos heterogéneos de tierra con otros materiales</u>	26
<u>Estabilización sin aportes de estabilizante</u>	28
<u>Bloques de Tierra Compactada</u>	35
<u>Materiales del BTC</u>	36
<u>Ciclo Global de vida del BTC</u>	38
<u>Proceso de producción del BTC</u>	39
<u>Bloque de tierra compactada características</u>	47
<u>Producción</u>	48
<u>Características de las prensas</u>	48
<u>Tipos de prensas</u>	48
<u>Otras Características</u>	49
<u>Poli Sombra para BTC</u>	52
<u>Propiedades Generales de la Poli sombra</u>	52

BLOQUES DE TIERRA COMPACTADA REFORZADO CON POLI SOMBRA

<u>Características de la Poli sombra</u>	<u>53</u>
<u>Propiedades Generales</u>	<u>54</u>
<u>Proceso de reciclaje de la Poli sombra</u>	<u>56</u>
<u>Pruebas de campo</u>	<u>60</u>
<u>Ensayos de laboratorio para caracterizar el material tierra</u>	<u>72</u>
<u>Ensayo de granulometría</u>	<u>72</u>
<u>Limites de Atterbeg</u>	<u>78</u>
<u>Limite plástico</u>	<u>78</u>
<u>Límite liquido</u>	<u>82</u>
<u>Pruebas de laboratorio para mampuestos</u>	<u>88</u>
<u>Prueba de compresión</u>	<u>88</u>
<u>Prueba de absorción de agua</u>	<u>90</u>
<u>Prueba de peso unitario</u>	<u>93</u>
<u>Prueba de abrasión</u>	<u>95</u>
<u>Recomendaciones y conclusiones</u>	<u>101</u>
<u>Conclusiones</u>	<u>101</u>
<u>Recomendaciones</u>	<u>105</u>
<u>Bibliografía</u>	<u>106</u>

BLOQUES DE TIERRA COMPACTADA REFORZADO CON POLI SOMBRA

Lista de Tablas y Figuras

Tablas

Tabla 1 Resultado de ensayos a pilas y muretes de BTC	13
Tabla 2 Materia prima utilizada en Tescol	22
Tabla 3 Características BTC estabilizados e inestabilizados	32
Tabla 4 Diferencias entre adobe y BTC	34
Tabla 5 Proporción optima de cada componente de la tierra para BTC	36
Tabla 6 Fases de producción del BTC	39
Tabla 7 Análisis y pruebas de la tierra	40
Tabla 8 Ficha técnica BTC de Tierra Tec	45
Tabla 9 Comparación características del polietileno de alta densidad y baja densidad	53
Tabla 10 Síntesis de los resultados de las pruebas de campo del material tierra	71
Tabla 11 Orden de los tamices utilizados en la prueba de granulometría	74
Tabla 12 Análisis granulométrico del material	77
Tabla 13 Análisis limite plástico	82
Tabla 14 Análisis limite liquido	87
Tabla 15 Requerimientos mínimos para bloques de tierra prensada	88
Tabla 16 Análisis resultados prueba de compresión	90
Tabla 17 Análisis resultado prueba absorción de agua	93

BLOQUES DE TIERRA COMPACTADA REFORZADO CON POLI SOMBRA

Tabla 18 Resultados peso unitario	95
Tabla 19 Resultado prueba de abrasión	98
Tabla 20 Resumen de resultados pruebas de laboratorio de mampuestos	99
Tabla 21 Comparación resultados de las pruebas de mampuestos entre los requisitos de la norma NTC 4017, nuestra propuesta y los BTC fabricados en Tierra Tec	100

Figuras

Figura 1 Sectores que generan desechos	8
Figura 2 Ensayo a compresión y flexión lateral	12
Figura 3 Prueba de laboratorio a compresión	16
Figura 4 Comparación de un ladrillo cocido con un BTC	17
Figura 5 Prueba de laboratorio de muretes	20
Figura 6 Mezclado de materiales	42
Figura 7 Prensado para la producción de BTC	43
Figura 8 Fase del secado del BTC	44
Figura 9 Tipos de Poli Sombra	54
Figura 10 Recogida y separación de la Poli sombra	57
Figura 11 Acondicionamiento, reciclado y transformación de la Poli sombra	58

BLOQUES DE TIERRA COMPACTADA REFORZADO CON POLI SOMBRA

Figura 12 Propiedades del producto obtenido	59
Figura 13 Equipo requerido para realizar la prueba de inspección visual	60
Figura 14 Composición granulométrica de la tierra	61
Figura 15 Prueba sensación al tacto	62
Figura 16 Equipo requerido para prueba de sedimentación simplificada	63
Figura 17 Muestra de tierra con agua	64
Figura 18 Resultado prueba de sedimentación	65
Figura 19 Procedimiento prueba de la sacudida	66
Figura 20 Fabricación pastillas de tierra en copas plásticas	67
Figura 21 Pastillas oprimidas con los dedos	67
Figura 22 Procedimiento prueba del brillo	68
Figura 23 Procedimiento prueba del cordón	69
Figura 24 Procedimiento prueba de la cinta	70
Figura 25 Materiales y equipos para Granulometría	72
Figura 26 Procedimiento prueba de granulometría	75
Figura 27 Material y equipo prueba límite plástico	79
Figura 28 Procedimiento prueba límite plástico	81
Figura 29 Material y equipo requerido para la prueba del límite líquido	83
Figura 30 Procedimiento prueba límite líquido	86

BLOQUES DE TIERRA COMPACTADA REFORZADO CON POLI SOMBRA

Figura 31 Procedimiento prueba de compresión	89
Figura 32 Procedimiento prueba absorción de agua	92
Figura 33 Procedimiento prueba peso unitario	94
Figura 34 Procedimiento prueba de abrasión	97

BLOQUES DE TIERRA COMPACTADA REFORZADO CON POLI SOMBRA

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
<i>A</i>	Área	m ²	$\iint dx dy$
<i>C</i>	Longitud de la cuerda	M	Figura 3-4
<i>L</i>	Longitud	M	<i>DF</i>
<i>V</i>	Volumen	m ³	$\int dr^3$

Subíndices

Subíndice	Término
Bm	Materia orgánica
T	Total
wf	Libre de agua
Waf	Libre de agua y ceniza

Introducción

En la actualidad, el ladrillo se presenta como uno de los materiales más utilizados en la construcción como en cerramientos, fachadas y muros divisorios de viviendas. La disposición de los ladrillos en el muro se conoce como mampostería existiendo gran variedad de ellos por la facilidad que tienen al momento de construir. Los costos de construcción de mampuestos son altos con tendencia a incrementarse, lo que origina que cierta población no puede acceder a ellos. Para los sectores de altos ingresos actualmente existe una sobre oferta de materiales mientras que para los sectores de menos recursos algunos de esos materiales son inaccesible; en estos últimos sectores la autoconstrucción sigue siendo la alternativa constructiva más factible, sin embargo, debe contar con el apoyo técnico y financiero adecuado, permitiendo fabricar y realizar sistemas constructivos con materiales como el BTC reforzado estructuralmente con poli sombra obtenida de los desechos plásticos de la construcción y que son principales contaminantes del ambiente, formaría parte de una estructura que serviría de mampuesto, para infinidad de usuarios, siendo un material económico, duradero, resistente, ligero y térmico. Dicha implementación requiere un análisis previo de diferentes variables del material del mampuesto en el que competirá el nuevo material con los ya existentes, por lo cual todas las variables del material serán analizadas por medio de esta investigación, los resultados obtenidos servirán para establecer estrategias que se deberán desarrollar en la fábrica de los mampuestos con el reforzamiento por medio de la Poli sombra.

Antecedentes

La década del 60 se caracterizó por una serie de iniciativas, la presencia del presidente Kennedy en los Estados Unidos, el premier Krushev en la URSS, el papa Juan XXIII, el Concilio Vaticano II, la caída de la mayoría de los estados coloniales de Asia y África, hacía suponer un nuevo tiempo, en el marco de la Organización de Estados Americanos (OEA), miembros del Centro de Investigación de la Vivienda Americana (CINVA), tratarían de responder a la necesidad de la vivienda, tomando como referente el adobe (ladrillos de barro cocidos al sol) y las experiencias adquiridas en lo que se llama suelo cal y suelo cemento, habían aparecido los bloques de hormigón, donde sus contras eran: excesiva rigidez y mala tolerancia a las temperaturas extremas frío calor, por lo cual se planteó la idea de mezclar suelo tierra, agua y cemento y lo dejarlo secar al sol, lo ideal era tomar lo mejor del ladrillo, del bloque y el adobe eliminando todo tipo de problema en la producción del bloque evitando la emisión de gases y gastando menos energía, por lo cual se planteó la máquina Cinva Ram (por Ramírez, ingeniero colombiano jefe del proyecto). La máquina debía ser sencilla, fácil de armar y desarmar, de componentes simples y que con sólo el esfuerzo de las personas pudiera lograr un ladrillo de suelo – cemento, que combinara una excelente terminación como la del bloque, una muy buena capacidad térmica como el ladrillo y un costo muy bajo, como el adobe.

En el siglo XX, Frank Lloyd Wright trabajó en dos proyectos experimentales utilizando un sistema de mampostería llamado bloque textil: “Hollyhock House”, construida en 1921, y “Ennis-Brown House”, construida en 1924, cuyas formas se han extraído de la arquitectura precolombina indígena. Las consideraciones materiales para la casa Ennis Brown son en algunos aspectos diferentes de los de la Hollyhock House. Los bloques de textiles para la casa Ennis-Brown se produjeron mediante el uso de la tierra

excavada del sitio del proyecto y estabilizada con cemento, sin embargo, la decisión de uso de suelo local en la fabricación del bloque textil fue influenciada por la apreciación del arquitecto Rudolph Schindler que colaboró en el proyecto. Los bloques que revisten el edificio se consideran como una forma de construcción en adobe estabilizado con alivio, luz y sombra. En 1942 Wright diseñó la Burlingham House, también conocida como la Casa de Cerámica, en Texas, este proyecto que no llegó a ser realizado iba a ser construido con adobe y vigas de madera. Antes de sus experimentos en Adobe, Wright ya estaba interesado en el uso de la tierra apisonada. En 1932 se comenzó a considerar el uso de la tierra en su propuesta de Broadacre city, y diez años más tarde comenzó a probar estas ideas en el proyecto de Haciendas Cooperativa. El proyecto fue desarrollado por un grupo de trabajadores de la automoción y la defensa de la planta, profesionales y profesores en Madison Heights, Michigan, fue diseñado para albergar a veintidós familias en 120 hectáreas. El diseño consistió en unas casas de bajo costo que habría podido ser construidas para los ocupantes, con un jardín integrado; en las zonas verdes se habría podido cultivar sus propios alimentos para comer o a complemento de sus ingresos, la construcción del proyecto habría comenzado durante la Segunda Guerra Mundial y la escasez de mano de obra no dejó que el proyecto desplegara. Le Corbusier, uno de los arquitectos más influyentes de la arquitectura moderna, compartió la frustración de Wright con la guerra. Poco después de que la guerra comenzara, Le Corbusier cerró su oficina y comenzó a desarrollar soluciones arquitectónicas en tierra para la inmigración de refugiados causados por la guerra. En 1942 escribió un libro sobre la construcción en tierra titulado "Les Constructions Murondins", que describe los métodos y técnicas para la elaboración y construcción de tapial y bloque de tierra comprimida para su uso en una amplia variedad de aplicaciones. La mayoría de sus diseños construidos en tierra eran para vivienda de los refugiados. En estos diseños, Le Corbusier incluye propuestas para

las aldeas agrícolas temporales con casas y establos, así como los diseños para los clubs juveniles, escuelas, dormitorios; todo construido con tierra.

Formulación

Formulación del problema

El deterioro ambiental que viene agravándose en las últimas décadas en todo el mundo afecta fundamentalmente a la naturaleza a través de elevados niveles de explotación de los recursos naturales (incluyendo el suelo fértil), contaminación de la atmósfera, agotamiento y contaminación de los recursos hidrológicos, ocasionados por la acción antrópica. Como consecuencia de ello, no sólo se alteran los ecosistemas, sino que en muchos casos se pone en riesgo la salud humana o se producen importantes pérdidas en la calidad de vida de determinados sectores.

Particularmente, el sector de la construcción es responsable de grandes aportaciones económicas y sociales a través de la producción de bienes y servicios. Históricamente, este sector ha requerido de grandes cantidades de materias primas y energía, lo que consecuentemente provoca grandes cantidades de emisiones gaseosas, líquidas y sólidas, contaminantes del medio ambiente.

Sin embargo, a lo largo del tiempo, los diferentes sistemas constructivos no han logrado reemplazar la utilización del ladrillo en la construcción, sobre todo en Latinoamérica. Esto se debe a dos causas fundamentales: una económica, ligada a los costos del mismo, y otra cultural, vinculada a la identificación histórica de este material con un cierto estatus. De acuerdo con “Muller, M, 1997 su fabricación no demanda una tecnología sofisticada ni tampoco mano de obra calificada”. Estas condiciones se mantienen en la actualidad debido a que no se están internalizando los costos ambientales de las externalidades producidas por la actividad a nivel de impacto ambiental.

Por otra parte el plástico polietileno de alta densidad Poli sombra es uno de los grandes problemas ambientales, su reciclado es complicado y cada vez son más las construcciones que lo usan para cerramientos y protección de obra, sin embargo después de este uso lo desechan generando alto impacto ambiental. Claro que esto no lo explica todo pues si se analiza la cantidad de plástico (poli sombra, que es un polietileno de alta densidad) utilizada en la construcción, no cabe duda que queda desechada en un 100%, se toma como punto de partida la encuesta realizada en la constructora Inmobiliaria Conconcreto, quienes después del uso específico nombrado anteriormente la desechan, convirtiéndose en un contaminante ambiental

¿Cómo fabricar un mampuesto de bloque de tierra compactada (BTC) reforzando su estructura con la reutilización de las fibras Poli sombra?

Justificación

Los elementos naturales que se transforman en herramientas y otros productos que son de utilidad pero no infinitos, son materiales que no deben mirarse linealmente únicamente en sus fases de origen o su fase de muerte, si no que se debe buscar la manera de que entre esas fases el material permanezca en buen estado o por el contrario añadir otra clase de materiales que permitan ejercer la misma función del material o sustituir algún elemento del mismo y así cumplir con el objetivo final de las distintas construcciones, el bloque de tierra compactada que es un material constituido por elementos naturales como la tierra que permite la construcción de muros divisorios o cerramientos, sin embargo, tiene una serie de factores que hacen de la tierra un material delicado y que han incidido en su desprestigio social y su progresiva sustitución por estructuras industrializadas. Estas limitaciones se derivan de la escasa compatibilidad de la tierra cruda con otros materiales, su vulnerabilidad ante la humedad, su comparativamente baja resistencia estructural y su dependencia de labores de mantenimiento preventivo, específicamente son estas variables en las que se hace necesario tratarlas con el fin de dar viabilidad al uso de la tierra como un material que permita realizar mampuestos que brinden todas las comodidades de la vida contemporánea y que puedan resultar competitivos con la amplia oferta de productos y mamposterías que la industria de la construcción exhibe en la actualidad, por lo cual se hace necesario reforzar el bloque de tierra compactada con poli sombra siendo un plástico caracterizado como polietileno de alta densidad el cual su proceso de reciclado es más sencillo que el de otros materiales ya que es mecánico y el consumo de energía es menor por lo cual hay reducción de contaminantes.

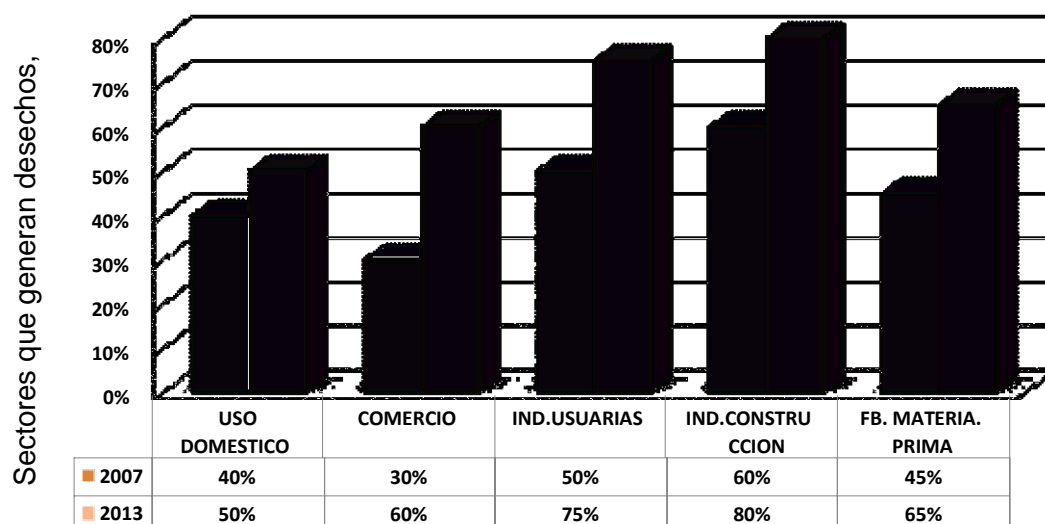


Figura 1. El polietileno de alta densidad como la Poli-sombra crea gran cantidad de residuos que al mezclarse con otros materiales genera basuras acumuladas en los depósitos, calles y alcantarillas, esto se debe a una característica en común de los plásticos que es el bajo peso molecular, lo que presenta el inconveniente de ocupar demasiado espacio en los basureros provocando así un impacto ambiental severo debido a la generación diaria de estos desechos, proviniendo de los diferentes sectores: uso doméstico (50%), comercio (10%), industrias usuarias (20%), industria transformadora (15%), y fabricante de materias primas (5%). (Carvajal G, 2012). Fuente: realizada por autores de la investigación

La reutilización del polietileno de alta densidad presenta una alternativa que permite la recuperación de los desechos del plástico para volverlos a integrar en los procesos como otros productos por ejemplo la poli sombra que es un material utilizado en las distintas obras y que luego de su uso específico es desechado sin tener más vida útil provocando desechos, sabiendo que es un producto no biodegradable, por lo cual será reutilizado en este caso para el reforzamiento estructural del bloque de tierra compactada siendo un

producto útil y local, virtudes que se derivan de la variabilidad de su calidad, la poca cantidad de agua que se requiere para su preparación, la versatilidad de su trabajo, su facilidad de elaboración y autoconstrucción, así como la posibilidad de realizar estructuras con espesores menores, reconociendo que se trata de piezas con cierta fragilidad para su transporte y almacenamiento, con algunos problemas de adherencia a los morteros por su nivel de compactación, problemas estructurales y altamente vulnerables ante la presencia del agua que proviene de la lluvia, factores que comprometen su integridad y durabilidad, además en cuanto al consumo de energía de los BTC comparado con los ladrillos cocidos, mientras se producen 300 BTC, se produce 1 solo bloque cocido y 1m^2 de ladrillo cocido consume 625 veces más energía y mientras se produce el BTC son cero emisiones de gas carbónico. (Tierra Tec, arquitectura de tierra, Bogotá, Colombia)

El BTC al ser un material natural local y la poli sombra al ser un material no biodegradable, permiten ser aprovechados al máximo, además esta clase de materiales permiten que la cultura, el ambiente, los recursos y las condiciones sociales determinen un diseño sostenible ya que cada lugar ofrece potenciales y limitantes.

Objetivos

Objetivo general

Fabricar un mampuesto de bloque de tierra compactada (BTC) a partir de la reutilización de las fibras de la poli sombra como refuerzo estructural.

Objetivos específicos

Conocer las características y propiedades del material BTC, para saber cuáles son falencias estructurales a mejorar.

Caracterizar el material Poli sombra en cuanto a fabricación y propiedades, físicas, químicas y mecánicas para que funcione en el BTC.

Determinar el diseño de la mezcla óptima para realizar el BTC con poli sombra, para garantizar el comportamiento estructural eficiente.

Establecer características y funcionamiento del BTC a partir de la poli sombra como elemento de reforzamiento.

Marcos referenciales

Ventajas del reforzamientos de muros de Bloques de tierra compactados con malla de acero

El Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) realizó una investigación experimental en pilas de bloques de tierra compactados (BTC) reforzadas con malla hexagonal y malla electro soldada para determinar la influencia del refuerzo, mediante ensayos de compresión axial, compresión diagonal y flexión lateral, según lo especifican las Normas Técnicas Complementarias para Mampostería (NTCM(1) y UNAM(2)) del DF, en México. En el ensayo a compresión axial, se determinó que la carga máxima admisible se incrementó significativamente en el grupo reforzado con malla electro soldada (39%), no así la resistencia (4%). En el ensayo a compresión diagonal, el incremento en la carga máxima admisible y resistencia fue significativo para los dos grupos reforzados, de 90 a 125% y de 60 a 83% respectivamente. A flexión lateral los incrementos fueron altamente significativos para el grupo reforzado con malla electro soldada. Aunque se determinaron los parámetros de diseño a compresión, cortante y flexión del BTC, es importante realizar más ensayos para corroborar estos resultados.

Se determinó cuantitativamente la variación en la resistencia de los muros de BTC sujetos a cargas de compresión directa, compresión diagonal y flexión, reforzados con mallas de acero y recubiertos con mortero cemento arena, empleando materiales locales. Las mallas utilizadas y el mortero se seleccionaron con base en la experiencia del grupo de investigación que ha desarrollado otras edificaciones con materiales similares. En las consideraciones de diseño del experimento se tomó en cuenta la facilidad, rapidez, costo y seguridad para colocar las mallas, así como la disponibilidad en el mercado. Los

ensayos se realizaron de acuerdo a lo especificado en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Mampostería (6) del DF y por investigadores del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Procedimiento experimental.

La metodología de este estudio experimental fue el siguiente:

- Elaboración de las piezas de BTC
- Determinación de sus características
- Selección del tipo de refuerzo
- Construcción de probetas:
- Pilas para ensayo a compresión axial

Figura 2: Ensayo a compresión y a flexión lateral.

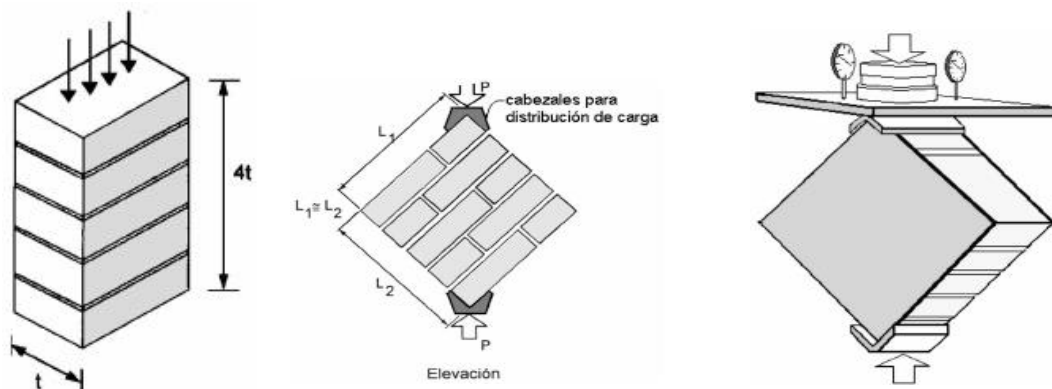


Figura 2: Ensayo a compresión y ensayo a flexión lateral, donde el ensayo de compresión es un ensayo de materiales utilizado para conocer el comportamiento ante cargas de compresión. Fuente: Informes de la construcción, Vol. 62, 518,25-32, abril junio 2010

Resultados

Tabla 1

Resultados de ensayos a pilas y muretes de BTC

Resultados de ensayos a pilas y muretes de BTC									
Carga axial total			Esfuerzos			Resistencia de diseño (MPa)			
f* p = 4.5 MPa			(T)			(MP)			
f*(45p =kg4.5cmMPa-2)	Compresión	Cortante(T)	Flexión	fm	(MPa)v	Ff	f*m	v* m	f* f
(45 kg cm -2)	Compresión	Cortante	Flexión	f	v m	F	f*m	v* m	f* f
SIN REFUERZO	13,318	3,52	0,431	2,94	0,36		2,05	0,17	0,42
M. HEXAGONAL	14,40	6,74	0,795	2,62	0,57	0,80	1,65	0,38	0,49
M. ELECTROSOLDADA	18,498	7,93	1,669	3,06	0,66	1,60	1,98	0,44	1,24

Nota: Hay una relación entre el volumen de los BTC y los muretes reforzados donde las probetas reforzadas tienen mayor rigidez y resistencia. Fuente: Informes de la construcción, Vol. 62, 518,25-32, abril junio 2010

Se comprobó que la resistencia de las pilas está en función de la resistencia de las piezas, en los ensayos realizados al BTC se corroboró esta información, pues se encontró una relación directamente proporcional entre el volumen de las pilas de BTC, y los muretes reforzados, en cuanto a la rigidez, el módulo de elasticidad es obtenido en pilas que son piezas de alta resistencia, dando como resultado que las probetas reforzadas tienen mayor rigidez y resistencia.

Bloque de tierra comprimida como material constructivo para el claustro santa clara real.

En la producción de los materiales con tierra para el Claustro Santa Clara la Real, se realizaron bloques de tierra comprimida con el material reciclado para su restauración. Una parte de este material se obtuvo de la cubierta, y otro, de los adobes que se retiraron de la construcción. En el lugar se encontró un material limo-arenoso de plasticidad baja y color café.

La mezcla de materiales para realizar los BTC fue de 82,75% de tierra, 6,20% de arena y 11,03% de cemento y se realizaron los siguientes ensayos a los bloques y muretes fabricados:

Ensayo a compresión seca NTC 5324

- Los bloques deben estar secos
- Se cortan transversalmente con un cuchillo de acero
- Se da un golpe de maceta obteniendo dos medios bloques
- Los dos bloques se superponen humedeciendo la cara destinada a la pega
- Entre las caras se debe poner una pega de 10mm de mortero
- Se debe realizar una limpieza entre las dos caras
- Por lo menos 48 horas antes del endurecimiento del mortero se deben medir las dimensiones de la superficie alta y baja y calcular el promedio de las mismas
- Luego impregnar cada una de las caras con pañete
- Ubicar el centro de las dos probetas y los extremos de la bandeja

- Por último se realiza una carga de manera continua sin movimientos bruscos a una velocidad de 0,02mm/s hasta la rotura completa de la probeta

C = carga rotura del bloque

Sb = selección mínima del bloque

Ensayo a compresión simple

- Selección de material
- Numerar los bloques teniendo en cuenta dimensiones y si esta perforado o curvo
- Emplear placas centradas para poner bloques
- Ingresar dimensiones en el programa trapezium y la velocidad de 1.3mm/mm
- Se comprimen los bloques hasta que ocurre la falla

Si la tierra presenta buena compactación, la resistencia y la densidad tienen una relación proporcional, y a mayor densidad de compactación mayor resistencia

Ensayo muretes

- Esfuerzo de 46cm x 14cm x 45cm
- Cargas a compresión diagonal obteniendo esfuerzos cortantes y deformación diagonal
- Al obtener la curva de esfuerzo-deformación se halla el módulo de elasticidad
- La deformación corresponde al 40% de esfuerzo máximo
- Se realizan 8 probetas
- La compactación se realiza con la maquina universal con moldes diseñados especialmente para las dimensiones de las probetas

Figura 3. Prueba de laboratorio a compresión

a.



b.



c.



Figura 3. Fotografías de pruebas de bloques de tierra compactada a. prueba a compresión b. ensayo de muretes c. prueba a compresión diagonal. Adaptado de revista Fac. Ing. UPTC, Julio Diciembre 2011. Vol. 20. N^o. 31.

Resultados de la compresión diagonal

- La tensión de los bloques es menor en relación con la resistencia de adherencia del mortero con el bloque
- Los bloques y el mortero no conservaron su adherencia

El análisis de su resistencia indica que, al ser comprimido, su fractura no es inmediata; por lo general, el material pierde sus caras y mantiene la geometría. La principal fractura se dirige hacia las esquinas en un plano inclinado, porque se concentran los esfuerzos. Se podría decir que el material es dúctil, ya que su deformación no es de forma brusca y ocurre a medida que se le aplique la carga hasta llegar a la fractura.

Comparación bloque de tierra compactada (BTC) y un ladrillo cocido.

- 300 bloques de tierra compactada (BTC) consumen la misma energía que un ladrillo cocido.
- 1 m² de ladrillo cocido consumen 625 veces más energía.
- 1 bloque de tierra compactada (BTC), cero emisiones de gas carbónico.

Figura 4. Comparación entre ladrillo cocido y bloque de tierra compactada.

a.



b.



c.



Figura 4. Comparación consumo de energía entre un ladrillo cocido y bloque de tierra compactada a. Se ahorra energía porque un muro de arcilla sólido es capaz de almacenar calor y energía solar, para luego liberarla en forma de calor aliado cuando la temperatura caiga b. Además con una humedad relativa constante de entorno al 50% una casa de arcilla requerirá menos energía para calentarse que una casa de construcción más tradicional, en la que la humedad relativa puede alcanzar el 80% o más c. se encontró que la resistencia la corte se ve influenciada por la rugosidad de los ladrillos, por la adherencia entre la pieza y el mortero, las distorsiones angulares están por debajo del 0,5% valor estipulado en la NSR 10. Fotografías tomadas de <http://www.ladrillococido.com>, 1 de diciembre 2013, fotografías tomadas por autores de la investigación 1 enero 2014.

Comportamiento de la mampostería bajo esfuerzos cortantes debido a efectos sísmicos

Se encontró que la resistencia al corte se ve influenciada por la rugosidad de los ladrillos por la adherencia entre la pieza y el mortero, las distorsiones angulares están por debajo del 0,5% valor estipulado en la NSR 98

- Se construyeron 16 muros de 12m de longitud por 1,2m de altura
- Se realizaron ensayos de compresión diagonal utilizando las variables del tipo de unidad y el espesor de pega
- Se observó la incidencia en el comportamiento a corte de la mampostería

Se realizaron 3 tipos de ensayos:

Compresión por unidad: se determinó la resistencia de compresión a unidades

- 9 ensayos por unidad de ladrillo
- Se determinaron sus dimensiones y peso

Compresión de prisma: ensayo a la resistencia a la compresión de prima

- Se realizó el ensayo a 18 prismas repartidos en 6 modelos que tienen variable el tipo de unidad y espesor de junta horizontal

Compresión diagonal: se aplicó carga de compresión a una de sus diagonales

- Se aplicaron cargas a través de un sistema de ángulos y poleas
- En una de las esquinas inferiores se colocó un ángulo en acero pues contra este se comprimió el muro
- Se taladro el piso para atornillar el ángulo de acero que será el apoyo
- Se colocó otro ángulo de acero en la parte inferior libre ajustado a las caras del muro
- Entre los ángulos y las piezas se puso caucho para no rayar ningún ladrillo

Ensayo compresión diagonal

- Se instala un ángulo de acero para transmitir la carga al muro y así centrar el gato de carga
- Después de instalados los 3 ángulos se tensa con una guaya que envuelve todo el sistema y evita movimientos
- Se aplicó una carga inicial para ajustar el sistema
- Luego se descargo
- Todos los aparatos de medida se colocaron en cero
- Se aplicó una carga y cada 0,5ton se detuvo la carga y se tomaron lecturas

- La carga controlada se aplica hasta conseguir la falla del muro

Figura 5. Prueba de laboratorio ensayo de muretes

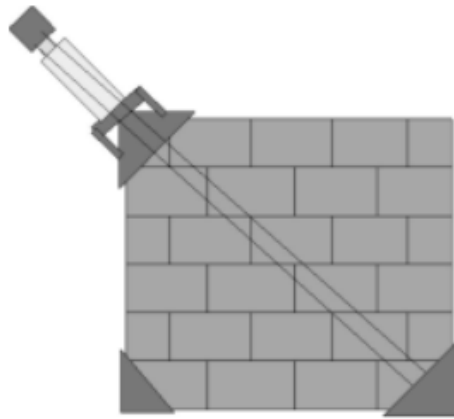


Figura 5. Prueba a compresion diagonal de muretes en bloques de tierra compactada.
Adaptado de revista Fac. Ing. UTPC, Julio Diciembre 2011. Vol. 20. N^o. 31.

Resultados

Compresión por unidad: la resistencia a compresión del ladrillo prensado fue mayor a la del ladrillo recocido.

Compresión de prisma: Los ladrillos prensados superaron por casi el doble la resistencia de los ladrillos recocidos.

Compresión diagonal: los ladrillos de chircal resisten mayor fuerza de compresión que los ladrillos prensados.

Es de notar que los bloques de tierra compactada (BTC), dentro de todas las pruebas realizadas supera la resistencia a la compresión, comparada con la de un ladrillo recocido, se observó que el consumo de energía en cuanto a la fabricación del bloque de tierra compactada (BTC) es de 625 veces menos, es decir que para fabricar 1 ladrillo necesitamos más energía, la misma cantidad que necesitaríamos para fabricar entre 300 y 1000 bloques de tierra compactada (BTC).

Por otro lado se observó que los ensayos a compresión diagonal los bloques de tierra compactada (BTC) tuvieron una mejor resistencia que los ladrillos recocidos.

Tesicol S.A.

Tejidos sintéticos de Colombia, es una empresa privada del sector textil y plástico, dedicada a la fabricación y comercialización de productos elaborados en polietileno, polipropileno y materiales sintéticos a fines, en mercados nacionales e internacionales.

Tabla 2

Materias primas utilizadas en Tesicol

Materia Prima	Producto
Polietileno de alta densidad	Mallas y poli sombras
Polipropileno de alta densidad	Telas planas
Polietileno de baja densidad	Telas laminadas
Colorantes	Todos
Aditivos	Todos

Nota: Tesicol es una empresa dedicada a la producción de elementos plásticos, siendo la primera empresa Colombiana en producir poli sombra biodegradable. Adaptado de Departamento de producción, Tejidos Sintéticos de Colombia S.A.

La empresa Tesicol S.A. diseño una propuesta para aprovechar los desperdicios generados actualmente y a futuro reducir los niveles del 7% hasta alcanzar las cantidades acordes a este tipo de industria, además su administración ha implementado principios del Sistema de producción de Toyota, para una gestión más eficiente a partir de la disminución de los desperdicios en todos los niveles de la organización.

Gestión de residuos sólidos

Recomendaciones de carácter legal y otras en base a un estudio directo de la empresa, donde su finalidad es manejar de mejor manera los residuos producidos en la empresa, manejando cuatro lineamientos: separación en la fuente, recolección, transporte y disposición final.

Separación en la fuente. Clasificación de los residuos sólidos en el sitio donde se generan para su posterior utilización, aprovechando y transformando los residuos sólidos recuperados devolviéndoles utilidad y reincorporándolos como materia prima para crear nuevos elementos.

Recolección. Recoger y retirar los residuos sólidos después de haber sido separados

Transporte. Medios, instalaciones y accesorios utilizados para efectuar la transferencia de los residuos sólidos desde el punto de recolección hasta su disposición final, evitando el contacto manual y evitando el esparcimiento de los residuos

Disposición final. Aislar y confinar los residuos sólidos en especial los no aprovechables en forma definitiva en lugares seleccionados para evitar la contaminación de la salud humana y el medio ambiente. (Tescicol, 1993)

Construcciones en tierra

La tierra es un material que se encuentra por lo general en las obras ahorrando los costos como por ejemplo del transporte, lo cual es apreciable por la alta producción del material en el sitio, además para sus construcciones no se requiere formaletas modernas ya que existen técnicas que no necesitan de encofrado aun que se pueden usar para fabricar muros en tierra, sus desventajas son muy conocidas pues la tierra al ser un material higrofilo tiende a absorber la humedad del ambiente lo que hace perder resistencia a los esfuerzos, entre sus características naturales se encuentra que es poca o nula su elasticidad ya que sus deformaciones por esfuerzos no se recuperan, sin embargo al construir los muros y si se ha tenido cuidado en la manipulación evitando agrietamientos el material funciona bien, para disminuir los esfuerzos los muros contruidos son de un espesor considerable, lo que incrementa las ventajas de este tipo de construcciones, en cuanto a sus desventajas son sus problemas estructurales lo cual se debe evitar seleccionando el adecuado material para obtener la mejor granulometría así como la incorporación de otros materiales para mejorar los problemas de resistencia, como las fibras de poli sombra, sabiendo que el mayor inconveniente de estas construcciones son garantizar su resistencia ante un sismo, por lo cual las estructuras no están exentas de daños así el objetivo fundamental del constructor y diseñador debe ser garantizar la vida de las personas .

Generalidades del material tierra

La tierra es un material que predomina en cualquier lugar; en la actualidad, su utilización se ha incrementado, debido a la conciencia ecológica, bajo costo y por ser un material reciclable y adaptable a las condiciones climáticas en donde se encuentre. Al adicionarle algún agregado, el material es moldeado para que tenga las características que se desean. La tecnificación de esta modalidad da a conocer el resurgimiento de la ingeniería y arquitectura con tierra. El suelo ideal para la construcción es aquel que tenga bajo contenido de material orgánico y de arcilla expansiva, ya que con la absorción y secado del agua la arcilla expansiva altera su volumen y no lo recupera. En cuanto a la composición granulométrica, se dice que la tierra tiene arena, limo y arcilla, y su composición general incluye agua y aire; por esta composición es posible su uso, ya que puede ser estabilizada adecuadamente, de acuerdo con el rango de cohesión, para ser mejorado. Dependiendo del sistema constructivo que se emplee, se tiene en cuenta qué tipo de arcilla se puede usar, según la humedad óptima de compactación (GM. Viñuales, 2008). Para mejorar el material tierra se realizan estabilizaciones con algunos agregados, clasificados en procesos homogéneos y heterogéneos. Los procesos homogéneos consisten en agregar el material faltante: si la tierra es poco cohesiva, arcilla, y si es muy cohesiva, arena; los materiales se incorporan en seco y deben ser semejantes al material por estabilizar. En los procesos de mezcla ocurre incorporación de otro tipo de materiales que cumplen con la función de brindar estabilidad al material natural; este proceso se divide en estabilizantes por consolidación, fricción e impermeabilizantes.

Procesos heterogéneos de tierra con otros materiales

Un proceso de estabilización puede ser definido como un método físico, físico – químico o químico que permite a un suelo, a una tierra responder satisfactoriamente a las exigencias impuestas para su utilización en una obra, para la estabilización se debe conocer:

- Propiedades de la tierra a tratar
- Las mejoras deseadas
- Los productos, materiales y procesos a emplear
- Sistemas constructivos
- Condiciones de mantenimiento y funcionamiento

Se obtiene una buena solución partiendo de estos datos donde se está en condiciones de proponer el procedimiento que permita una mejora sensible de las propiedades de la tierra compatible con una técnica óptima, con los plazos y términos de ejecución, costos y mantenimiento, para esto se encuentran distintas soluciones como:

Consolidantes. Los estabilizantes por consolidación se enlazan con los limos y las arenas para mantenerlos unidos. La cal es uno de los mejores estabilizantes por consolidación, debido a que liga las partículas del suelo, aumentando su resistencia a los esfuerzos de compresión y cortante; también disminuye la absorción del agua. La cal no modifica la porosidad, y la tierra no pierde su adherencia. (Revista UPTC, 2011)

Fibras. Con los estabilizantes por fibras se controla el comportamiento de dilatación y retracción o contracción durante el fraguado; este consiste en la adherencia de material fibroso a la tierra, formando redes al unirse. Estas fibras pueden ser de origen vegetal, como paja, diferentes plantas leñosas, virutas y resinas de madera, cáscaras de coco, tallos del maíz y fibras de pita o fique, o de origen animal, como lana, crines de caballo, pelo de llama. El material agregado debe estar seco, para evitar que se descomponga. Las fibras como estabilizantes impiden la aparición de fisuras y siguen actuando con el tiempo; también cumplen la función de reforzamiento estructural y volverla flexible ante movimientos sísmicos. (Revista UPTC, 2011).

Con las fibras de la Poli sombra que se agregan al bloque de tierra compactada (BTC) se controla el fenómeno de expansión, ya que las fibras mantienen amarrada la tierra, por otra parte también se mejora la tracción pues las fibras de la Poli sombra son muy resistentes a la tracción cumpliendo con la función de reforzamiento estructural, estas fibras no desaparecerán fácilmente de los bloques de tierra compactada (BTC) pues la Poli sombra es un material no biodegradable.

Impermeabilizantes. Su función es aislar el exceso de agua por capilaridad y por lluvia. Los impermeabilizantes actúan como una capa sobre las arcillas, regulando el paso del agua evitando así que las arcillas expansivas actúen. Las grasas, de tipo vegetal, animal o fósil, son parte de los materiales usados como impermeabilizantes. La cantidad debe ser la apropiada para que no interfieran con el comportamiento de las arcillas. (Revista UPTC, 2011)

La estabilización empleada desde hace mucho tiempo ofrece un amplio campo de aplicaciones lo que responde a: reducir los volúmenes de vacíos entre partículas sólidas, (porosidad), rellenar los vacíos que no se pueden suprimir (permeabilidad), y unir o mejorar los enlaces existentes entre las partículas, (resistencia mecánica).

Estas características permiten mejorar las propiedades mecánicas del material reduciendo su sensibilidad al agua, crecimiento y contracción, reducción de las calidades de cohesión, rigidez, erosión y gelaficación, por lo cual las mejoras obtenidas deben tener un carácter permanente, además estas propiedades son aprovechadas en los distintos procesos de construcción con tierra, en nuestro caso en la producción de BTC se debe aprovechar el aumento de cohesión de la arcilla seca, por otro los BTC estabilizados con cemento, cal o asfalto tiende a volver irreversible las mejoras producidas.

Estabilización sin aportes de estabilizante

Consiste en la reducción de la porosidad del material por el acercamiento de sus partículas.

Compactación. Una acción mecánica aumenta la compacidad del material, esta puede ser así:

- **Estática.** Rodillos, prensas y moldes para la fabricación de bloques
- **Dinámica.** Rodillos, agujas y encofrados vibrantes
- **Compleja.** Proyección o amasamiento

Los procesos estáticos son en general más eficaces para los suelos ricos en finos, mientras que para los suelos ricos en elementos gruesos la vibración es la más eficaz, es así como las prensas se adaptan para la fabricación de bloques de arcilla mientras que el hormigón rico en gravilla se densifica bien con agujas vibrantes.

La energía de compactación y el contenido de agua del material son factores determinantes, para determinar el contenido de agua según los suelos se realiza un ensayo llamado el Optimo Proctor. La compactación al reducir la porosidad del material, mejora sus características pero es necesario señalar que al solo utilizar este proceso las mejoras obtenidas no serán permanentes, toda construcción con tierra se degrada con el paso del tiempo por la acción del agua, lo que obliga a protegerla y a interesarse por productos que añadidos a la tierra reducen su sensibilidad a la acción del agua como los estabilizantes.

Los productos solubles o miscibles en agua resultan de especial consideración.

- Costo compatible con la mejora obtenida que justifica la escogencia de la tierra
- Eficaces para toda una gama de tierras, es necesario señalar que no existe ningún estabilizante milagroso
- Es efectivo cualquiera que sea el contenido de agua en el momento del tratamiento
- Listos a garantizar su permanencia ante las variaciones del clima
- Su aplicación no debe ser larga ni corta para que no se vea trastornada la obra.

Los ligantes. En los suelos de menos del 5% de arcilla es decir poco sensibles a la acción del agua y con una baja cohesión la estabilización se debe realizar con aglomerantes o ligantes que se deben utilizar cuando se desean obtener características mecánicas óptimas.

Cales aéreas.

Cal viva y cal hidratada. Utilizada para los suelos finos arcillosos, las cales con contenidos que oscilan del 4 al 10% producen mejoras sensibles en las propiedades mecánicas de la tierra, es así como la resistencia a la compresión puede ser multiplicada por 4 o 5 veces, la utilización de cal viva permite utilizar tierras con alto contenido de agua en el momento de su extracción

Cales hidráulicas y cementos. Estos ligantes producen mejoras sensibles sobre las características de las tierras arenosas, el material que se obtiene por la estabilización con cemento presenta pocos puntos comunes con la tierra que es el objeto de tratamiento.

Lignosulfitos. Producto derivado de la pulpa del papel, algunas veces según la región son más económicos que los cementos, además son efectivos en contenidos del uno al dos por ciento, presentan un inconveniente al perder su resistencia en presencia del agua

Resinas. Las resinas sintéticas al polimerizar pueden conformar excelentes aglomerantes, pero generalmente se trata de productos costosos.

El estudio de factibilidad de construcción con tierra debe hacerse a nivel regional e incluir productos naturales y locales lo que permite la investigación sobre estabilizantes

eficaces, baratos y de producción local, además tener en cuenta que existen ciertas incompatibilidades de estabilizantes con ciertas tierras arcillosas, el producto siempre debe estar disponible, debe ser eficaz y ser compatible con la tierra a tratar.

Bloques de tierra compactada (BTC). Se obtienen a partir de la mezcla de tierra (80%), arena (6,20%) y de cemento (5%), para luego ser compactada. El material debe ser cernido previamente al mezclado y estabilizado.

Tabla 3.

Características de Bloques de tierra estabilizados e inestabilizados.

Bloques de tierra	Estabilizados	Inestabilizados
Cemento incorporado	Si	No
Agua	más agua	menos agua
Costos	Mayor	Menor
	mejoran con	mejores con
Propiedades mecánicas	más agua	menos agua
Prensas mecánicas manuales	Si	Si
Producción en obra	Si	Si
Uso inmediato		
Post-fabricación	Si	Si
Continuación del curado después de colocados	Si	Si
Ganancia más resistencia después de colocados	Si	Si

Nota. Los bloques de tierra compactada estabilizados demandan un mayor costo de fabricación con respecto a los inestabilizados ya que requieren de cemento y más agua para su producción. Sin embargo, disponiendo de tecnología que logre mayores presiones para arcillas de mayor plasticidad podrían lograrse mampuestos de mayor calidad. Adaptado de GM Viñuales, Tecnología y construcción con tierra. Consejo Nacional de Investigaciones Técnicas y Científicas, 2008, Argentina

La máquina utilizada para la compactación es conocida como prensa; la más conocida es la CINVA-RAM, que tiene una caja metálica de 16 cm de alto, 29 cm de largo y 14 cm de ancho. Se compone también de una barra metálica o palanca accionada por el personal de trabajo. Para realizar un bloque se debe preparar el material, abrir la caja e introducir la tierra estabilizada. La caja es cerrada para poner la barra metálica, se aplica la presión necesaria hasta que la barra baja. Posteriormente el bloque es sacado del molde y trasladado para el curado o secado, en el que puede durar de dos días a una semana, dependiendo del contenido de humedad que presente el bloque luego de la compactación. Los bloques presentan diversas características según su elaboración, ya que la máquina facilita el empleo de moldes; pueden ser perforados, lo cual los hace más ligeros, teniendo la posibilidad de reforzarlos; también pueden presentar curvaturas, para ser utilizados estructural y arquitectónicamente. Además se puede realizar tableta de tierra comprimida estabilizada. Otros materiales constructivos de tierra son los pañetes estabilizados con fibra natural, que le dan a las estructuras acabados estéticos y duraderos.

Tabla 4.

Diferencias entre el adobe y construcciones con tierra prensada

Características	Adobe	Tierra prensada
Agua	Más cantidad	Menos cantidad
Unión arcilla-arena	Sin compactar	Por compresión
Tiempo de curado	Se necesita	No es necesario
Resistencia a compresión	Según la tierra	Mediante la prensa
Caracterización de la tierra	Necesaria	Necesaria

Nota. Los adobes al igual que los bloques de tierra compactada necesitan de tierra para su producción, en los adobes la compactación es manual y los bloques de tierra compactada es por compresión es decir con la maquina Cimva-Ram, por otro lado la resistencia estructural de los adobes es menor a la de los bloques de tierra compactada debido al proceso de compactación de ambos. Adaptado de Revista facultad de Ingeniería, UPTC, Julio Diciembre, 2011, Vol. 20, No. 31.

Bloques de tierra compactada

Es el producto resultante de la mezcla de tierra, agua y como estabilizante el cemento en proporciones adecuadas, que se somete a compresión en una máquina con el fin de obtener altas densidades, y que luego es sometido a un proceso de curado para que se produzca su endurecimiento efectivo. La prensa puede ser accionada de forma manual o mecánica.

La compresión se realiza con una máquina llamada Prensa Cinva – Ram. Las dimensiones y forma del bloque dependen de las medidas de la caja de la máquina y de las placas que permiten formar bloques huecos. La prensa utilizada para nuestro prototipo permite confeccionar bloques de 10 x 14 x 29 cm.

Los bloques de tierra compactada permiten construir edificaciones de dos pisos y pueden alcanzar inclusive un tercer nivel (Rotondaro, 2006). Lo ideal es utilizar la tierra del lugar, dado que de ese modo se disminuyen los costos, por lo cual es imprescindible conocer las características de la tierra disponible para determinar si es necesario estabilizarla y definir las dosificaciones más adecuadas a utilizar.

La tecnología del bloque compactado de tierra estabilizada se ha constituido en la actualidad en una importante y viable alternativa constructiva. El rigor científico y técnico aplicado en las investigaciones realizadas a nivel internacional, permiten hoy garantizar la calidad de esta técnica constructiva. (Rotondaro, 2006).

Materiales del BTC

Tierra. La tierra es el material básico que interviene en mayor proporción de la conformación del bloque. El suelo debe tener una constitución tal que requiera el menor contenido de cemento.

Los componentes de la tierra son: arena (grano grueso sin cohesión), limo (grano fino sin cohesión) y arcilla (grano fino con gran cohesión). Las arcillas son el aglutinante natural de las partículas más grandes, y los limos y las arenas conforman el esqueleto resistente que soportan las cargas y evitan la figuración. Si tenemos exceso de arena el bloque puede deshacerse al desmoldarlo. Si el porcentaje de arcilla es excesivo el bloque se pega al molde y al tratar de desmoldarlo se desprenden pedazos de las caras del bloque o incluso puede llegar a romperse. Esto mismo sucede cuando hay un exceso de humedad en la mezcla.

Tabla 5.

Proporción optima de cada componente de la tierra para fabricar BTC

Componentes	Proporción Optima
Arcilla	5 a 35%
Limo	0 a 20%
Arena	40 a 80%

Nota: Los componentes de la tierra óptimos para hacer BTC son: arena de 40 a 80% (grano grueso sin cohesión), limo de 0 a 20% (grano fino sin cohesión) y arcilla 5 a 35% (grano fino con gran cohesión). Fuente: R. Rotondaro, CONSTRUCCION CON TIERRA, 2006, Argentina.

Luego de tener con claridad los componentes de la tierra a trabajar se deben determinar el porcentaje de cemento que se va a utilizar

Cemento o estabilizante. Los efectos del cemento en el suelo son.

- Disminuye el peso específico seco
- Aumenta la resistencia a la compresión
- Disminuye la sensibilidad a la acción del agua
- Disminuye la retracción por secado
- Aumenta la resistencia a la erosión

La cantidad de cemento a agregar depende del tipo de suelo disponible. En general se trabaja con un porcentaje del 5 al 12 % en peso, en nuestro bloque utilizaremos el 5% de lo que equivale el volumen del bloque. Cuando se trabajan volúmenes se utilizan de 5 a 12 volúmenes de tierra por cada uno de cemento. Las dosificaciones recomendadas son las de 1 a 8 y 1 a 9. No se debe emplear contenidos de cemento inferiores a 5 % en peso (puede llegar a ser incluso contraproducente) y no se recomienda superar el 12 %. El cemento actúa principalmente sobre las arenas y las gravillas, como en el hormigón, y los mejores resultados se obtienen con las tierras arenosas. De hecho es inútil utilizarlo en

tierras muy arcillosas, por eso el índice de plasticidad debe ser bajo: de 15 a 20%. (R. Etchebarne, 2002).

Agua. La cantidad de agua a agregar a la mezcla depende del contenido natural de humedad que posee la tierra utilizada. Lo correcto es determinarla por la prueba de Proctor, que indica la humedad óptima de compactación de un suelo, aquella que permite alcanzar la densidad más elevada, es decir, los bloques más pesados.

La mezcla debe ser siempre húmeda, no pastosa ni diluida; en general la humedad óptima es del 12 %. Una forma práctica de ajustar la humedad de la mezcla es por ensayos sucesivos, pesando los bloques a medida que se van fabricando, la humedad óptima de la mezcla es aquella que permite obtener los bloques más pesados, es decir, los más densos. (R. Etchebarne, 2002)

Ciclo global de vida del BTC

Etapa I: Extracción y producción

Empleo de recursos naturales abundantes y disponibles

Reducida transformación del medio para su obtención por la posibilidad de empleo de excedentes de excavación (que en otro caso serían residuos)

Coste energético y contaminación mínimos para su producción (no precisa cocción)

Reducido coste energético de transporte (al emplear tierras locales o realizar la producción in situ).

Etapa II: Puesta en obra y vida útil

Facilidad de puesta en obra con bajo coste energético Resistencia a la humedad

Material térmico

Regulación de la humedad ambiental

Reducción del costo del transporte

Etapa III: Deconstrucción

Recuperación, reutilización y reciclado;

Nulo impacto ambiental

Proceso de fabricación del BTC

Tabla 6.

Fases de producción del BTC

Fases de producción		
Fase 0	Identificación	Análisis y pruebas
Fase 1	Preparación	Cribado
		Triturado
Fase 2	Mezclado	Dosificación seca
		Dosificación de agua
Fase 3	Prensado	Prensado
		Desmoldeo
Fase 4	Secado	Curado
		Secado
Fase 5	Stock ajé	Acopio en Palets
		Embalaje

Nota: Las fases de producción del BTC permiten una óptima y excelente elaboración del material desde el análisis de la tierra hasta el almacenaje de los BTC. Fuente: Unidad de

producción de materiales de bioconstrucción BTC - Bloques de tierra comprimida, 2009, España.

Fase 0. La Unidad de Producción permite su empleo en la propia obra en construcción, en el taller o en otras zonas donde resulte adecuada la producción por las características del proyecto, todo ello con el objetivo de aprovechar la tierra local para su empleo en obra, lo que conlleva la utilización de tierras de diversas procedencias y características, por lo que resulta necesario realizar un análisis inicial de la viabilidad técnica y económica de cada proyecto. El primer paso consiste en conocer las propiedades físico-químicas de la tierra a través de pruebas y ensayos de laboratorio

Tabla 7.

Análisis y pruebas de la tierra

Propiedad	Análisis de Laboratorio	Prueba de Campo
Químicas		
Sales, óxidos, sulfatos, etc.	Ensayos químicos	Aspecto (color, olor, tacto)
Físicas		
Granulometría	Ensayo granulométrico	Prueba del Rollo
	Ensayo sedimento métrico	Prueba de la botella
Plasticidad	Límites de Atterbeg	Prueba de la pastilla
Compresibilidad	Ensayo Proctor	Prueba de la bola

Nota: Para dar resultados óptimos sobre el material del BTC se deben realizar ensayos y pruebas de laboratorio de la tierra. Fuente: Unidad de producción de materiales de bioconstrucción BTC - Bloques de tierra comprimida, 2009, España

La viabilidad productiva y económica del proyecto debe determinarse, en caso de que la ejecución sea en el sitio, analizando las posibilidades de transporte y montaje de la unidad de producción, los costos de extracción y de transporte de las tierras, y de sus condiciones de almacenaje, que deben garantizar el adecuado secado de las mismas antes de la fase de preparación.

Fase I. Preparación: Las operaciones a llevar a cabo para la preparación de las tierras depende de las características de la misma, pudiendo ser necesarios diversos equipos como son: Trituradora, pulverizadora y/o criba, para obtener un tamaño de grano adecuado de la tierra, que permita realizar las siguientes fases de mezclado y prensado, dando lugar a un bloque de calidad.

Fase II. Mezclado: Esta fase de producción se realiza en dos etapas, la mezcla seca, en la que se incorporan los demás componentes que conforman el BTC (arcillas, arenas, minerales y fibras de poli sombra), y la mezcla húmeda, en la que se incorpora el agua en la cantidad adecuada y de manera homogénea. La dosificación en volumen del agua se realiza por medio de una regadera donde el total de esta en cada amasado influye en el adecuado prensado posterior de la tierra y en la calidad final del bloque producido, por lo que el proceso de mezclado debe ser continuamente controlado por personal experto.

Figura 6. Mezclado de materiales

Figura. 6: Mezcla de los materiales para realizar BTC reforzado, tierra, agua, cemento, Poli Sombra y mineral de colores. Fuente: Fotografía tomada por autores de la investigación 15 de marzo de 2014.

Fase III. Prensado. La compresión de la tierra es la operación principal del proceso productivo de BTC, el rendimiento productivo viene determinado por la velocidad de trabajo de la prensa Cinva Ram donde se pueden producir a diario unos 800 bloques y la Testaram que permite producir 1000 bloques diarios, además el esfuerzo que requiere su empleo, no hay que olvidar que la prensa no podrá trabajar a buen ritmo si no recibe la tierra adecuadamente preparada y mezclada lo que permitirá aproximarse al máximo rendimiento de la prensa.

El prensado implica varias tareas.

- Aceitar la caja, colocar la mezcla de la tierra con las fibras de Poli Sombra y correr la tapa. No se debe presionar la tierra con las manos antes de prensar. Solo se presiona ligeramente las esquinas del molde.
- Mover la palanca de modo de sacar la traba
- Mover la palanca para proceder al prensado
- Regresar la palanca a la posición inicial

- Correr la tapa y mover la palanca
- Retirar el bloque y acopiar

Figura. 7. Prensado para la producción de BTC



Figura 7. Proceso de producción del BTC desde su prensado hasta su desmolde. Fuente: Fotografía tomada por autores de la investigación 15 de marzo 2014

Fase IV. Secado: La fase de secado tiene una especial incidencia en la calidad final de los bloques, por lo que debe realizarse de manera controlada. Se diferencian dos etapas: Periodo de curado (si se incorporan aglomerantes para la estabilización de la tierra) y periodo de secado. En cualquier caso hay que mantenerlos al abrigo del sol y del viento

ya que se producirían fisuras de retracción, lo que podría afectar la resistencia final de los bloques.

Los bloques producidos en una jornada se van colocando en filas, con una pequeña separación entre ellos para la ventilación, apilándose hasta cinco alturas y con un plástico oscuro lo que evitara en las noches que contraiga humedad del ambiente, es importante colocarlos de tal manera que facilite su conteo rápido, para un mejor control de la productividad y de las cantidades de componentes empleados.

Figura. 8. Fase de secado de los BTC










Figura 8. La fase de secado de los BTC es primordial para dar un buen acabado, por lo cual se recomienda que sea un lugar fresco y nivelado. Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación 15 de marzo 2014

Fase V. Stock aje: tras la compactación, ya se pueden manipular los bloques para su colocación en el lugar de almacenaje, que deben ser embalados con plástico para mantener las condiciones de humedad adecuadas (en el caso de empleo de aglomerantes). En esta fase final, los BTC quedan ya preparados para su almacenaje, venta, transporte y entrega en obra.

Tabla 8.

Ficha técnica bloque de tierra compactada Tierra Tec

Línea	Diseño	Referencia	Dimensiones cm	Rendimiento undxm2	Peso kg
Estructural		BTC 4/4	largo 29,5	30	5,5
		Estructural	ancho 14		
			alto 9,5		
fachadas o Divisorios		BTC 4/4	largo 29,5	30	6,7
		Normal	ancho 14		
			alto 9,5		
Divisorios		BTC 4/4	largo 29,5	45	4,5
		6cm	ancho 14		
			alto 6		
Pega		BTC 4/4	largo 29,5	30	6,7
		Semiredondo	ancho 14		
			alto 9,5		
Pega		BTC 4/4	largo 29,5	30	6,7
		Redondo -	ancho 14		
		Redondo	alto 9,5		
Pega		BTC 4/4	largo 29,5	30	4,5
		fachaleta	ancho 5		
			alto 9,5		
Pega		Tierra para		15m2	40
		mezcla	0,70x0,50x0,25		

Nota: La empresa Tierra Tec se encarga de producir BTC para construcciones arquitectónicas y estructurales con distintos formatos y medidas. Fuente: Darío, A. (25 octubre 2013). Tierra Tec. Recuperado de <http://tierratec.com/>

Bloque de tierra compactada características

Es posible fabricar ladrillos con una tierra que tenga una consistencia plástica como por ejemplo el adobe ahora se trabaja con una tierra seca que posee el mismo contenido de agua empleado en la tapia, ella será compactada con un pisón o con una prensa para producir bloques de tierra compactada. Después del secado, podrán ser utilizados de la misma forma que los adobes, ladrillos de arcilla cocida a los bloques de cemento. Con relación a la tapia pisada, este modo de producción presenta las mismas ventajas que los adobes:

- La posibilidad de escalonar la producción en un largo periodo de tiempo.
- La disminución de fisuras en el muro ya que la contracción se efectúa durante el secado de cada bloque.
- Una mayor flexibilidad durante el diseño arquitectónico y en la construcción.
- El principal inconveniente es el manejo y manipulación del material que representa una baja en la productividad, los bloques compactados presentan sin embargo con relación a los adobes las siguientes ventajas:
 - Mayor posibilidad de un inmediato almacenamiento.
 - Un área de fabricación y de secado más pequeña y con cubierta.
 - Bloques más regulares.
 - Posibilidad de fabricar bloques de formas especiales: con huecos, bloques a encajar, desagües tejas etc...
 - Limitar la estabilización a la superficie del bloque
 - Una mayor resistencia a la compresión
 - Un mejor acabado

Producción

Cantidad de bloques por día. La cifra corresponde al número de bloques producidos en una jornada de 8 horas que puede ser entre 300 y 2800 bloques, sin embargo ella varía dependiendo de la organización del campamento y el uso de la máquina.

Volumen compactado por día. Volumen de tierra compactado por día 3 m³ aprox.

Niveles de producción. Existen 4 niveles

Baja. Es el caso de prensas manuales cuyo rendimiento varía en función de la organización del campamento puede variar de 300 a 1200 por día.

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

Alta. Las prensas mecánicas móviles tienen producciones elevadas pues ellas han sido diseñadas para moldear la tierra en estado pastoso, en este estado la compactación es más rápida que cuando se trata de una tierra seca.

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

Características de las prensas

Tipo de prensa

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

Mecánico. El apisonamiento de la tierra se hace por un sistema de palanca o de pistón accionado mecánicamente por un motor o gasolina, diesel o eléctrico.

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

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

Modo de compresión

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

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

Otras características

Presión. Una buena parte de este se pierde por las transmisiones. Los rozamientos y la elasticidad del material. Las presiones de compactación de 7 a 10 kg/cm² pueden ser suficientes pero son mínimas, las presiones de 20 a 40 kg/cm² son excelentes. Las presiones superiores son superfluas y generan un despilfarro de energía. Ellas conllevan, algunas veces a un deterioro de las cualidades mecánicas por la aparición de fenómenos de figuración.

Tasa de compresión. La relación entre el volumen de una tierra esponjada y el de la tierra compactada es teóricamente 1,65. La tasa de compresión, representando la relación entre el volumen del molde vacío y el volumen del bloque producido, debe ser en todo caso superior a 1,65. Este es un valor mínimo y toda máquina con una relación inferior

requerirá un apisonamiento previo manual de la tierra esponjada. Es de notar que casi todas las prensas manuales o mecánicas tienen una relación a 1,65 requiriéndose entonces un pre compactación. Desde este punto de vista son preferibles las prensas con una tapa abatible a aquellas con una tapa giratoria. La tapa abatible tritura la tierra excedente del molde realizando así una ligera pre compactación, mientras que la tapa giratoria limpia el exceso de tierra sin tasarla, en este caso es necesario apisonar ligeramente la tierra con la mano en el molde para prevenir que se presente una menor tasa de compresión.

Profundidad máxima del molde. Es la distancia máxima entre la tapa cerrada y bandeja de compresión en reposo. Esta disminución restada del recorrido de la bandeja da el espesor máximo del bloque a producir.

Análisis y comparación.

Los bloques de tierra compactada (BTC) en comparación con el adobe tiene mayor resistencia a la compresión pues el BTC es compactado con maquina Cimva-Ram y el adobe es compactado manualmente es decir apisonado en recipientes de acuerdo al tamaño deseado, por último el BTC y el adobe se dejan secar 20 días como mínimo. Por otra parte las juntas entre los adobes y los bloques de tierra compactada (BTC) deben ser del mismo material es decir de la misma tierra.

Para terminar, los adobes no pueden ser utilizados estructuralmente puesto que no tienen una buena compactación y no soportarían ninguna carga, en cambio los bloques de tierra compactada (BTC) si pueden ser utilizados estructuralmente ya que su compactación y perforación vertical los deja en óptimas condiciones para dicho uso, adicional a esto con el refuerzo de las fibras de Poli sombra que mejora el bloque ya que amarra toda la tierra evitando el fenómeno de expansión de la misma y su

comportamiento a tracción y compresión, estas fibras de Poli sombra agregadas al ser un material no biodegradable siempre permanecerán en los bloques sin riesgo alguno.

Poli sombra para BTC.

Los plásticos son materiales orgánicos compuestos fundamentalmente de carbono y otros elementos como el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno o el azufre. Existen dos tipos de plásticos que se tienen en el momento del reciclado, termo sets y termoplásticos, los termo sets son plásticos mezclados y moldeados a la forma deseada y luego calentados para que se mantengan en esa forma, este proceso es irreversible y estos materiales no se pueden reciclar, por el contrario los termoplásticos una vez que son moldeados se pueden usar por un determinado tiempo y luego calentarlos para cambiar su forma como lo es el polietileno con productos como la poli sombra.

Propiedades generales de la Poli Sombra.

En comparación con la mayoría de los plásticos, el polietileno de alta densidad utilizado en la poli sombra tiene una resistencia promedio, dureza y rigidez, pero una gran capacidad de estirado y una resistencia al impacto muy alta. Cuando se somete a una fuerza durante un tiempo prolongado, puede dar lugar a una fuerte deformación que se puede contrarrestar reforzando el material con fibras de vidrio cortas.

Tabla 9.

Comparación Características Polietileno de alta y baja densidad

Características	Pebd	Pead (Poli sombra)
Grado de cristalinidad %	40 hasta 50	60 hasta 80
Densidad g/cm ³	0,91 hasta 0,93	0,94 hasta 0,97
Temperatura de cristalización C	105 hasta 110	130 hasta 135
Estabilidad química	Buena	Excelente
Elongación a ruptura %	20	12
Temperatura máxima permisible C	80	100
Temperatura de reblandecimiento C	110	140

Nota. Características y diferencias principales entre el Pebd y el Pead, que sirve para determinar que la Poli sombra cuenta con unas excelentes propiedades para utilizarlas en la incorporación con los bloques de tierra compactada. Adaptado de Gómez, Ma. Rosa / Gil, José. Educación Medio Ambiental: Los plásticos y su Reciclado, Madrid: UNED.

Características de la Poli Sombra. La poli sombra tiene una cristalinidad elevada por tanto la corta distancia entre sus macromoléculas vecinas hace que esta tenga una alta densidad y una gran resistencia por lo que también es llamada malla rígida.

Además de las características mencionadas entre sus propiedades fisiológicas se encuentra que es inodora, insípida, e indiferente fisiológicamente.

En cuanto a su combustibilidad arde con una llama azulada, funde, gotea al arder y genera olor a parafina. Esto es importante porque en el ambiente del reciclaje mucha gente reconoce el material con pruebas de fuego para una mejor selección.

Figura 9. Tipos de Poli sombra

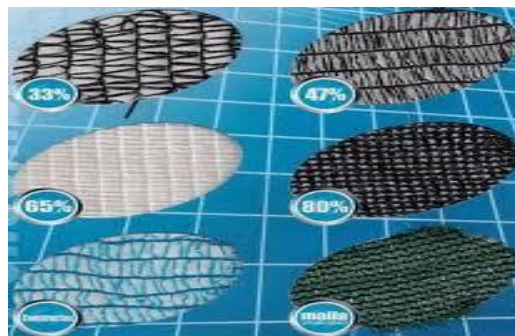


Figura 9. Diferentes Poli sombras y colores los números representan el porcentaje de de tejido de la misma, cada una con un uso específico. Adaptado de <http://www.polisombra.com> 1 diciembre 2013

Propiedades generales.

- Alta resistencia química
- No absorbe humedad
- Buenas propiedades eléctricas especialmente su resistencia dieléctrica
- No se rompe al doblarla

- Flota en el agua
- Alta resistencia mecánica, rigidez y dureza

La poli sombra siendo un Polietileno de alta densidad tiene menor permeabilidad, debido a su naturaleza no-polar por lo que absorbe muy poca humedad y tiene alta cualidad de barrera a vapor.

En cuanto a sus propiedades mecánicas la poli sombra depende básicamente de su estructura, que comprende lo que es el peso molecular y la cristalinidad. Pero también depende de factores externos como lo son la temperatura, entorno químico y el tiempo.

La rigidez, dureza y resistencia a la tensión de la poli sombra se incrementa con la densidad, ya que si esta aumenta es un indicador de que el material es más cristalino, y por lo tanto será más resistente ante la misma magnitud de fuerza aplicada que un espécimen de menor densidad. Así también al aumentar el peso molecular hasta cierto “punto” las propiedades mecánicas mejoran los pesos moleculares inferiores a dicho punto suelen no ser tan útiles. Rebasado este punto, la resistencia mecánica suele seguir mejorando, pero ya más gradualmente, a medida que aumenta el peso molecular, por lo tanto lo mejor es aumentar el peso molecular para mejorar las propiedades mecánicas, sin embargo el proceso de fabricación se hace a partir del polímero fundido, y la viscosidad del fundido crece exponencialmente con el peso molecular, por lo que, pesos moleculares muy elevados requieren mayores esfuerzos y más alto consumo de energía en la fabricación de piezas.

La Poli Sombra siendo un Polietileno de alta densidad es muy tenaz, de esta manera demuestra alta resistencia a los impactos aun a bajas temperaturas, pues es capaz de absorber parte de la energía proveniente de los impactos mediante deformaciones. Esto lo

logra gracias a las zonas amorfas del polímero ya que dichas deformaciones se traducen en cambio de conformación del material. (Cusa, 1979) y además tiene una gran resistencia a la incrustación biológica, lo que redundará en una mayor vida útil.

Proceso de reciclaje de la poli sombra. El polietileno (poli sombra) es un polímero termoplástico, por lo que tiene un elevado potencial de reciclado.

En la mayoría de los casos, las etapas que habitualmente se emplean para la valorización y aprovechamiento de un residuo genérico post-consumo son las siguientes:

- Recogida, identificación y separación de residuos.
- Acondicionamiento.
- Procesado y transformación de los materiales recuperados.
- Medida de propiedades del nuevo producto obtenido.

Figura 10. Recogida y separación de la Poli Sombra

a.



b.



Figura 10. Selección de tipos de Poli sombra a. del 30% b. 80% c. 60%. Realizado por autores de la investigación 15 febrero de 2014

Figura 11. Acondicionamiento, reciclado y transformación de la Poli sombra

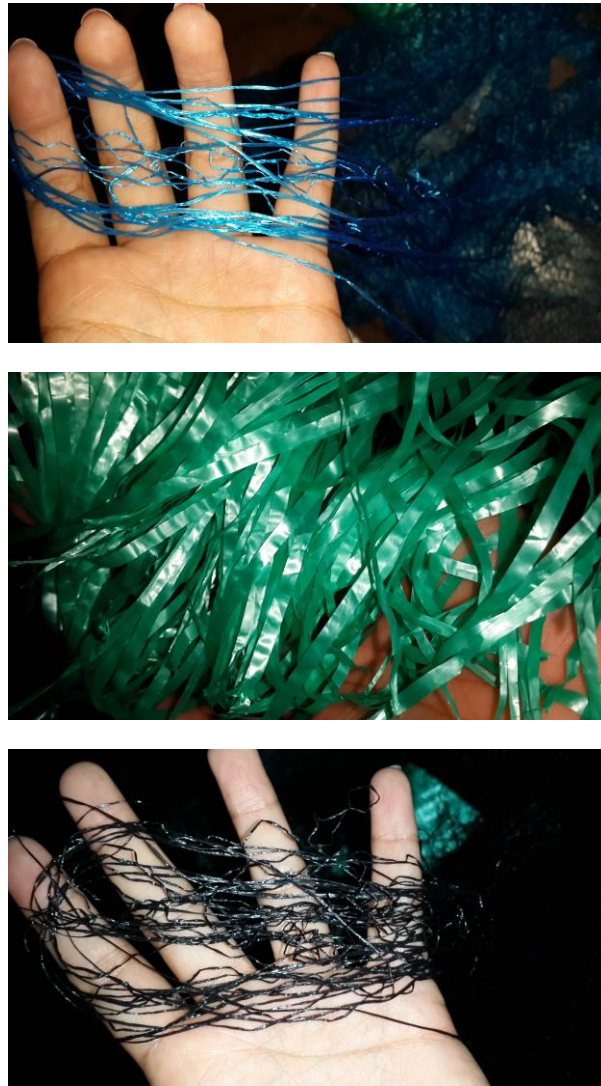


Figura 11. Está etapa es donde se separa los materiales se transformar, se separan las fibras para ser utilizadas en el reforzamiento del BTC a. procesado de los materiales para la creación de nuevos productos, reforzamiento de los BTC a partir de los materiales recuperados. Realizado por autores de la investigación.

Figura 12. Propiedades del producto obtenido.

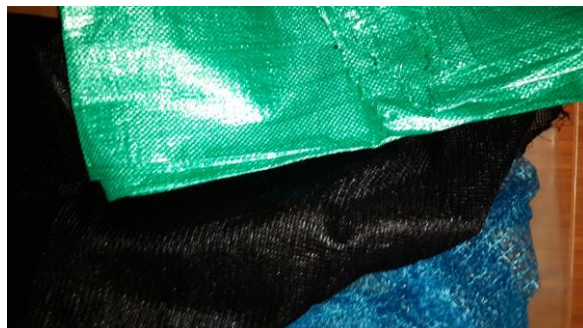


Figura 12. Se determinan las propiedades físicas y químicas de la Poli sombra a. después de la selección, separación y transformación de la Poli sombra en fibras se determinan las propiedades para dar un optimó uso de dichas fibras en los BTC.

Pruebas de Campo

Inspección visual. Permite reconocer el tamaño del material grueso, es decir de arenas muy gruesas, gruesas, gruesas medias y finas del material a probar, en donde las partículas más finas como el limo y la arcilla se reconocen por deducción.

- Equipo requerido: bolsa plástica, colador y material

Figura 13. Equipo requerido para la prueba de inspección visual



Figura 13. Equipo requerido para la prueba de la inspección visual donde se determina el tamaño del material por observación Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación 15 de marzo 2014

- Muestra: 100 g aproximadamente de material.
- Procedimiento: se recoge una pequeña cantidad de tierra y se observa la composición granulométrica, definiendo la proporción y el tamaño de grano que predomina

Figura 14. Composición granulométrica de la tierra



Figura 14. Composición granulométrica de la tierra donde se observa que la mayoría del material es fino. Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación 15 de marzo 2014.

- Resultados: Se observa que prevalece el color ocre y el 50% del material es material fino, lo que quiere decir que el material puede ser arcilloso o limos

Sensación al tacto. Determina el componente principal de la tierra. En esta prueba se descartan las gravas, es decir las partículas superiores a 4,76 mm

- Equipo requerido: bolsa plástica y colador
- Muestra: Se requiere aproximadamente 100 g de material sabiendo que este ya paso por el colador, permitiendo que el material que paso por este sea fino para y así permita poder palpar la tierra con la mano.
- Procedimiento: se tomó una cantidad de muestra amasándola y frotándola con los dedos y entre la palma de la mano, permitiendo conocer la dimensión de los componentes.

Figura 15. Prueba sensación al tacto

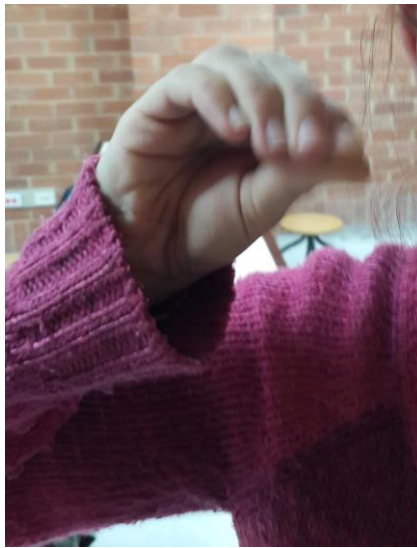


Figura 15. Sensación al tacto donde se muestra un material arenoso. Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación 15 de marzo 2014.

- Resultados: El material de esta prueba es arenoso por tener una sensación áspera, rugosa y porque no presenta cohesión

Sedimentación Simplificada. Permite determinar la proporción de cada elemento que constituye la muestra de tierra en estudio.

- Equipo Requerido: una botella pequeña transparente, agua y metro.

Figura 16. Equipo requerido para prueba de sedimentación simplificada



Figura 16. Equipo para la prueba de sedimentación simplificada donde era necesario tener tierra, agua y una botella. Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación 15 de marzo 2014.

- Muestra: se eliminaron las partículas demasiado grandes y se llenó el 1/4 de la altura del frasco.
- Procedimiento: se introdujo en el frasco la muestra de tierra con agua limpia hasta completar $\frac{3}{4}$ partes de la altura del frasco, se tapó el frasco con la mano y se agito fuertemente, dejándolo en reposo 4 días sobre una superficie horizontal.

Figura 17. Muestra de tierra con agua



Figura 17. Muestra de tierra con agua para la prueba de sedimentación donde se debe primero echar la tierra y luego el agua. Fuente: fotografía tomada autores de la investigación 15 de marzo 2014

Resultados: se midió la altura de las diferentes capas del material precipitado sacando el porcentaje de cada elemento en relación con la altura total del material de la botella.

Figura 18. Resultado prueba de sedimentación



Figura 18. Resultado prueba de sedimentación donde el material muestra solo una capa de tierra. Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación 15 de marzo 2014

Prueba De La Sacudida. Permite determinar las partículas finas de la muestra de tierra.

- Equipo Requerido: plástico, botella de plástico y agua limpia
- Muestra: se tomó una pequeña muestra del producto del proceso de sedimentación, extrayendo el agua con el material que aún está en suspensión mediante una manguera.
- Procedimiento: se tomó una cantidad pequeña del material y se amaso en la palma de la mano hasta formar una bola de 2 cm. de diámetro. La bola se aplastó ligeramente sobre la palma de la mano y se sacudió varias veces horizontalmente con ambas manos.

Figura 19. Procedimiento prueba de la sacudida



Figura 19. Proceso prueba de la sacudida donde se debe sacudir una bola de tierra húmeda dentro de la mano hasta observar alguna deformación. Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación 15 de marzo 2013.

- Resultados: Se determina que al sacudir la bola da como resultado una reacción nula donde la condición del agua no cambia, no aparece y no hay endurecimiento de la bola, lo que indica que el material es una arcilla o un material orgánico muy plástico

Resistencia en seco. Mide la resistencia de la muestra de tierra que se está analizando.

- Equipo requerido: copa plástica y metro.
- Muestra: la muestra para realizar este ensayo se obtuvo de igual manera que para el ensayo de sacudida.
- Procedimiento: al material se le hecho agua hasta conseguir una masa como barro y se fabricaron dos pastillas con medidas de 2,5 cm de diámetro por 12

Figura 20. Fabricación pastillas de tierra en copas plásticas

Figura 20. Fabricación de las pastillas de tierra necesarias para la prueba de resistencia en seco Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación 15 de marzo 2014

Una vez se encuentran secas, se procede a oprimirlas con los dedos y según la facilidad para desintegrarse se sacaron conclusiones

Figura 21. Pastillas oprimidas con los dedos

Figura 21. Se oprimieron las pastillas para saber que facilidad tienen para desintegrarse.

Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación 15 de marzo 2014

- Resultados: Se requiere bastante fuerza para desintegrar la pastilla, lo que quiere decir que el material tiene presencia de arcilla orgánica, arcilla limosa o arcilla muy arenosa.

Prueba De Brillo. Permite determinar la presencia de arcilla en la tierra

- Equipo Requerido: bisturí, botella de plástico con agua y metro.
- Muestra: se requiere aproximadamente 100 g de material
- Procedimiento: se hizo una bola algo húmeda, la cual se cortó por la mitad con un bisturí

Figura 22. Procedimiento prueba del brillo



Figura 22. La prueba del brillo muestra un material arcilloso y plástico. Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación 15 de marzo 2014.

- Resultados: Se encuentra que la superficie de la bola es brillante lo que quiere decir que la tierra es arcillosa con alta plasticidad

Prueba Del Cordón. Permite determinar las partículas finas de la muestra de tierra.

- Equipo Requerido: superficie plana y limpia
- Muestra: cantidad de muestra para hacer una bola de aproximadamente 1,5 cm de diámetro, con una humedad suficiente para moldearla.
- Procedimiento: sobre una superficie plana y limpia se hizo rodar la bola hasta formar un cordón de 3 mm de diámetro

Figura 23. Procedimiento prueba del cordón



Figura 23. La prueba del cordón muestra que el material es apto para la construcción.

Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación 15 de marzo 2014

- Resultados: La bola se fisuro y se fragmento al presionarla, lo que permite que el material sea apto para la construcción

Prueba de la cinta. Es una prueba complementaria a la del cordón.

- Equipo Requerido: superficie plana y limpia y metro.
- Muestra: se tomó una cantidad de muestra de tierra para dar la forma de un cigarro de 12 mm de diámetro, la tierra no se debe pegar a las manos
- Procedimiento: sobre la palma de la mano se colocó la tierra enrollada en forma de cigarro, donde se aplastó por un extremo con el dedo índice hasta obtener una cinta de 3 a 6 mm de espesor, y se midió la longitud a la que se rompió la cinta

Figura 24. Procedimiento prueba de la cinta



Figura 24. La prueba la cintilla tiene poca arcilla por lo cual es recomendable para la construcción. Fuente: fotografía tomada autores de la investigación 15 de marzo 2014.

Resultados: la cinta se obtiene con una dificultad de 5 a 10cm, lo que quiere decir que el suelo tiene poco y medio de contenido de arcilla, por lo que es recomendable para la construcción de muro

Tabla 10

Síntesis de los resultados pruebas de campo del material extraído del sector

Determinación de:	Prueba	Resultados	Posible tipo de suelo (tierra)
Aspectos generales	Inspección visual	Prevalece el color ocre y el 50% del material son finos	Arcilla y Limos
	Sensación al tacto	Se percibe una sensación crujiente	Arenosa
	Sedimentación simplificada	Arcilla 21,4%, Limos 35,7% Arena 42,8%.	Arena y Limosa
	Prueba de la sacudida	Se produce una deformación donde la película de agua no aparece	Arcilla
	Resistencia en seco	Resistencia mediana donde se necesitó de bastante fuerza para desintegrar la pastilla	Arcilla y Limosa
Partículas finas	Prueba de brillo	La bolita es brillante con alta plasticidad	Arcilla
	Prueba del cordón	El cordón se fragmenta y fisura al presionarlo	Apto para la construcción
	Prueba de la cinta	Se obtiene con dificultad una cinta de 5 a 10cm	Arcilla

Nota: Se observa que el tipo de tierra para realizar Bloques de tierra compactada es apta para la construcción, además se clasifica como una tierra arcilla limo arenosa.

Ensayos de laboratorio para caracterizar el material tierra

Ensayo de Granulometría

Objetivo. Determinar el porcentaje del paso de los diferentes tamaños de suelo y con estos datos construir su curva granulométrica, además determinar mediante el análisis de tamizado la gradación que existe en una muestra de suelos

Material y equipos

Figura 25. Materiales y equipos para Granulometría



Figura 25. Materiales y equipo requerido para granulometría como: pasa tamiz, horno, balanza, estufa y tierra. Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación 28 de abril 2014.

- 1 Juego de mallas granulométricas
- 1 Pasa tamiz
- 1 Balanza
- 1 Cepillo de cerdas suaves
- Recipientes
- Horno para secado
- Estufa para secado
- Platón
- Tierra
- Agua

Procedimiento

- Se tomó el peso de la tierra húmeda, luego se dispone a secar el material en un platón sobre una estufa durante 20 minutos moviéndola con un palustre
- Se tomó de nuevo el peso inicial de la tierra seca dando 1730,3 gramos
- Luego se lavó el material mediante un chorro constante de agua, para separar el material fino del grueso con un tamiz especial para lavado No 200
- Se tomó el peso final del material grueso resultando 0,842 gramos
- Se realiza el tamizado con el material grueso ordenando los tamices en forma descendente y al final se le agrega el pasa tamiz No 200. Así

Tabla 11

Orden de los tamices utilizados en la prueba de granulometría

Tamiz	
Pulg	MM
1 1/2	38,1
1	25,4
3/4	19
1/2	12,7
3/8	9,5
1/4	6,3
N 4	4,76
N 8	2,38
N 10	2
N 12	1,68
N 16	1,19
N 30	0,59
N 40	0,42
N 50	0,3
N 80	0,18
N 100	0,15
N 200	0,074
Pasa N	
200	

Nota: Los tamices fueron organizados de forma descendente según la norma I.N.V.E 123,

Fuente: Datos de la investigación

- Después se le va vertiendo la tierra y se va agitando horizontalmente con movimientos circulares teniendo cuidado de que el material no se salga de los tamices
- El material retenido en cada malla después de agitarla vigorosamente por máximo un minuto se pesa en la balanza

Figura 26. Procedimiento prueba de granulometría



Figura 26. Procedimiento de la prueba de granulometría donde se realiza tamizado del material tomando su peso inicial y peso final, Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación 28 de abril 2014.

Ya terminada la prueba se debe limpiar cada malla cuidadosamente y repetir el procedimiento las veces que sea necesario calculando así el porcentaje de material retenido en cada tamiz.

Los datos obtenidos se representan gráficamente mediante un diagrama granulométrico, en el cual la “abscisa representa el tamaño del material y en la ordenada el porcentaje de material acumulado en los tamices, obteniendo una curva granulométrica de la muestra analizada.

Los granos del suelo no tienen todas las mismas dimensiones y un ensayo de identificación importante consiste en estudiar la granulometría de los suelos para determinar el porcentaje de granos de cada tamaño. El estudio de la granulometría tiene como objetivo averiguar la función de distribución del diámetro de las partículas del suelo. Para suelos granulares: se emplea la serie de tamices graduados de la ASTM siendo el más fino N° 200

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso de material retenido en tamiz}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100$$

Peso total de la muestra

$$\% \text{ PASA} = 100 - \% \text{ Retenido Acumulado}$$

Tabla 12.

Análisis granulométrico del material

Granulometría norma I.N.V E - 123				
Peso inicial sin platón		1730,3 g		
Peso final sin platón		0,842 g		
Tamiz		Peso	%	%
Pulg	MM	Retenido	Retenido	Pasa
1 1/2	38,1	0		100
1	25,4	19,7	1,13	98,87
3/4	19	0	0	98,87
1/2	12,7	41,3	2,38	96,49
3/8	37,7	37,7	2,17	94,32
1/4	6,3	0	0	94,32
N 4	4,76	94,7	5,47	88,85
N 8	2,38	91,8	5,3	83,55
N 10	2	0	0	83,55
N 12	1,68	0	0	83,55
N 16	1,19	84,6	4,88	78,67
N 30	0,59	69,1	3,99	74,68
N 40	0,42	0	0	74,68
N 50	0,3	174,9	10,1	64,58
N 80	0,18	0	0	64,58
N 100	0,15	85,3	4,92	59,66
N 200	0,074	134,5	7,77	51,89
PASA N		7,5	0,43	51,46
	200			

Nota: el análisis granulométrico presenta que el 50% del material analizado son finos es decir arenas. Fuente: Datos de la investigación

Los resultados de un análisis granulométrico también se pueden representar en forma gráfica y en tal caso se llaman curvas granulométricas. Estas gráficas se representan por medio de dos ejes perpendiculares entre sí, horizontal y vertical, en donde las ordenadas representan el porcentaje que pasa y en el eje de las abscisas la abertura del tamiz cuya escala puede ser aritmética, logarítmica o en algunos casos mixtos.

Resultados

La muestra está constituida de 20 a 30% de gravillas, en arena gruesa con un porcentaje de 20 a 25% y de un 50% fino.

Límites de Atterbeg

Los suelos que poseen algo de cohesión, según su naturaleza y cantidad de agua, pueden presentar propiedades que lo incluyan en el estado sólido, semi-sólido, plástico o semi-líquido. El contenido de agua o humedad límite al que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro.

El método usado para medir estos límites se conoce como Método de Atterbeg y los contenidos de agua o humedad con los cuales se producen los cambios de estados, se denominan límites de Atterbeg.

Limite Plástico. El límite plástico se ha definido arbitrariamente como el contenido de humedad del suelo al cual un cilindro de éste, se rompe al amasado presentando un diámetro de aproximadamente 3 mm.

Esta prueba es bastante subjetiva, es decir, depende del laboratorista, el cual debe ayudarse con un alambre u otro material de 3 mm. de diámetro para hacer la

comparación, y establecer el momento en que el suelo se rompe presenta el diámetro especificado.

La muestra necesaria para realizar este ensayo deberá tener un peso aproximado de 20 grs. y pasar completamente por el tamiz de 0,5 mm. (Malla N° 40 ASTM).

Material y Equipo

Figura 27. Material y equipo prueba límite plástico



Figura 27. Material y equipo para la prueba del límite plástico como espátulas, recipientes metálicos, vidrio esmerilado, agua, horno y balanza. Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación 28 de abril 2014

- Espátula hoja flexible 20 mm. de ancho y 70 mm. de largo.
- Vidrio esmerilado como superficie de amasado
- Horno de secado
- 1 Balanza
- Agua destilada
- 1 Platón
- 2 Recipientes pequeños metálicos

Procedimiento

- Se realiza tamizado hasta quedar con el material fino
- Se puso la muestra en el vidrio esmerilado agregándole suficiente cantidad de agua destilada, mezclando con la espátula hasta lograr una pasta homogénea. Esta muestra se curó hasta lograr una adecuada distribución de la humedad
- Se toma una porción de suelo de aproximadamente 1 cm³, se amasa y se hace rodar con la palma de la mano, sobre la superficie del vidrio de amasado, formando un cilindros.
- Cuando se alcance un diámetro aproximado a 3 mm. se dobla y amasa nuevamente, para volver a formar el cilindro, lo que se repite hasta que el cilindro se disgregue al llegar al diámetro de 3 mm. en trozos de tamaño de 0,5 a 1 cm. de largo sin ser re amasado.
- Los cilindros de 3mm son puestos en dos recipientes metálicos pequeños tratando de que sea la misma cantidad para cada uno
- Se toma el peso de los recipientes metálicos y de los cilindros húmedos

- El contenido de humedad que tiene el suelo en ese momento representa el límite plástico, el cual se determina colocando los recipientes metálicos con los cilindros en horno para su adecuado secado durante 24 horas a 110 grados centígrados, realizando 2 muestras.

Figura 28. Procedimiento prueba límite plástico



*Figura 28.*Proceso ensayo prueba del límite plástico formando cilindros de hasta 3mm de diámetro donde luego se toma el peso final para determinar las características de la tierra.

Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación 28 de abril 2014

$$W\% = \frac{P1-P2}{P2-P3} \times 100$$

P2-P3

Tabla 13

Análisis Límite plástico

Limite plástico norma I.N.V.E-126

Recipiente no	L80	L81
Peso suelo húmedo más recipiente	23,5	24,32
Peso suelo seco más recipiente	22,84	23,56
Peso recipiente	18,7	18,84
% De humedad	21,68	22,24

Nota: Se realizó el análisis del límite plástico basándonos en la norma I.N.V.E-126, donde el material se muestra como una tierra plástica promedio, lo que conlleva a ser un material apto para hacer bloques. Fuente: Datos de la investigación

Limite Líquido. El límite líquido está definido, como el contenido de humedad con el cual una masa de suelo colocada en un recipiente en forma de cuchara (cazuela Casagrande), se separa con una herramienta patrón (ranurador), se deja caer desde una altura de 1 cm. y sufre el cierre de esa ranura en 1 cm. después de 25 golpes de la cuchara contra una base de caucho dura o similar.

Casagrande (1932), determinó que el límite líquido es una medida de resistencia al corte del suelo a un determinado contenido de humedad y que cada golpe necesario para cerrar el surco, corresponde a un esfuerzo cortante cercano a 1 gr/cm^2 .

Material y Equipos

Figura 29. Material y equipo requerido para la prueba del límite líquido



Figura 29. Material y equipo necesario para llevar a cabo la prueba del límite líquido como: cazuela casa grande, gramera, tierra, recipientes metálicos, espátula, vidrio esmerilado y agua. Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación 28 de abril 2014.

- Aparato de límite líquido cazuela Casa Grande el que consiste en una taza (cuchara) de bronce con una masa de 200 ± 20 grs., montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de madera

- 1 Platón
- Espátula hoja flexible de 20 mm. de ancho y 70 mm. de largo.
- Horno de secado
- Balanza
- 1 Ranurador metálico
- Agua destilada
- 3 Recipientes pequeños metálicos

Procedimiento

- Se realiza prueba con el material fino
- Se puso la muestra en el vidrio esmerilado agregándole suficiente cantidad de agua destilada, mezclando con la espátula hasta lograr una pasta homogénea. Esta muestra se curó hasta lograr una adecuada distribución de la humedad
- Se coloca La cazuela casa grande sobre una base firme y se deposita en la taza unos 50 a 70 grs. del material preparado previamente
- Se aliso la superficie con la espátula, de modo que su altura en el centro fue de 10 mm. y la masa ocupo un volumen de 16 cm³ aproximadamente.
- Se dividió el material en dos partes con el ranurador, a través de un surco de 63 mm. de longitud.
- Cuando se realizó la ranura, se giró la manivela del aparato con una frecuencia de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes necesarios para que la ranura cierre en 10 mm. de longitud en el fondo de
- Finalmente, se toman aproximadamente 10 grs. del material para determinar la humedad, donde se toma el peso del material húmedo

- Luego se toma el peso del material seco después de que los recipientes metálicos y los cilindros son llevados al horno para su adecuado secado durante 24 horas a 110 grados centígrados.
- El material sobrante se trasladó al platón de evaporación para mezclarlo nuevamente con agua destilada y repetir el procedimiento 2 veces más, de modo de obtener tres puntos que varían en un rango de 15 a 35 golpes.

Figura 30. Procedimiento prueba límite líquido

Figura 30. Proceso ensayo prueba del límite líquido donde se ranura el material para determinar la resistencia del corte al suelo. Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación el 28 de abril 2014.

$$W\% = \frac{P1-P2}{P2-P3} \times 100$$

P2-P3

Tabla 14

Análisis Límite líquido

Límite líquido norma I.N.V. E-125

Recipiente no	L48	L53	L87
No de golpes	34	23	16
Peso suelo húmedo más recipiente	45,8	41,14	43,51
Peso suelo seco más recipiente	40,01	36,37	38,07
Peso recipiente	18,72	19,01	19,01

Nota: Se realizó el análisis del límite líquido basándonos en la norma I.N.V.E-126, donde el material con la humedad óptima para realizar bloques de tierra comprimida. Fuente:

Datos de la investigación

Pruebas de Laboratorio para Mampuestos

Entre los cuales se encuentran las Prueba de compresión, prueba de absorción de agua, peso unitario y prueba de abrasión.

Requerimientos mínimos para bloques de tierra prensada

Tabla 15

Requerimientos mínimos para bloques de tierra prensada NTC 4017

Prueba	Unidad	Requisitos mínimos
Compresión seca.	Kg f/cm ²	Mínimo de 20
Compresión húmeda.	Kg f/cm ²	Mínimo de 5
Absorción de agua	%	Máximo 15
Peso	Kg	6,950 a 8,177
Densidad	Kg/m ³	1700 a 2200
Abrasión	cm ² /g	2 a 7

Nota: Los requerimientos mínimos que debe cumplir un BTC para que pueda ser utilizado como elemento de construcción. Fuente: Datos de la investigación

Prueba de compresión. Determina el esfuerzo máximo de rotura de los bloques y su capacidad portante.

Procedimiento.

- Se requieren 3 bloques con sus caras lisas y sin grietas con cada tipo de tierra que se va a realizar el BTC
- Se aplica la carga en la misma dirección con la que van a estar trabajando
- La cara superior y el fondo deben estar completamente nivelados

- Se determina el área exacta de cada bloque y se mide las dimensiones de la cara que va a soportar la carga

Figura 31. Procedimiento prueba de compresión



Figura 31. Proceso ensayo prueba a compresión donde se comprime el bloque perdiendo resistencia a sus lados pero con una excelente fuerza en su interior. Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación el 16 de mayo 2014.

Cálculos

$$\text{Resistencia a la compresión, } C = \frac{W}{A}$$

A

C = resistencia del bloque a la compresión, Kg f/cm² ó MPa.

W = carga máxima (de rotura), Kg f ó N

A = promedio del área total de las superficies de soporte superior e inferior, cm².

Tabla 16

Análisis resultados prueba de compresión

N	Altura cm	Ancho cm	Largo cm	Área cm ²	Carga de Rotura Kg	Compresión Kg/cm ²
1	9	14	29,5	413	19235	46,57
2	9	14	29,7	415,8	16981,4	40,91
3	10	14	29	406	15492,7	38,15
Promedio						41,87

Nota: La prueba a compresión muestra que su promedio fue de 41,87kgf/cm², donde se establece que los requisitos mínimos para bloques de esta prueba debe ser de 20kgf/cm², por lo que cumplieron de buena forma esta condición. Fuente: Datos de la investigación

Resultados. Se observó después del ensayo, un desprendimiento de las caras exteriores del bloque. No hay fracturas o grietas por la mitad, conservando la mayor parte de su volumen intacto. Esto demuestra que el contenido de humedad y el proceso de prensado fueron muy buenos.

Prueba Absorción de agua. El objetivo principal de esta prueba es determinar la cantidad de agua que alcanza absorber una pieza de mampostería durante 24 horas.

Procedimiento.

- Antes de iniciar, se pesó cada uno de los bloques, el proceso inicia saturando los bloques sumergiéndolos completamente en agua limpia durante 24 horas, esta debe tener una temperatura entre 15,5 °C y 30 °C, se deben sumergir las piezas en agua fría a una temperatura de 15 a 30 grados durante 24 horas
- Pasado este tiempo se retiró del agua los bloques, se secó el exceso de agua con un paño húmedo y se tomó el peso de cada uno de ellos, se recomienda realizar este paso antes que pasen 5 minutos de retirados del agua.
- Para verificar la expansión del bloque, se tomaron las medidas del bloque al iniciar la prueba y otra medida al finalizar, anotando estos datos en el formato. Por último, al final de la prueba de absorción se probaron los bloques con un ensayo de compresión, ya que en este momento se encuentran en su condición más débil.

Figura 32. Procedimiento prueba absorción de agua

Figura 32. Proceso ensayo prueba absorción de agua donde se llega a observar la cantidad de agua que puede llegar a contener el mampuesto después de haber durado durante 24 horas entre agua. Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación el 16 de mayo 2014.

Cálculos. Para determinar el porcentaje de absorción de agua de las unidades se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{100 \times (W_s - W_d)}{W_d}$$

W_d

W_d = peso del espécimen seco.

W_s = peso del espécimen saturado luego de inmersión en agua fría.

Tabla 17

Análisis resultado prueba absorción de agua

Muestra	Peso Kg		Absorción %
	Wd	Ws	
1	6,948	7,480	7,6
2	7,196	7,551	4,9
3	7,113	7,596	6,7
	Promedio		6,4

Nota: Este valor se encuentra por debajo del rango máximo permitido. Es decir, los bloques tienen una buena capacidad de absorción. Fuente: Datos de la investigación

Resultados. El porcentaje de absorción promedio de los bloques analizados fue de 6,4 %, valor que se encuentra por debajo del rango catalogado como máximo permitido en la Norma NTC 4017. Es decir, los bloques tienen una buena capacidad de absorción.

La capacidad de absorción está directamente relacionada con el grado de compactación del bloque. Entre mejor esté compactado el bloque, menor capilaridad y por consiguiente menor absorción.

Peso unitario. El objetivo del ensayo es determinar si los mampuestos se encuentran bien compactados

Procedimiento.

- Se requieren bloques completamente secos, mínimo 3 unidades

- En la balanza electrónica se toma la lectura de peso que arroje cada uno

Figura 33. Procedimiento prueba peso unitario



Figura 33. Proceso ensayo peso unitario donde se determina el peso de cada bloque de tierra compactada reforzado con Poli sombra. Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación el 16 de mayo 2014.

Cálculos. Para determinar el peso de cada bloque se debe averiguar su densidad aplicando la siguiente formula

$$D = \frac{M}{V}$$

V

D = densidad kg/m^3

M = masa en kg

V = volumen en m^3

Tabla 18

Resultados peso unitario

Bloque	Peso	Volumen	Densidad
	kg	m ³	Kg /m ³
1N	7,0155	0,003654	1919,95
2N	7,0564	0,00378	1866,77
3N	7,0257	0,00378	1858,65
1V	7,3940	0,00378	1956,08
2V	7,0186	0,003654	1920,79
3V	7,0701	0,00378	1870,39
Promedio	7,097	0,004	1898,77

Nota: Mediante el análisis de los datos obtenidos se muestra que el peso promedio de estos bloques es de 7,097 kg, ubicándose dentro del rango normal para bloques de tierra compactada, fabricados en condiciones normales de producción. Rango normal 6,950 a 8,177 kg. Fuente: Datos de la investigación

Resultados. Con relación a la densidad obtenida los bloques se encuentran dentro de los rangos catalogados como normales, es decir está dentro de 1700 a 2200 kg/m³ según la norma NTC 4017.

Prueba de abrasión. En esta prueba se determina la resistencia del ladrillo frente al desgaste de erosión de la lluvia y otros agentes del ambiente, comprobando si la resistencia del mampuesto curado es buena.

Procedimiento.

- Los bloques deben estar secos sin grietas y sus caras lisas
- Determinar el peso de cada bloque

- Sobre una superficie horizontal y estable se procede a cepillar el bloque sobre la cara de la pega con un cepillo de cerdas metálicas
- Se debe limpiar el bloque de los elementos que desprendió
- Pesar los elementos desprendidos y el bloque

Figura 34. Procedimiento prueba de abrasión

Figura 34. Proceso ensayo prueba de abrasión donde se determina la resistencia del bloque frente al desgaste de erosión de la lluvia y otros agentes del ambiente. Fuente: fotografía tomada por autores de la investigación el 16 de mayo 2014.

Cálculos:

- Calcular el área de desgaste resultante del paso del cepillo
- Calcular el coeficiente de resistencia a la abrasión (Ca)

A = área resultante del paso del cepillo, cm^2 .

Ms = peso inicial del bloque.

Md = peso del bloque después del cepillado.

Tabla 19

Resultados prueba de abrasión

Bloque	Ca (cm^2/g)
1A	1,178
2A	2,045
3A	3,737
Promedio	6,960

Nota: Los bloques tienen una aceptable capacidad al desgaste producto de la lluvia u otros agentes externos. Fuente: Datos de la investigación

Resultados. El coeficiente (Ca) de resistencia a la abrasión promedio de los bloques analizados fue de $6,960 \text{ cm}^2/\text{g}$., este valor se encuentra dentro del rango normal de abrasión de 2 a $7 \text{ cm}^2/\text{g}$ según la norma NTC 4017. Es decir, los bloques tendrán una buena capacidad al desgaste producto de la lluvia u otros agentes externos.

A continuación se presenta resumidos en forma la tabla 20 todos los resultados obtenidos en cada ensayo de laboratorio realizados a los Bloques de Tierra Compactada reforzados con Poli Sombra

Tabla 20.

Resumen de resultados para los Bloques de Tierra Compactada reforzados con Poli Sombra

Para determinar	Tipo de prueba.	Resultados	Conclusiones
Desgaste	Resistencia a la abrasión.	6,96 cm ² /g	Los bloques tienen una buena capacidad al desgaste producto de la lluvia u otros agentes externos.
Resistencia y Capacidad portante	Fuerza de Compresión seca.	41,87 kg f/cm ²	Las dosificaciones son las adecuadas y el grado de compactación es muy bueno.
	Fuerza de Compresión húmeda.	6,4 kg f/cm ²	Se comprueba de nuevo que el grado de compactación es bueno y que los bloques poseen una baja capacidad de absorción.
	Peso unitario	7,097kg	El bloque tiene una buena capacidad portante.
Absorción	Absorción de agua	5,3 %	Este valor se encuentra por debajo del rango máximo permitido. Es decir, los bloques tienen una baja capacidad de absorción.
Densidad o compactación	Peso unitario	1898,77 kg/m ³	Se encuentran dentro de los rangos catalogados como normales o aceptables, exigidos para construir con esta técnica.

BLOQUES DE TIERRA COMPACTADA REFORZADO CON POLI SOMBRA
100

Tabla 21.

Comparación resultados de las pruebas de mampuestos entre los requisitos de la norma NTC 4017, nuestra propuesta y los BTC fabricados en Tierra Tec

Norma NTC 4017			Propuesta			BTC Tierra Tec		
Prueba	Unidad	Requisitos mínimos	Prueba	Unidad	Requisitos mínimos	Prueba	Unidad	Requisitos mínimos
Compresión seca.	Kg f/cm ²	Mínimo de 20	Compresión seca.	Kg f/cm ²	41,87	Compresión seca.	Kg f/cm ²	40
Absorción de agua	%	Máximo 15	Absorción de agua	%	7,4	Absorción de agua	%	6
Peso	Kg	6,950 a 8,177	Peso	Kg	7,097	Peso	Kg	8
Densidad	Kg/m ³	1700 a 2200	Densidad	Kg/m ³	1898,77	Densidad	Kg/m ³	No especifica
Abrasión	cm ² /g	2 a 7	Abrasión	cm ² /g	6,96	Abrasión	cm ² /g	4

Conclusiones y recomendaciones

Las siguientes conclusiones y recomendaciones están relacionadas a mejorar el desempeño mecánico y estructural de los Bloques de Tierra Compactada reforzados con Poli sombra, teniendo en cuenta los análisis de laboratorio de la materia prima, el proceso de producción y los resultados de las pruebas y ensayos de laboratorio para los bloques, todo lo anterior orientado a establecer factores como la forma y composición en los BTC

Conclusiones

1. A partir de la utilización de las fibras de poli sombra se logró que la resistencia de los bloques fuera de $41,87 \text{ kg f/cm}^2$ superando la norma NTC 4017 donde lo mínimo es de 20 kg f/cm^2 .
2. A partir de los referentes y con el mejoramiento de la reutilización de la poli sombra se logra un mejoramiento de la resistencia a compresión de $41,87 \text{ kg f/cm}^2$, lo cual permite mejorar las limitaciones que tiene el material sismo resistente al comportamiento sísmico en más de un 100%.
3. En las pruebas de campo de la tierra se observó que el tipo de tierra para realizar Bloques de tierra compactada es apta para la construcción y que además se clasifica como una tierra arcilla limo arenosa.
4. La resistencia de los bloques depende de la dosificación de cemento, de la humedad de la mezcla y de un buen proceso de compactación.
5. Existen varios tipos de poli sombra según el grado de abertura, para el reforzamiento de los bloques se utilizó poli sombra con un 80% de abertura ya que

en el proceso de reutilización esta se permitió manipular de una manera más rápida lo que permite agilizar el proceso de fabricación del BTC.

6. La aplicación de la fibra de la poli sombra conlleva a una disminución en el peso del elemento en un 6% en relación a los BTC del referente Tierra Tec donde sus bloques tienen un peso de 8kg.
7. Durante el proceso de saber qué tipo y que tamaño de fibras de poli sombra se debían utilizar para reforzar el mampuesto, se determinó que no se debe utilizar la malla completa de la poli sombra como sándwich ya que de esta manera no se permite la adherencia del material tierra con las fibras de la poli sombra, por tanto su tejido se desarmo para así obtener fibras.
8. Después de haber realizado ensayos de laboratorio con los materiales y con los mampuestos, se determinó la mezcla óptima para su producción, donde el 5% del BTC es cemento para su estabilización, el 3% son fibras de malla poli sombra, el 7% es arena y el 80% es tierra.
9. Los análisis de la tierra mediante las pruebas de campo y los ensayos de laboratorio, al igual que las pruebas para los bloques, permiten conocer las características del tipo de tierra y el comportamiento efectivo de los BTC.
10. De acuerdo con los valores arrojados en las pruebas de absorción hechas en el laboratorio, se concluye que la humedad establecida para la fabricación de los Bloques de Tierra Compactada es del 6,4% y que se encuentra dentro de los parámetros de la norma NTC 4017, donde su máxima absorción es del 15%.
11. Los bloques de tierra compactada reforzados en relación a los referentes estudiados supera su absorción en un 1,4% debido al uso de fibras de poli sombra,

sin embargo se encuentra entre los límites de la norma NTC 4017, donde su máxima absorción es del 15%.

12. Dentro de los resultados se obtuvo un aligeramiento en los Bloques de tierra compactada con un peso unitario del 7.07kg en relación con otros bloques de tierra no reforzados donde su peso unitario es de 8kg.
13. La muestra de tierra ensayada en el laboratorio por granulometría está constituida de 20 a 30% de gravillas, en arena gruesa con un porcentaje de 20 a 25% y de un 50% fino.
14. Se realizó el análisis del límite plástico en el laboratorio según la norma I.N.V.E-126 dando como resultado 21,6% de plasticidad donde el material se clasifica como una tierra plástica promedio apta para construir bloques de tierra.
15. Durante el ensayo a compresión seca de los BTC se observó un desprendimiento de las caras exteriores del bloque, donde no hay fracturas o grietas por la mitad, conservando la mayor parte de su volumen intacto y además las partes desprendidas del bloque quedaron sujetas al mampuesto debido a la utilización de las fibras de la poli sombra.
16. El coeficiente (Ca) de resistencia a la abrasión promedio de los bloques analizados fue de 6,960 cm²/g., este valor se encuentra dentro del rango normal de abrasión de 2 a 7 cm²/g según la norma NTC 4017.
17. De acuerdo al comportamiento y características de los componentes de la tierra, esta se estabilizo con un 5% de cemento Portland tipo I ya que ofrece mayor resistencia.
18. Estéticamente para darle un acabado al mampuesto se utilizaron minerales de colores, lo que conlleva a que las fibras de la poli sombra no sean visibles y a de más brindar mayor variedad de colores en los BTC.

19. Durante la construcción de los muros con bloques de tierra compactada reforzados con fibras de poli sombra, se observa que la pega tiene mayor adherencia ya que las fibras de los bloques funcionan como una red de amarre entre los bloques y la pega.
20. Durante el proceso de fabricación de un BTC corriente se llegan a producir diariamente 1000 unidades, en este caso por el reforzamiento con las fibras de la poli sombra este proceso se hace más extenso lo cual solo permite producir hasta 800 bloques diarios
21. La medida de las fibras de la poli sombra siendo de 4cm de largo para reforzar el mampuesto, se determinó después de varias pruebas con distintas medidas donde finalmente se toma como referencia las fibras de vidrio que tienen la misma medida y que dan más resistencia al concreto.
22. En la mezcla para la fabricación de los BTC se incorporó un 7% de arena ya que esta mejora la calidad, duración y resistencia de los mampuestos.
23. El mortero para la pega debe presentar las siguientes proporciones: una parte de cemento portland, una parte de cal y seis de de arena limpia (1:1:6), preparado con agua limpia para hacer una mezcla trabajable.

Recomendaciones

En relación con la tierra se recomienda:

- Un estudio previo de las características de la tierra que se empleará como materia prima garantiza la escogencia de un buen material para elaborar BTC.
- Es recomendable tomar por lo menos cuatro muestras de distintas partes de la zona de extracción para obtener puntos de comparación que garanticen el análisis de sus características.
- Los análisis de la tierra mediante las pruebas de campo y los ensayos de laboratorio, al igual que las pruebas para los bloques, permiten conocer las características del tipo de tierra y el comportamiento efectivo de los BTC
- La Identificación adecuada del tipo de tierra permite definir el porcentaje de estabilizante para preparar la mezcla tierra cemento, donde para nuestro proyecto el estabilizante fue del 5% siendo cemento Portland tipo I
- De la mezcla de tierra-cemento depende la mayor densidad en los bloques, lo que permite obtener una mayor impermeabilidad y resistencia al desgaste producto de la acción de agentes climáticos externos.
- Ya que los bloques presentan un 6,4% de absorción se recomienda que todas las caras del bloque queden revestidas, aun cuando solo una de ellas va estar expuesta en forma directa a la intemperie.

Respecto con la poli sombra se recomienda:

- Es recomendable en el momento de reutilizar la poli sombra hacerle el adecuado aseo y así evitar que tenga partículas que lleguen a afectar el reforzamiento con el bloque

- Las fibras de la poli sombra deben ser de máximo 4cm de largo para asegurarse que funcionen como una red de amarre en la tierra
- En el mercado se encuentran distintos colores y tipos de poli sombra se recomienda utilizar la más adecuada al tono de la tierra y con una abertura del 80%

En cuanto al proceso de producción de los bloques de tierra compactada reforzados con poli sombra se especifica:

- Un estabilizante como el cemento aumenta la resistencia, controla el fenómeno de absorción y reducen la expansión del material.
- La mezcla adecuada con el de la tierra, el estabilizante y la naturaleza de la compactación, son factores que proporcionan condiciones y resultados óptimos para el proceso de prensado.
- De la correcta dosificación de tierra, agua, cemento y fibras de poli sombra depende la calidad de los bloques.
- El personal recomendado para la producción debe estar compuesto por cuatro personas, uno en el procesamiento y mezclado de los materiales, dos operando la prensa y prensando los bloques y por ultimo una persona encargada de almacenar los bloques
- Se recomienda cubrir los bloques con una lona o plástico durante las primeras horas de su fabricación para evitar grietas
- El tiempo requerido para utilizar los bloques en la construcción, debe ser mínimo de 28 días de curado.

Bibliografía

Enciclopedia del Plástico, (1998) Capítulos 3,4 y 29, Tomo 1 y 3, Madrid, España.

Carvajal G, (2012), Uso eficiente de la energía en el procesamiento de plásticos, *Revista Tecnología del plástico*, (26). España.

Confederación Española de fabricantes de plásticos, (1991). ANAIP, Los plásticos, materiales de nuestros tiempos. España

Elías, X. (2000). Reciclaje de residuos industriales. *Estados Unidos*.

Villa, M. L. C. (1999). *La política de vivienda de interés social en Colombia en los noventa* (No. 003050). Cepal Naciones Unidas.

Roca Girón, I. (2005), Estudio De Las Propiedades Y Aplicaciones Industriales Del polietileno De Alta Densidad. Tesis de Grado, Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.

M Carranza, (2010), *¿Existen técnicas adecuadas de construcción con tierra para países sísmicos?* Master en arquitectura y sostenibilidad, Universidad UPC de Barcelona, España

Mohanty, A. K., Misra, M., & Hinrichsen, G. (2000). Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: an overview. *Macromolecular Materials and Engineering*, 276(1), 1-24.

Cusa, J. (1979), *Aplicaciones Del Plástico En La Construcción*, Ediciones CEAC, Barcelona

CHEMICALS AND ADITIVES, *Modern plastics encyclopedia*, Cannon Communications, Denver, 1998.

GM Viñuales, (2008). Tecnología y construcción con tierra. Consejo Nacional de Investigaciones Técnicas y Científicas, Argentina

L.F.Guerrero Baca. (2002). Deterioro del patrimonio edificado en adobe”. Revista Diseño y Sociedad, Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Revista facultad de Ingeniería, 2011, UPTC, Vol. 20, No 31

R. Etchebarne, G. Piñeiro y J. Silva, (2002) Proyecto terra uruguay. Montaje de prototipos de vivienda a través de la utilización de tecnologías en tierra: adobe, fajina y BTC, Uruguay

Unidad de producción de materiales de bioconstrucción Btc - bloques de tierra comprimida, 2009, España

TESICOL, Tejidos sintéticos de Colombia S.A. Foro Latinoamericano de Polipropileno, 1993, Cartagena.

Angulo, D, Tierra Tec, arquitectura de tierra, Bogotá, Colombia, recuperado de <http://www.tierratec.com/>

ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas Técnicas. *Muestreo y ensayo de unidades de mampostería de arcilla. Norma técnica Colombiana, NTC 4017. Bogotá, 1997.*

ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas Técnicas. *Bloques de suelo-cemento para muros y divisiones Definiciones. Especificaciones. Métodos de Ensayo. Condiciones de entrega. Proyecto de Norma Técnica Colombiana, NTC DE 708/03. Bogotá, 2003.*