



BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA SIN ADICIÓN DE CEMENTO (BTC)

APORTACIÓN AL AHORRO ENERGÉTICO

Este artículo estudia a través de diversas pruebas cuál es el comportamiento del bloque de tierra cruda comprimido (BTC) sin adición de cemento, un material alternativo para la ejecución de muros. Dado que presenta importantes ventajas económicas y medioambientales frente a materiales tradicionales basados en el empleo de cemento, el BTC es una opción interesante para el mundo de la construcción.

Por **FERNANDO GALÍNDEZ**. Universidad Católica de Salta. Facultad de Arquitectura

Esta investigación estudia un material alternativo, bloque de tierra cruda comprimido (BTC) sin adición de cemento, para la construcción de muros. La eliminación del cemento de la mezcla base del mampuesto BTC responde fundamentalmente a dos razones: una económica, por cuanto el precio del cemento encarece el costo del mismo, y otra ambiental, relacionada con el impacto que produce el proceso de fabricación del cemento, lo cual añade un costo ambiental al bloque de suelo-cemento, a pesar de tener éste menor impacto que los ladrillos de tierra cocida, ya que el material es crudo.

Generalmente, para la fabricación de BTC se considera que las tierras con mucho contenido de arcilla no son aptas, debido a que para obtener resistencias aceptables se debe añadir

Latinstock

mayor cantidad de cemento que a las tierras arenosas. Esto se refleja en las normas IRAM, que especifican que para la fabricación de suelo cemento en caso de suelos arcillosos se debe añadir hasta el 15% de cemento. Debido a esto quedan excluidos en la fabricación de BTC grandes cantidades de suelos, a menos que tengamos la posibilidad de añadirles arenas o, lo que es peor, con mayor cantidad de cemento. A su vez, esto implica mayores costos económicos y ambientales.

La posibilidad de aprovechar la cualidad de las arcillas como aglomerante natural y evitar la adición de cemento al mampuesto, recurriendo a la estabilización por compactación, haciéndolo mediante métodos que garanticen el cumplimiento de las premisas teóricas en fábrica o en obra, será la principal aportación de la presente investigación, en concordancia con un nuevo paradigma de desarrollo de materiales de construcción más sustentable.

Para el desarrollo de la investigación se propuso trabajar con tres tipos distintos de tierras arcillosas, compactadas a tres presiones diferentes, 4 kg/cm², 6 kg/cm² y 8 kg/cm², a fin de demostrar que a mayor plasticidad de la tierra, sometida a su vez a mayor presión de compactación, la resistencia a la compresión del mampuesto aumenta.

A su vez se propuso, a fin de solucionar la sensibilidad del material ante la presencia de agua, una impermeabilización del mismo con aceite usado para vehículos.

Finalmente, se demostró de forma empírica que los mampuestos tipo BTC realizados con tierras areno-arcillosas de mediana plasticidad, debidamente compactadas, e impermeabilizados con aceite usado de vehículos, constituyen un mampuesto fiable para la construcción.

1. Descripción del proyecto

La presente investigación se propuso estudiar el comportamiento de un material alternativo (bloque de tierra cruda comprimida sin adición de cemento o BTC) para la construcción de muros. Este mampuesto elimina en su fabricación la etapa de cocción, que implica la mayor afectación ambiental no sólo por la emisión de contaminantes a la atmósfera (con su correspondiente aportación al efecto invernadero), sino también por el consumo de recursos no renovables (leña de bosques nativos y gas natural) en la producción de las importantes cantidades de energía requeridas en el proceso. Existen probadas experiencias del buen funcionamiento de los bloques comprimidos de suelo-cemento; sin embargo, no se han hallado investigaciones sobre el comportamiento de los bloques sin cemento. La eliminación del cemento de la mezcla base del mampuesto BTC responde fundamentalmente a dos razones: por un lado, la económica, debido al

precio del cemento, y por otro lado, la ambiental, que tiene que ver con el impacto que produce en el ambiente el proceso de fabricación del cemento.

2. Problemática a resolver

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 y 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.



De izquierda a derecha, Diego Chavarria, Manuel Zambrano y Fernando Galíndez.

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.

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. Su fabricación no demanda una tecnología sofisticada ni tampoco mano de obra calificada (Muller, M, 1997). 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.

Augenbroe (1998), por ejemplo, sugiere que el sector de la construcción comience a modificar su forma de trabajo, contemplando la satisfacción del usuario, el menor consumo de materia y energía y el menor impacto medioambiental, tal como se esquematiza en la figura 1.

Para evaluar medioambientalmente al sector de la construcción se requiere reconocer, cuantificar y calificar tanto los recursos consumidos como las emisiones generadas en las distintas etapas de los procesos.

Algunos criterios medioambientales para acceder a una selección del material de construcción medioambientalmente correcto se resumen a continuación:

■ **Ahorro energético.** En el proceso de fabricación principal del bloque sólo hay gasto de transporte de la tierra dentro

de la obra, hecho habitual ya que la tierra es un material al alcance de casi todos los proyectos. Además, hay que considerar que si la tierra proviene de los trabajos de excavación de la propia obra, el gasto energético consecuente queda repartido. Por otra parte, térmicamente es un material muy ventajoso que presentará gran ahorro energético en la climatización.

■ **Valorización de residuos.** Implica no sólo la utilización de desechos de otras industrias, sino también la posibilidad de reciclado del propio bloque de tierra, una vez concluida su vida útil.

■ **Tecnología limpia.** Durante el proceso de fabricación del bloque no se produce ningún tipo de contaminación, ni acústica, ni gaseosa, ni térmica; sólo se producen los residuos de las mermas, que son a la vez reciclables posteriormente como áridos y tierra inerte para construir nuevos bloques.

■ **Ausencia de toxicidad.** Durante el transcurso de su vida útil el material no desprende ningún tipo de radiación ni producto tóxico.

■ **Durabilidad.** Es un material durable y de fácil mantenimiento; no sufrirá el ataque de microorganismos si se elige el revestimiento adecuado.

■ **Por último, la economía del material brinda una alternativa al déficit habitacional, sobre todo en los países de Latinoamérica, donde alrededor de 135 millones de personas no cuentan con una vivienda digna, y por otro lado, plantea un acercamiento a una construcción más sustentable. Siguiendo los criterios de selección de materiales medioambientalmente correctos planteados por Fábregas (1998), se podría decir que el bloque de tierra comprimida sin cemento cumple con todos los requerimientos.**

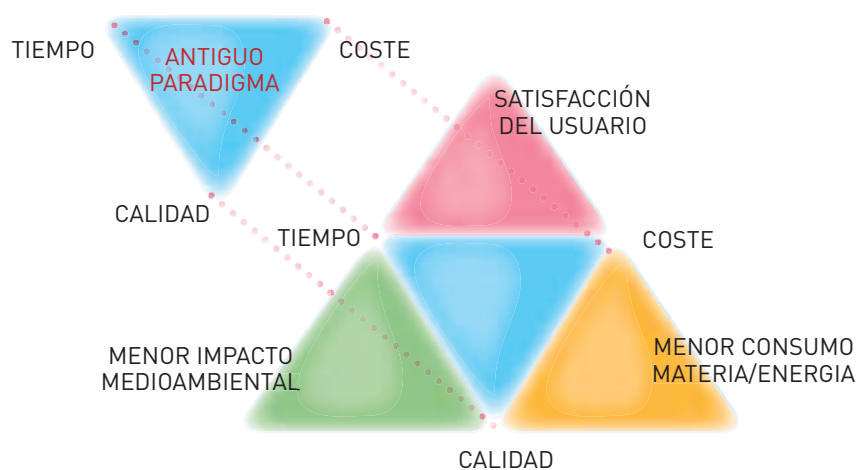


Figura 1. Nuevo paradigma hacia una construcción sostenible (Augenbroe, 1998).

Históricamente, el sector de la construcción ha necesitado grandes cantidades de materias primas y energía, lo que a su vez ha provocado grandes cantidades de emisiones contaminantes al medio ambiente

3. Marco teórico

Una de las propiedades destacadas de las arcillas es la cohesión que se genera entre sus partículas. La cohesión provoca la actividad de atracción y repulsión entre las partículas, actuando como cargas eléctricas con intensidad variable según la distancia entre ellas o distancia interlamina. Con un bajo contenido de humedad, las arcillas conforman un sólido coherente con densidades altas (Fratelli, Graciela; 1993). La presencia del agua altera esta cohesión. La inclusión de agua en el espacio interlamina causa la separación de las láminas, dando lugar al hinchamiento o degradación. Cuando aumenta la cantidad de agua entre las láminas, éstas se separan, disminuyendo las

fuerzas de cohesión y aumentando la repulsión electrostática (García Romero, Emilia; 2007). Debemos entonces aumentar el acercamiento de las partículas y evitar el ingreso de agua para mantener la cohesión natural de las arcillas.

Si bien la cohesión lograda por la compresión será decisiva para disminuir la absorción de agua en el mampuesto, no evitará la degradación paulatina de las capas superficiales del mismo, por efecto del contacto directo, que implica ingreso del agua en los primeros espacios interlaminares. La realización de un tratamiento superficial con hidrófugos podría evitar este fenómeno y estabilizar más el comportamiento del mampuesto. La investigación «Técnicas alternativas de impermeabilización para muros de adobe tradicionales», realizada en la Universidad Nacional de Tucumán (Argentina) por Irene C. Ferreyra, Stella M. Latina, Rafael Soria Nieto y Rafael F. Mellace, demuestra que el tratamiento superficial con hidrocarburos de mampuestos de tierra cruda (adobe tradicional) mejora el comportamiento de los mismos ante la presencia de agua.

El comportamiento complejo de las arcillas fue analizado desde el punto de vista físico-mecánico, ya que esto permite acceder a las propiedades que interesan a esta investigación. El estudio de los límites Atterberg, límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad y la carta de plasticidad, brindan una importante y amplia información sobre el comportamiento físico-mecánico de las arcillas. «La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla». (García Romero, Emilia; 2007).

4. Objetivos y propósito

4.1 Objetivo general

- Contribuir al desarrollo de la tecnología para la fabricación de mampuestos para la construcción de edificios, con bajo costo energético y ambiental y que puedan ser producidos por medio de autoconstrucción y/o pequeñas unidades productivas.

4.2 Objetivos específicos

- Desarrollar el procedimiento de fabricación de mampuestos tipo BTC sin añadir cemento, logrando buenas cualidades físicas y mecánicas, con el menor costo energético posible.
- Desarrollar una mejora en la máquina tipo SIMVA RAM, a fin de obtener alta presión de compactación y datos sobre la intensidad de la misma.



Ensayo a la compresión de un bloque BTC sin cemento.

- Trasladar los resultados de la investigación a un manual operativo para la fabricación de BTC adecuado para el fabricante de este tipo de material, con explicaciones claras y precisas, con procedimientos y unidades en función de un equipamiento mínimo disponible en obra.

4.3 Propósito

Posibilitar el uso del mampuesto tipo BTC en la construcción de edificios como una alternativa válida, ya que reúne cualidades de un material sustentable, con un comportamiento físico y mecánico recomendable, contribuyendo a la solución del problema del gran gasto energético que produce la construcción con materiales actualmente en uso.

5. Metodología

5.1 Hipótesis sustantiva

Se pueden fabricar mampuestos de tierra comprimidos (BTC) sin cemento y obtener comportamientos físicos y mecánicos recomendables, usando suelos de tipo arcilloso de mediana plasticidad, aplicando presión de compactación elevada, teniendo en cuenta la teoría de Proctor e impermeabilizando superficialmente el mismo con aceite usado de motores.

5.2 Hipótesis de trabajo

Si se fabrican mampuestos comprimidos de suelo-cemento, teniendo en cuenta las siguientes condiciones, se obtendrán comportamientos físicos (absorción de agua) y mecánicos (resistencia a la compresión y a la abrasión hídrica) recomendables, con suelo de tipo arcilloso, exceptuando aquellos con alto contenido de materia orgánica (sobre todo los suelos ácidos):

- Clasificando correctamente los suelos, determinando el contenido y tipo de arcillas en cada uno de ellos.
- Usando suelos de tipo arcillosos o arenas con un contenido de arcillas de mediana plasticidad (SC).
- Aumentando la presión de compactación, por lo menos a 8 kg/cm^2 , a fin de lograr un aumento en el peso unitario seco, considerando la humedad óptima, en función de la energía a aplicar, para así lograr el mayor acercamiento entre partículas (Proctor).
- Impermeabilizando superficialmente el mampuesto con aceite usado de motores.

Se establecieron las variables independientes y dependientes. Dentro del conjunto de variables dependientes se tuvieron en cuenta las propiedades físicas y mecánicas. En cuanto a las variables independientes, se propusieron el tipo de suelo y la presión al compactar.

5.3 Cuadro de variables

Variables independientes	Tipo de suelo	
	Presión al compactar	
Variables dependientes	Propiedades físicas	Absorción de agua
	Propiedades mecánicas	Resistencia a la compresión
		Resistencia a la abrasión hídrica

5.4 Diseño de los procedimientos

- Se analizaron tres tipos de tierras distintas y se clasificaron, según las normas correspondientes, mediante ensayos de granulometría, límite líquido y límite plástico (12 ensayos).
- Se hicieron ensayos tipo Proctor de la tierra T1, con energías de 6 kg/cm^2 y 8 kg/cm^2 ; de la tierra T2, con energías de 4 kg/cm^2 y 8 kg/cm^2 , y de la tierra TIII, con 8 kg/cm^2 (20 ensayos).
- Se fabricaron en total 114 probetas con la prensa CBR y con el molde para ensayo de Proctor tamaño pequeño de 10 centímetros de diámetro, de los tres tipos de tierras clasificadas, comprimidas a distintas presiones (4 , 6 y 8 kg/cm^2) a fin de realizar los ensayos de compresión, absorción y abrasión hídrica.

Autores como Augenbroe sugieren que la construcción debe modificar su forma de trabajo, contemplando la satisfacción del usuario, el menor consumo de energía y el menor impacto medioambiental



6. Recolección y procesamiento de datos

6.1 Clasificación de suelos

Tierra tipo T1

- Arena bien graduada
 - Pasante tamiz 200 (0,075 mm) = 10,13%
 - Límite líquido = 33,10
 - Límite plástico = 19,72
 - Índice de plasticidad = 33,1 - 19,72 = 13,38
- Suelo tipo SC – arena arcillosa de mediana plasticidad

Tierra tipo T2

- Arena bien graduada
 - Pasante tamiz 200 (0,075 mm) = 21%
 - Límite líquido = 33,10
 - Límite plástico = 19,72
 - Índice de plasticidad = 26,3 - 18,82 = 7,48
- Suelo tipo SC – arena arcillosa de baja plasticidad

Tierra tipo T3

- Arena bien graduada
 - Pasante tamiz 200 (0,075 mm) = 23,19%
 - Límite líquido = 37,45
 - Límite plástico = 21,64
 - Índice de plasticidad = 37,45 - 21,64 = 15,81
- Suelo tipo SC – arena arcillosa de mediana plasticidad

6.2 Ensayos Proctor

Tierra T1

Humedad óptima para energía de 8 kg/cm² = 17,34%

Tierra T2

Humedad óptima para energía de 8 kg/cm² = 21,6%

Tierra T3

Humedad óptima para energía de 8 kg/cm² = 24,00%



6.3 Ensayos a la compresión

6.3.1 Ensayos a la compresión de probetas de tierra T1

Tabla 1. Ensayos a la compresión de probetas de tierra T1.

Presión de compactación 4 kg/cm ² - Probetas ensayadas 6 (seis)	
Peso específico medio: 1,6598	Tensión media: 15,09
Presión de compactación 6 kg/cm ² - Probetas ensayadas 6 (seis)	
Peso específico medio: 1,713	Tensión media: 25,49
Presión de compactación 8 kg/cm ² - Probetas ensayadas 6 (seis)	
Peso específico medio: 1,737	Tensión media: 35,20

6.3.2 Ensayos a la compresión de probetas de tierra T2

Tabla 2. Ensayos a la compresión de probetas de tierra T2.

Presión de compactación 4 kg/cm ² - Probetas ensayadas 6 (seis)	
Peso específico medio: 1,57	Tensión media: 14,56
Presión de compactación 6 kg/cm ² - Probetas ensayadas 6 (seis)	
Peso específico medio: 1,60	Tensión media: 18,73
Presión de compactación 8 kg/cm ² - Probetas ensayadas 6 (seis)	
Peso específico medio: 1,62	Tensión media: 24,33

6.3.3 Ensayos a la compresión de probetas de tierra T3

Tabla 3. Ensayos a la compresión de probetas de tierra T3.

Presión de compactación 8 kg/cm ² - Probetas ensayadas 6 (seis)	
Peso específico medio: 1,614	Tensión media: 43,93

Se observa un importante incremento en la resistencia media a la compresión con respecto a los valores obtenidos para las tierras T1 y T2, relacionados con que esta tierra (T3) tiene una mayor plasticidad.

Analizando los números expuestos en los párrafos anteriores se deduce que existe una relación entre la resistencia a la compresión de las probetas y la plasticidad de las arcillas con que se fabricaron.

La hipótesis básica de la presente investigación es que se pueden fabricar BTC sin cemento y obtener comportamientos físicos y mecánicos recomendables

6.4 Ensayos de absorción de agua

6.4.1 Ensayos de absorción de agua probetas de tierra tipo T1

Tabla 4. Tiempos medios de absorción - Tierra tipo T1.

Presión al compactar (kg/cm ²)	Tiempo medio comenzó disgregarse	Tiempo medio Rotura
4,00	0h 20min	1h 50min
6,00	0h 40min	2h 03min
8,00	1h 45min	3h 23min
Probeta 8 kg/cm ² s/aceite	0h 05min	1h 55min

En principio, se observa la gran diferencia de tiempo para comenzar a disgregarse entre la probeta con aceite (promedio 1h 40 min) y la sin aceite (0h 05min), diferencia que se reduce en cuanto al tiempo de rotura, que para la primera es de promedio 3h 20 min y para la segunda de 1h 55 min.

También se aprecia un aumento de tiempo para comenzar a disgregarse y para la rotura en función del aumento de la presión de compactación.

6.4.2 Ensayos de absorción de agua probetas de tierra tipo T2

Tabla 5. Tiempos medios de absorción - Tierra tipo T2.

Presión al compactar (kg/cm ²)	Tiempo medio comenzó disgregarse	Tiempo medio rotura
4,00	0h 50min	1h 50min
6,00	2h 43min	6h 56min
8,00	3h 43min	8h 08min
Probeta 8 kg/cm ² s/aceite	0h 05min	2h 00min

En el caso de la tierra T2 observamos aún mayor diferencia entre los valores que en la tierra T1. El comienzo de la disgregación en la probeta con aceite se verificó en un promedio de 2h 40min, mientras que la sin aceite en sólo 5 min. En cuanto a la rotura, la diferencia también es amplia: 6h 30min para la primera y 2h 00 min para la segunda.



Probetas ensayadas a absorción de agua.

6.4.3 Ensayos de absorción de agua probetas de tierra tipo T3

En el caso de la tierra T3 se ensayan sólo probetas de 8 kg/cm², teniendo en cuenta que con los ensayos anteriores se obtuvieron suficientes datos como para analizar la absorción de agua en función de la compactación.

Tabla 6. Tiempos medios de absorción - Tierra tipo T3.

Probetas de 8 kg/cm ² c/aceite		
Probetas	Comienzo disgregarse	Rotura (15%)
P1	0h 35min	1h 24min
P2	0h 42min	2h 06min
P3	0h 35min	1h 57min
Tiempo medio	0,59	1,98
Tiempo medio sexagesimal	0h 35min	2h 00min

Probetas de 8 kg/cm ² s/aceite		
Probetas	Comienzo disgregarse	Rotura (15%)
P1	0h 02min	0h 40min

6.5 Ensayos de abrasión hídrica por goteo

6.5.1 Ensayos de abrasión hídrica probetas de tierra tipo T1

Tabla 7. Tiempos medios de abrasión hídrica - Tierra tipo T1.

Probetas	Comienza impronta	Impronta a 1 hora (mm)	Sin impronta a 1h 30min
Probetas 4 kg/cm ²	0h 19min	6,3	No
Probetas 6 kg/cm ²	0h 22min	5,33	No
Probetas 8 kg/cm ²	0h 52min	1,37	No
Probetas 8 kg/cm ² s/aceite	0h 10min	4,65	No

Observamos una importante diferencia en el comienzo de la impronta, entre la probeta con aceite (promedio 0h 52min) y la sin aceite (0h 10min). También en la profundidad de la impronta, de 1,35 mm promedio para la primera y de 4,65 mm para la segunda.

6.5.2 Ensayos de abrasión hídrica probetas de tierra tipo T2

Tabla 8. Tiempos medios de abrasión hídrica - Tierra tipo T2.

Probetas	Comienza impronta	Impronta a 1 hora (mm)	Sin impronta a 1h 30min
Probetas 4 kg/cm ²	-	-	Si
Probetas 6 kg/cm ²	-	-	Si
Probetas 8 kg/cm ²	-	-	Si
Probetas 8 kg/cm ² s/aceite	0h 5min	5,00	No

El comportamiento de estas probetas en el ensayo de goteo merece ser analizado con detenimiento. En principio, podemos observar que han sido las de mejor comportamiento,

no presentando impronta en el 90% de los casos, existiendo una marcada diferencia entre las que están tratadas con aceite y las que no.

6.5.3 Ensayos de abrasión hídrica probetas de tierra tipo T3

En el caso de la tierra T3 se ensayan sólo probetas de 8 kg/cm², teniendo en cuenta que con los ensayos anteriores se obtuvieron suficientes datos como para analizar la abrasión hídrica en función de la compactación.

Tabla 9. Tiempos medios de abrasión hídrica - Tierra tipo T3.

Probetas	Comienza impronta	Impronta a 1 hora (mm)	Sin impronta a 1h 30min
Probetas 8 kg/cm ²	0h 20min	7,07	No
Probetas 8 kg/cm ² s/aceite	0h 4min	8,00	No

6.5 Ensayos de contracción lineal de Alcock

Se tomaron los valores de contracción en centímetros y se compararon con la longitud total de la probeta.

Tabla 10. Valores de contracción lineal.

Tipo de tierra	Contracción (cm)	Longitud total	Porcentaje
T2	2,09	61	3,43
T1	2,47	61	4,05
T3	3,22	61	5,28

7. Tratamiento y análisis de datos

El material con que se trabajó cumplió con las siguientes condiciones: dos tierras obtenidas de excavaciones para fundaciones de edificios y una tercera de una cantera de arcilla para ladrillos.

La clasificación de los tres tipos de tierras arrojó como resultado tres arenas arcillosas: dos de mediana y una tercera de baja plasticidad. La importancia de este dato radica en que generalmente son tierras abundantes. La tierra más apta resultó ser la T3, clasificada como arena arcillosa de mediana plasticidad, límite líquido 37,45, límite plástico 21,64 e índice de plasticidad 15,81 (ver pág. 6) y 23,19% material pasante tamiz N° 200. Se hace evidente, comparando con los valores obtenidos en las otras dos tierras, que lo importante es la plasticidad y la cantidad de partículas menores a 0,075 mm.

Es importante destacar los resultados obtenidos en los ensayos a compresión. En las tierras T1, T2 y T3 se obtuvieron valores que permitieron definir un comportamiento en función de las variables independientes.



Figura 2a. Resistencia media a la compresión – peso específico medio – tierra T1.

7.1 Análisis del comportamiento de la variable «resistencia a la compresión»

Se comenzó analizando el comportamiento de las tierras, considerando la variable dependiente «resistencia a la compresión» en función de la variable independiente «presión al compactar». Según los resultados de los ensayos para las tierras T1 y T2, se observa en ambos casos que la «resistencia a la compresión» aumenta con el aumento de la «presión al compactar» (aumento del peso específico o PE), como se puede ver en las figuras 2(a) y 2(b).

En la figura 2(a) del tipo de tierra T1, para un PE de 1,66 gr/cm³ corresponde una resistencia de 15,1 kg/cm²; para un PE de 1,71 gr/cm³, una resistencia de 25,49 kg/cm², y para un PE de 1,74 gr/cm³, una resistencia de 35,2 kg/cm².

En la figura 2(b) del tipo de tierra T2, para un PE de 1,57 gr/cm³ corresponde una resistencia de 14,56 kg/cm²; para un PE de 1,60 gr/cm³, una resistencia de 18,73 kg/cm², y para un PE de 1,622 gr/cm³, una resistencia de 24,33 kg/cm².

Esto vendría a demostrar experimentalmente lo enunciado de forma teórica sobre la importancia de lograr un acercamiento de las partículas de arcilla, para lograr con ello un aumento en la fuerza electroestática intermolecular de cohesión.

En cuanto al comportamiento de las tierras analizando la variable dependiente «resistencia a la compresión», en función de la variable independiente «tipo de suelo» según su plasticidad, manteniendo constante la presión de compactación en 8 kg/cm², se observa en los ensayos de los tres tipos distintos de tierra (T1, T2 y T3) un aumento significativo de los valores de «resistencia a la compresión» cuando el valor de «índice de plasticidad» (IP) es mayor. Para un IP 7,69 tenemos una resistencia de 25 kg/cm²; para un IP de 13,38, una resistencia de 32,2 kg/cm², y para un IP de 15,81, una resistencia de 45 kg/cm² (figura 2(c)).

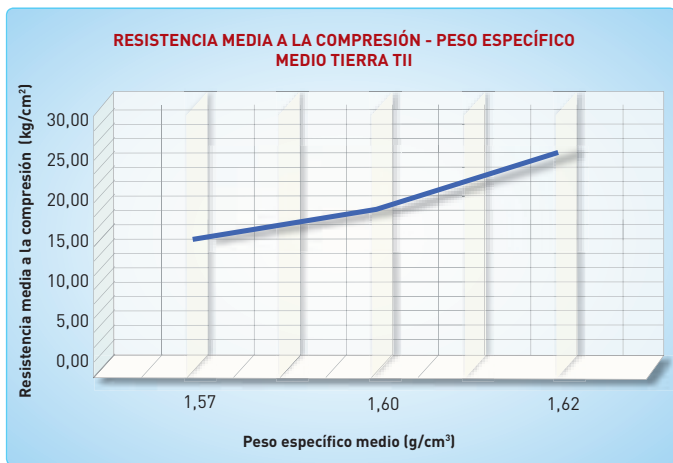


Figura 2b. Resistencia media a la compresión–peso específico medio – tierra T2.

Esto demostraría experimentalmente que a un mayor «índice de plasticidad» (manteniendo constante la presión al compactar) corresponde mayor «resistencia a la compresión».

Por un lado, advertimos la importancia de aumentar la presión de compactación, y por otro, la de tener en cuenta la plasticidad del suelo a usar. ¿Cuáles son los límites de estas variables? El límite de aumento de presión está dado por una cuestión física para el material y por una cuestión mecánica para la máquina que compactará. Por otro lado, el límite en la plasticidad del suelo responde al hecho de que ésta está asociada a la contracción del mismo, y dicha contracción ocasiona problemas de fisuras difíciles de resolver. Luego el criterio será lograr una presión que nos garantice, con un suelo adecuado y la presión necesaria, la resistencia suficiente para construir un muro. Éste sería el supuesto de la tierra T3 compactada a 8 kg/cm² que nos dio valores de resistencia media a la compresión de 44 kg/cm², valor muy aceptable para un mampuesto tipo BTC.

7.2 Análisis del comportamiento de la variable «absorción de agua»

En relación a la variable dependiente «absorción de agua», los datos más importantes son los que resultan de comparar el comportamiento de las probetas impregnadas en aceite y las que no lo están. Pero es importante destacar que en los ensayos con las tierras T1 y T2 se determinó que también existe una relación en la absorción de agua con la presión de compactación.

Se observa claramente en las tablas 4, 5 y 6, en los dos tipos de tierra, que tanto el tiempo en que comenzaron a disgregarse las probetas como el tiempo medio que llegaron a la rotura están relacionados con la presión de compactación: a medida que aumenta la compactación lo hace el tiempo para comenzar a disgregarse y también el de rotura. Igualmente se puede verificar que los resultados de los ensayos

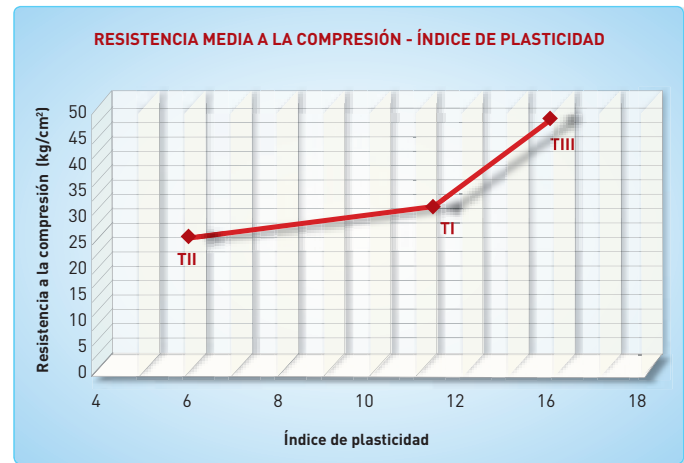


Figura 2c. Resistencia media a la compresión – índice de plasticidad.

de la tierra T2 arrojan valores en la mayoría de los casos, salvo en los de las probetas sin aceite y las compactadas a 4 kg/cm², mayores que los de la tierra T1, por una diferencia que supera las dos veces. Este fenómeno puede indicar que la tierra T2 absorbió más aceite que la T1, creando una película de mayor espesor.

En cuanto a la tierra tipo T3, sólo se ensayaron las probetas compactadas a 8 kg/cm², y los resultados son menores que los de las otras tierras.

Mientras en la T1 (8 kg/cm²) y en la T2 (8 kg/cm²) los tiempos para la rotura son de 3h 23min y 8h 08min respectivamente, para la T3 es de 2h 00min (ver tablas 4, 5 y 6). En todo caso, este último valor de tiempo para la rotura supera con mucho los 40 minutos que empleó la probeta sin aceite, y si analizamos el tiempo de comienzo de la disgregación, la diferencia es muy significativa: de 2 min la sin aceite a 35 min la con aceite.

Si comparamos el comportamiento de las probetas compactadas a 8 kg/cm² sin aceite y con aceite de las tierras T1 y T2, es notoria la diferencia, tanto en el tiempo en que comienzan a disgregarse como en el tiempo de rotura. En las probetas no tratadas con aceite el tiempo para comenzar a disgregarse es de 0h 05min, y en la probeta con aceite es de 2h 40min. En cuanto al tiempo de rotura, para la primera es de promedio 1h 55min y para la segunda, de 5h 30min. Proporcionalmente se reduce la

En la investigación se han empleado tres tipos de material: dos tierras obtenidas de excavaciones para fundaciones de edificios y otra de una cantera de arcilla para ladrillos

diferencia en el tiempo de rotura, fenómeno que podría deberse a que lo más importante de la cobertura de aceite es la demora en la disgregación de las primeras capas de partículas; de ahí que una vez rota esta barrera el proceso sigue el curso normal. Corroboraría este concepto el hecho de que los resultados del ensayo para probetas sin aceite de los dos tipos de tierra son casi iguales (5 min para comenzar y 2h para terminar), mientras que en las tratadas existe una importante diferencia, ya mencionada en el párrafo anterior.

7.3 Análisis del comportamiento de la variable «abrasión hídrica»

Respecto a la variable dependiente «abrasión hídrica», los resultados de los ensayos guardan cierta similitud de comportamiento con los de absorción de agua.

Los valores más altos son para la tierra tipo T2, siguiendo luego la T1 y la T3. Este fenómeno podría estar relacionado con la plasticidad de las tierras, que mientras es mayor, menor es la absorción de aceite. Además, la tierra T2, según su granulometría, si bien tiene una mayor cantidad de finos, por su ubicación en la carta de plasticidad indica que un gran porcentaje de ellos son limos. Igualmente, el comportamiento de la tierra T3 con aceite mejora de manera importante respecto a la sin aceite.

7.4 Ensayo de Alcock

La importancia de establecer una relación entre el índice de plasticidad y la contracción lineal, según el ensayo de Alcock, radica en la sencillez de esta prueba, que nos permitiría en campo determinar si la tierra disponible es apta.

Al observar la figura 3 se puede establecer que, efectivamente, existe una relación de crecimiento de valores entre ambas variables. Esto permitiría establecer rangos de valores de contracción lineal, que permitan determinar si la tierra es apta.

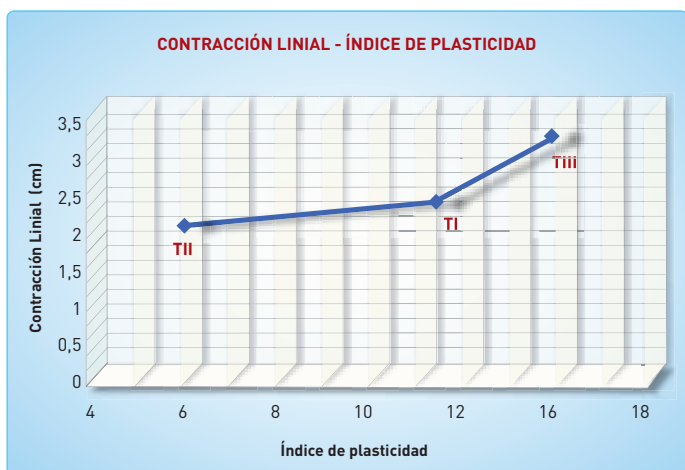


Figura 3. Contracción lineal – índice de plasticidad.



8. Conclusiones

- Los resultados obtenidos con probetas del mismo tipo de tierra comprimidas a diferentes presiones demuestran empíricamente que la resistencia a la compresión aumenta conforme aumenta la presión de compactación de dichas probetas.
- También se demuestra empíricamente, a partir de los resultados obtenidos con probetas de distintos tipos de tierra, que la resistencia a la compresión aumenta conforme aumenta la plasticidad de dichas tierras.
- La tierra tipo T3, clasificada como arena arcillosa (SM) de mediana plasticidad, con un índice de plasticidad de 15,81 y un límite líquido de 26,3 compactada a 8 kg/cm², arrojó valores de resistencia media a la compresión de 44 kg/cm², valor muy próximo a los valores de resistencia media de los BTC con cemento, también aptos para la construcción de viviendas.
- Para mejorar la resistencia del BTC sin cemento se puede aumentar la compactación y/o hacerlo con tierras de mayor plasticidad. El límite de esas variables está dado por la tecnología propuesta para compactar y por el comportamiento de las arcillas de alta plasticidad cuando pierden humedad. Sin embargo, disponiendo de tecnología que logre mayores presiones para arcillas de mayor plasticidad podrían lograrse mampuestos de mayor calidad.



La mejora de la resistencia del BTC sin cemento se puede obtener mediante un aumento de la compactación de la tierra o con el empleo de tierras de mayor plasticidad

- El procedimiento de impermeabilizar los bloques superficialmente con aceite usado, para estabilizar la reacción de las arcillas ante la presencia de agua, dio mejores resultados en arcillas de baja plasticidad. No obstante, el comportamiento de las probetas de arcillas de mayor plasticidad tratadas mejora en proporción de tres a uno respecto a las que no tienen tratamiento. En cuanto a sus implicaciones medioambientales durante el proceso de tratamiento, el impacto es mínimo, ya que éste es por inmersión de corto plazo y la manipulación es breve. Respecto a la estabilidad y emisiones al medio ambiente del producto tratado, tampoco presenta riesgo debido a que el espesor de la película es sólo de décimas de milímetro y queda recubierto por el revoque. Los únicos compuestos que pueden tener emisiones peligrosas son los PCBs, cuya cantidad en este tipo de aceites no sobrepasa las 20 ppm, lejos de la 50 ppm citadas por las normas internacionales.
- En relación al comportamiento hídrico de las probetas sin aceite, en todos los ensayos dieron valores menores que las con aceite y muy similares entre sí. Este resultado, considerando que todas las probetas ensayadas estaban comprimidas a 8 kg/cm², sumado a los obtenidos en las probetas con aceite, podría indicar que dentro de los valores de plasticidad con que se trabajó, la mayor plasticidad no mejora el comportamiento hídrico. Esto se debería a que el fenómeno de disgregación comienza en la superficie, lugar en donde el mampuesto está más seco, y por lo tanto, es más propenso a absorber agua por los poros. ◆

PARA SABER MÁS

- [1] Arena, Alejandro Pablo. Un instrumento para el análisis y evaluación ambiental de productos y tecnologías. El análisis de ciclo de vida. I – Consideraciones metodológicas, usos y limitaciones. INCIHUSA. CRICYT. Mendoza.
- [2] Arena, Alejandro Pablo. Un instrumento para el análisis y evaluación ambiental de productos y tecnologías. El análisis de ciclo de vida. II – Adecuación para el sector edilicio. INCIHUSA. CRICYT. Mendoza.
- [3] Barbata i Sola, Gabriel. Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI. Tesis doctoral. Barcelona, 2002.
- [4] De La Fuente Lavalle, Eduardo. Suelo – Cemento. Sus usos propiedades y aplicaciones. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. 1995.
- [5] Enteiche, Augusto. Suelo – Cemento. Su aplicación en la edificación. Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento. Bogotá, 1963
- [6] McHenry JR, Paul Graham (1996). Adobe, cómo construir fácilmente. México: Trillas. 1996.
- [7] Mellace Rafael; Rotondaro, Rodolfo. Ensayos de suelos. Proyecto de componentes constructivos de tierra cruda. Publicaciones LE-ME. Tucumán, 1996.
- [8] Mitchell, J.; Arena, A.P. Evaluación ambiental comparativa de materiales mampuestos aplicados en muros de viviendas en regiones áridas andinas. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. INCIHUSA. CRICYT. Mendoza.
- [9] Minke, Gernot. Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra. Forschungslabor für experimentelles Bauen. Universidad de Kassel, Alemania, 2001.
- [10] Minke, Gernot. Manual de construcción en tierra. Ed. Fin de Siglo. Uruguay, 2005.
- [11] Olarte, Guzmán. Manual de edificación con tierra armada. Conferencia de Política Territorial. Madrid, 1993.
- [12] V Siacot. Construir con tierra ayer y hoy. INCIHUSA – CRICYT. Argentina. 2006.
- Torrente; Sagües. Estabilización de suelos. Suelo – Cemento. Editores Técnicos Asociados. Barcelona.
- [13] Varios. La tierra cruda en la construcción del hábitat – Memoria seminario 2002. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, 2002.
- [14] Varios. Memorias del III Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra. «La tierra cruda en la construcción del hábitat». Universidad Nacional de Tucumán, 2004.
- [15] Vázquez Espi, Mariano. Construcción e impacto ambiental: el caso de la tierra y otros materiales. Madrid, 2001.