

BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS (BTC) SIN ADICIÓN DE CEMENTO

Fernando Galíndez

Colaboradores: **Gabriela Polliotto ; Manuel Zambrano**

Universidad Católica de Salta – Facultad de Arquitectura – Fundación Mapfre
Entre Ríos 451 – P.A.- 4400 Salta - Tel-fax: 0387-4214537 - mail: ecosol@ucasal.net

Palabras clave: bloques, arcilla, presión, impermeabilización

RESUMEN

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 que tiene que ver 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 adicionar 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 adicionar 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 adicionarlos con arenas o lo que es peor con mayor cantidad de cemento. Esto a su vez 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 y hacerlo mediante métodos que garanticen el cumplimiento de las premisas teóricas en fábrica o en obra, será el principal aporte 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 empíricamente 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 confiable 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 - 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 aporte 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, 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.

Los diferentes sistemas constructivos no han logrado reemplazar, a lo largo del tiempo, 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 "status". 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 que sigue:

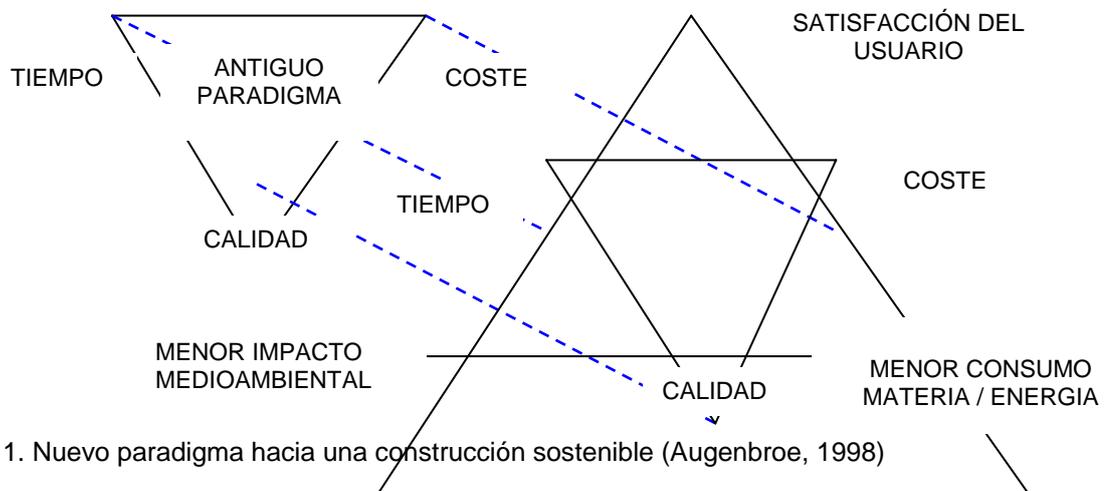


Figura 1. Nuevo paradigma hacia una construcción sostenible (Augenbroe, 1998)

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: que 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.

3. MARCO TEORICO

Una de las propiedades destacadas de las Arcillas es la cohesión que se genera entre sus partículas. La cohesión deviene 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 deviene en 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. El realizar 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 ADOBES TRADICIONALES” realizada en el Universidad Nacional de Tucumán – Argentina, por Irene C. Ferreyra - Stella M. Latina - Rafael Soria Nieto- Rafael F. Mellace, prueba 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 basta 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 PROPOSITO

4.1.- Objetivo General

- Aportar 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 adicionar 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.
- Llevar los resultados de la Investigación a un manual operativo para la fabricación de BTC, adecuado a quien fabricará este tipo de material, con explicaciones claras y precisas, con procedimientos y unidades en función de un equipamiento mínimo disponible en obra.

5.3.- 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, aportando 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 tipo arcillosos 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/cm², a fin de lograr un aumento en el peso unitario seco, considerando la humedad óptima, en función a 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.

6.3. Cuadro de Variables

VARIABLES INDEPENDIENTES	TIPO DE SUELO	
	PRESION AL COMPACTAR	
VARIABLES DEPENDIENTES	PROPIEDADES FÍSICAS	ABSORCIÓN DE AGUA
	PROPIEDADES MECÁNICAS	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
		RESISTENCIA ABRASIÓN HIDRICA

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 6Kg/cm² y 8kg/cm²; de la tierra T2 con energías de 4kg/cm² y 8kg/cm² y de la tierra TIII con 8kg/cm². (20 ensayos).
- Se fabricaron en total 114 Probetas con la Prensa CBR y con el molde para ensayo de Proctor tamaño chico de 10cm de diámetro, de los tres tipos de tierras clasificadas, comprimidas a distintas presiones (4, 6 y 8Kg/cm²) a fin de realizar los ensayos de Compresión, Absorción y Abrasión hídrica..



Foto probetas para diferentes ensayos

6. RECOLECCION 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 Optima para energía de 8Kg/cm² = 17,34%

Tierra T2

Humedad Optima para energía de 8Kg/cm² = 21,6%

Tierra T3

Humedad Optima para energía de 8Kg/cm² = 24,00%



Foto preparación ensayo Proctor

6.3. Ensayos a la Compresión

6.3.1. Ensayos a la Compresión de probetas de tierra T1

Presión de compactación 4 Kg/cm² - Probetas ensayadas 6 (seis)

Peso específico medio	Tensión Media
1,6598	15,09

Presión de compactación 6 Kg/cm² - Probetas ensayadas 6 (seis)

Peso específico medio	Tensión Media
1,713	25,49

Presión de compactación 8 Kg/cm² - Probetas ensayadas 6 (seis)

Peso específico medio	Tensión Media
1,737	35,20

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

6.3.2.- Ensayos a la compresión de probetas de tierra T2

Presión de compactación 4 Kg/cm² - Probetas ensayadas 6 (seis)

Peso específico medio	Tensión Media
1,57	14,56

Presión de compactación 6 Kg/cm² - Probetas ensayadas 6 (seis)

Peso específico medio	Tensión Media
1,60	18,73

Presión de compactación 8 Kg/cm² - Probetas ensayadas 6 (seis)

Peso específico medio	Tensión Media
1,62	24,33

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

6.3.3. Ensayos a la compresión de probetas de tierra T3

Presión de compactación 8 Kg/cm² – Probetas ensayadas 6 (seis)

Peso específico medio 1,614	Tensión Media 43,93
--	--------------------------------------

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

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.

6.4. Ensayos de Absorción de Agua

6.4.1. Ensayos de Absorción de Agua probetas de tierra tipo T1

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

Tabla 4: Tiempos medios de Absorción - Tierra tipo T1

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

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

6.4.2. Ensayos de Absorción de Agua probetas de tierra tipo T2

Presión al Compactar (kg/cm ²)	Tiempo medio comenzó Disgregarse	Tiempo medio Rotura
4,00	0h 50'	1h 50'
6,00	2h 43'	6h 56'
8,00	3h 43'	8h 08'
Probeta 8kg/cm ² s/aceite	0h05'	2h00'

Tabla 5: Tiempos medios de Absorción - Tierra tipo T2



Foto probetas ensayadas a absorción de agua

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 2h40', mientras que la sin aceite en sólo 5 minutos. En cuanto a la rotura la diferencia también es amplia, 6h30' para la primera, en tanto que la segunda 2h00'

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 8Kg/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.

Probetas de 8Kg/cm ² c/aceite		
Probetas	Comienzo Disgregarse	Rotura (15%)
P1	0,50	1,90
P2	0,70	2,10
P3	0,58	1,95
Tiempo medio	0,59	1,98
Tiempo medio sexagesimal	0h 35'	2h 00'
Probetas de 8Kg/cm ² s/aceite		
Probetas	Comienzo Disgregarse	Rotura (15%)
P1	0h 02'	0h 40'

Tabla 6: Tiempos medios de Absorción - Tierra tipo T3

6.5. Ensayos de Abrasión Hídrica por goteo

6.5.1. Ensayos de Abrasión Hídrica probetas de tierra tipo T1

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

Tabla 7: Tiempos medios de Abrasión hídrica - Tierra tipo T1

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

6.5.2. Ensayos de Abrasión Hídrica probetas de tierra tipo T2

Probetas	Comienza Impronta	Impronta a 1 hora (mm)	Sin Impronta a 1h 30'
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 5'	5,00	No

Tabla 8: Tiempos medios de Abrasión hídrica - Tierra tipo TII

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 y que existe 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 8Kg/cm² teniendo en cuenta que, con los ensayos anteriores se obtuvieron suficientes datos como para analizar la Abrasión hídrica en función de la Compactación.

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

Tabla 9: Tiempos medios de Abrasión hídrica - Tierra tipo T3

6.6. Ensayos de Contracción lineal de Alcock

Se tomaron los valores de contracción en cm y se compararon con el largo total de la probeta.

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

Tabla 10: Valores de contracción lineal

7. TRATAMIENTO Y ANALISIS 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 dio 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, Limite Líquido 37,45, Límite Plástico 21,64 e Índice de plasticidad 15,81 (ver pág. 5) 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.

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 a compactar (aumento del peso específico), como se puede ver en las figuras 2(a) y 2(b).

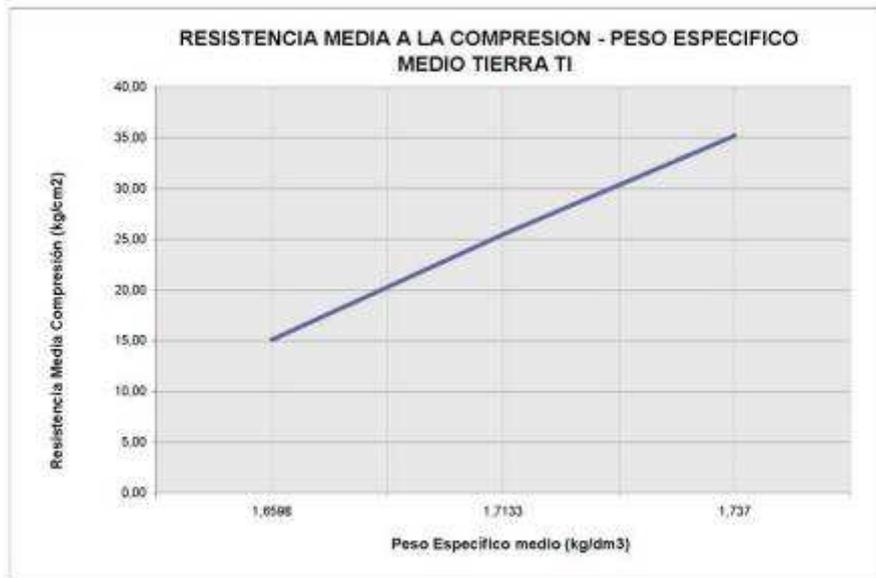


Figura 2(a) Resistencia media a la Compresión – Peso Específico medio – Tierra TI

En la figura 2(a) del tipo de tierra T1, para un P.E. de $1,66\text{gr/cm}^3$ corresponde una resistencia de $15,1\text{kg/cm}^2$, para un P.E. de $1,71\text{gr/cm}^3$ una resistencia de $25,49\text{kg/cm}^2$ y para un P.E. de $1,74\text{gr/cm}^3$ una resistencia de $35,2\text{kg/cm}^2$.

En la figura 2(b) del tipo de tierra T2, para un P.E. de $1,57\text{gr/cm}^3$ corresponde una resistencia de $14,56\text{kg/cm}^2$, para un P.E. de $1,60\text{gr/cm}^3$ una resistencia de $18,73\text{kg/cm}^2$ y para un P.E. de $1,622\text{gr/cm}^3$ una resistencia de $24,33\text{kg/cm}^2$.

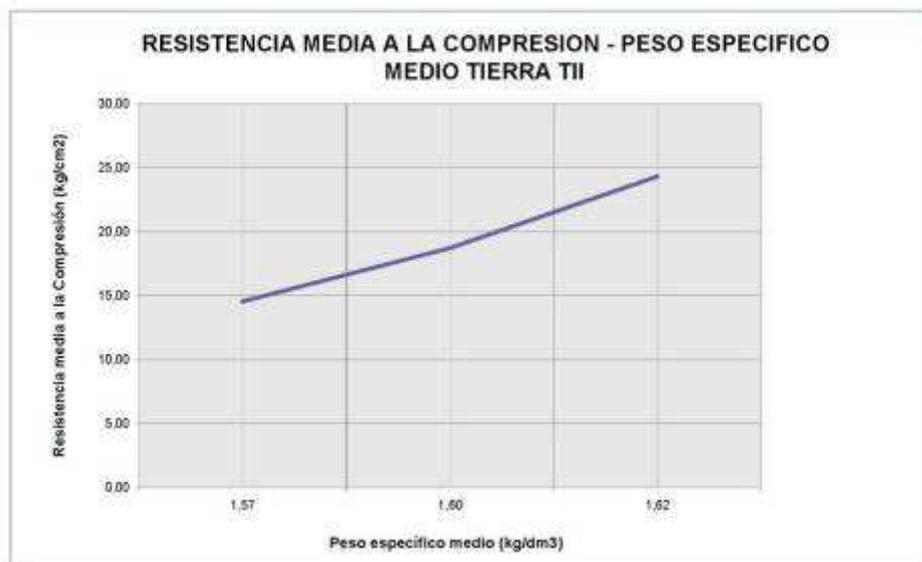


Figura 2(b) Resistencia media a la Compresión–Peso Específico medio – Tierra T2

Esto vendría a demostrar experimentalmente lo enunciado teóricamente sobre la importancia de lograr un acercamiento de las partículas de arcilla, para lograr con esto un aumento en la fuerza electrostática 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 8kg/cm^2 , 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 (I.P.) es mayor. Para un I.P. 7,69 tenemos una resistencia de 25Kg/cm^2 , para un I.P. de 13,38 una resistencia de $32,2\text{kg/cm}^2$ y para un I.P. de 15,81 una resistencia de 45kg/cm^2 (Figura 2(c))



Figura 2(c) Resistencia media a la Compresión – Índice de Plasticidad

Esto demostraría experimentalmente que a un mayor Índice de Plasticidad (manteniendo constante la presión al compactar) corresponde una mayor Resistencia a la Compresión.

Por un lado verificamos 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 una cuestión mecánica para la máquina que compactará. Por otro lado el límite en la Plasticidad del Suelo viene dado en la circunstancia 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. Este sería el caso de la tierra T3 compactada a 8kg/cm^2 que nos dio valores de resistencia media a la compresión de 44Kg/cm^2 , 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 (ver tablas siguientes)

Se observa claramente en las tablas de páginas 7 y 8, 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.

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

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

Mientras en la T1 (8kg/cm²) y la T2 (8kg/cm²) los tiempos para la rotura son 3h 23' y 8h 08' respectivamente, para la T3 es de 2h 00' (ver tablas páginas 7 y 8). De todos modos este último valor de tiempo para la rotura está muy por arriba de los 40' que le tomó a la probeta sin aceite y si analizamos el tiempo de comienzo de la disgregación, la diferencia es muy significativa de 2' la sin aceite a 35' la con aceite.

Si comparamos el comportamiento de las probetas compactadas a 8kg/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 05', y en la probeta con aceite, promedio 2h 40' y en cuanto al tiempo de rotura que para la primera es de promedio 1h 55' y para la segunda es de 5h 30'. Proporcionalmente se achica la diferencia en el tiempo de rotura, fenómeno que podría deberse a que lo más importante de la cobertura de aceite que 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 que los resultados del ensayo para probetas sin aceite de los dos tipos de tierra son casi iguales 5' 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 la T1 y por último la T3. Este fenómeno podría estar relacionado con la Plasticidad de las tierras, que mientras mayor es menos 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 gran porcentaje de ellos son Limos. Igualmente el comportamiento de la tierra T3 con aceite mejora de manera importante respecto a la sin aceite.

8.4.- 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 este ensayo que nos permitiría en campo determinar si la tierra disponible es apta.



Figura 3: Contracción lineal – Índice de plasticidad

Al observar la figura 3, Contracción Lineal – Índice de Plasticidad, se puede establecer que efectivamente hay 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.

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 8kg/cm², dio valores de resistencia media a la compresión de 44Kg/cm², valor muy próximo a los valores de resistencia media de los BTC con cemento, además 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 contando con tecnología que logre mayores presiones para arcillas de mayor plasticidad podría lograrse mampuestos de mayor calidad.

- 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 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 8kg/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 más propenso a absorber agua por los poros.
- En referencia al ensayo de Contracción Lineal de Alcock se puede establecer que la tierra es apta con valores de contracción entre 3cm a 4cm.

BIBLIOGRAFIA

- ALDERETE, Carlos; MELLACE Rafael. *Ensayos Físicos de Suelos y Componentes constructivos de tierra cruda*. Publicaciones LEME. Tucumán 1996
- 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.
- 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.
- BARBETA I SOLA, GABRIEL. *Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI*. Tesis doctoral. Barcelona, 2002.-
- DE LA FUENTE LAVALLE, Eduardo. *Suelo – Cemento. Sus usos propiedades y aplicaciones*. Instituto Mexicano del cemento y del Concreto. 1995
- ENTEICHE, Augusto. *Suelo – Cemento. Su aplicación en la edificación*. Centro Interamericano de vivienda y planeamiento. Bogotá 1963
- MCHENRY JR, Paul Graham(1996). *Adobe, como construir fácilmente*. México: Trillas. 1996
- MELLACE Rafael; ROTONDARO, Rodolfo. *Ensayos de Suelos. Proyecto de componentes constructivos de tierra cruda*. Publicaciones LEME. Tucumán 1996
- 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.
- MINKE, Gernot. *Manual de Construcción para Viviendas Antisísmicas de Tierra*. Forschungslabor für Experimentelles Bauen. Universidad de Kassel, Alemania. 2001.
- MINKE, Gernot. *Manual de Construcción en Tierra*. Ed. Fin de Siglo. Uruguay 2005
- OLARTE – GUZMÁN. *Manual de Edificación con Tierra Armada*. Conserjería de política territorial. Madrid, 1993
- V SIACOT. *Construir con tierra Ayer y Hoy*. INCIHUSA – CRICYT. Argentina. 2006 -
- TORRENTE; SAGÜES. *Estabilización de Suelos. Suelo – Cemento*. Editores Técnicos Asociados. Barcelona
- VARIOS. *La Tierra Cruda en la Construcción del hábitat – Memoria seminario 2002* Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, 2002
- VARIOS. *Memorias del III Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra*. “La tierra cruda en la construcción del habitat”. Universidad Nacional de Tucumán. 2004
- VAZQUEZ ESPI, Mariano. *Construcción e impacto ambiental: el caso de la tierra y otros materiales*. Madrid, 2001.

Fernando Galíndez: Ingeniero en Construcciones, Profesor Universitario en Ingeniería, Posgrado en Metodología de la Investigación Científica. Docente de las cátedras de Materiales y Técnicas Regionales, Estructuras II y III y Construcciones de Maderas de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Católica de Salta. Co autor Proyecto Ecosol, Barrio ambiental y Sustentable, Investigaciones y publicaciones sobre BTC.