

VIABILIDAD TÉCNICA DEL EMPLEO DE BLOQUES DE SUELO CEMENTO (BSC) COMO PAVIMENTO ARTICULADO PARA VÍAS Terciarias

Por: Sergio Alejandro Vasco Correa

Tutor temático: Olga Nallive Yepes Gaviria

Tutor metodológico: Olga Nallive Yepes Gaviria- Iván Sylva

RESUMEN

El uso de bloques de suelo cemento (BSC), como material alternativo para la construcción y/o adecuación de caminos o vías rurales, se vislumbra como una alternativa para minimizar costos y mejorar la calidad de vida y la movilidad en zonas rurales del departamento de Antioquia. Los bloques de suelo cemento, compuestos de la mezcla entre suelo, arena y cemento, constituyen una opción de bajo impacto ambiental, debido a que su proceso de fabricación se hace a través del prensado mecánico, a diferencia de los ladrillos tradicionales, que se elaboran mediante cocción en hornos.

El uso del suelo y de los bloques de suelo como material de construcción es un hecho conocido, y correctamente empleado, éste ha demostrado ser una buena opción técnica. Investigaciones afirman que entre 1910 y 1920 en Inglaterra, Brooke Bradley, empleó la técnica de suelo cemento en la construcción de carreteras de manera exitosa y durante la misma década en Estados Unidos, se evidenció la utilización del suelo cemento incentivado por una patente llamada “Soilamies” desarrollada por el Dr. T. H. Amies. Posteriormente la Portland Cement Association (PCA) y otras entidades desarrollaron avances en la estabilización de suelos con cemento en varios tramos de carreteras en Estados Unidos entre 1930 y 1940.

Este trabajo busca determinar la viabilidad técnica del uso de BSC en la construcción de pavimentos articulados especialmente para vías terciarias, pues de ser posible su implementación, se contribuiría al desarrollo económico de diversas zonas al mejorar las posibilidades de acceso y de transporte para la comercialización. Por otro lado el impacto ambiental se reduciría al tratarse de un material que produce un bajo impacto ambiental en su elaboración.

ABSTRACT

The use of soil cement blocks (BSC), as an alternative material for construction and / or adequacy of roads or rural roads, is seen as an alternative to minimize costs and improve quality of life and mobility in rural areas of the department Antioquia. The blocks of soil cement compounds of the mixture of soil, sand and cement, constitute a low-environmental impact, because the manufacturing process is made through mechanical pressing, unlike traditional bricks, which are made by baking in ovens.

Land use and soil blocks as a building material is a known fact, and properly used, it has proven to be a good technical choice. Research claim that between 1910 and 1920 in England, Brooke Bradley, employed the technique of soil cement in road construction and successfully during the same decade in the United States, the use of soil cement encouraged by patent evidenced called "Soilamies "developed by Dr. TH Amies. Subsequently, the Portland Cement Association (PCA) and others developed advances in soil stabilization with cement in several sections of roads in the United States between 1930 and 1940.

This paper seeks to determine the technical feasibility of using BSC in pavement construction articulated especially for tertiary roads, because if possible implementation would contribute to economic development in several areas to improve the accessibility and transportation to market. On the other hand, the environmental impact would be reduced to being a material that produces a low environmental impact in its production.

Generalidades del bloque de suelo cemento (BSC)

A través de la historia, el hombre ha implementado la tierra como material para llevar a cabo sus construcciones; diversas técnicas constructivas se han experimentado, pasando por adobe, tapia y bahareque, y actualmente la combinación de la tierra con otros materiales ha permitido mejorar sus propiedades así como la durabilidad de los mismos.

Respectivamente, Corral (2008) afirma que debido a la abundancia del suelo es totalmente justificable su utilización por su amplia disponibilidad y bajo costo. De igual forma las técnicas de construcción en las que se emplea la tierra son sencillas y no requieren de grandes equipos, lo que facilita su autoconstrucción y empleo.

En la década de 1950 en Colombia, como producto de una investigación del Centro Interamericano de Vivienda para América Latina (CINVA) para producir materiales de construcción de bajo costo, se produjo un bloque proveniente del prensado mecánico y, denominado: bloque de tierra comprimida (BTC), que hasta la fecha ha sido implementado en la construcción. Buscando mejorar las características y propiedades de los BTC se le agregó cemento para dar origen al bloque de suelo cemento (BSC).

El bloque de suelo cemento es entonces el material resultante de la mezcla entre el suelo, cemento y agua; dicha combinación en proporciones adecuadas, y sumando un proceso de compactación, brinda propiedades físicas y mecánicas óptimas para un buen desempeño no estructural en la construcción.

“La mezcla para el BSC está compuesta de suelo (limo conformado por granos finos de color amarillento compuesto de un 70 a 80% de arena, 20 a 30% de limo, 5 a 10% de arcilla), cemento entre un 6% y un 10% de volumen total de la mezcla que actúa como aglutinante o aglomerante hidráulico”.(Mauricio Bedoya, 2007)

El suelo limo-arcilloso, como componente de los BSC, es un material abundante en cualquier parte de mundo; partiendo de su empleo, Corral (2008) afirma que en la construcción se divide en dos grupos: los compuestos por arcillas y limos denominados *suelos finos* y los formados por arenas y gravas, conocido como *suelos gruesos*. Cada grupo responde a comportamientos de permeabilidad, densidad, deformación, resistencia a la humedad, compresión, abrasión, entre otras, que por medio de análisis pueden clasificarse para obtener información, y si es necesario, hacer modificaciones en sus componentes para obtener mejores resultados en su implementación en la construcción.

Por otra parte, el cemento se constituye como el estabilizante encargado de mejorar las propiedades del suelo contra agentes como la humedad. Generalmente para la estabilización se usa el tradicional cemento “Portland”, sin excluir el uso de otros tipos tales como: humo de sílice, cenizas volantes, metacaolín y laterita.

La proporción del cemento para la preparación de la mezcla depende de la composición del suelo y en algunos casos se requiere también el uso de agregado fino.

El proceso final para la elaboración de BSC es la compactación o método de estabilización mecánica para incrementar la densidad de la tierra, la resistencia mecánica y la durabilidad del producto (Alderete, 2008)

Estabilización del suelo

El suelo se estabiliza para aumentar la resistencia a la compresión, a la dilatación y a la contracción, reducir o eliminar la absorción del agua a través del sellamiento de poros, lo que a su vez reduce el agrietamiento. Actualmente es posible estabilizar el suelo mediante la adición de algunos materiales, productos y residuos naturales y artificiales o por medio de reacciones químicas.

Algunos estabilizantes empleados son: arena y arcilla; paja y otras fibras vegetales; jugos de plantas (savia látex, aceites); cenizas de madera; excremento de animal (principalmente estiércol y orina de caballo); otros productos de animales (sangre, pelo, cola, hormigueros); cal y puzolana; cemento Portland; yeso; asfalto; estabilizadores de suelo comerciales; silicato de sodio (vidrio soluble); resinas; sueros (caseína); melaza y otros. Los estabilizantes deben mezclarse bien con el suelo por lo que el proceso debe ser minucioso y completo.

Luego de haber realizado previos ensayos para determinar el tipo de suelo y establecer la combinación apropiada para llevar a cabo el proceso, Roland Stulz (1993), director ejecutivo de Novatlantis, empresa reconocida en Suiza por contribuir al desarrollo sostenible en nuestra sociedad; afirma que la única manera de determinar la proporción correcta de cada estabilizador es realizando diversos ensayos que evalúen características de resistencia a la compresión, proceso de secado, humedecimiento e inmersión de agua.

Los ensayos deben tener en cuenta las condiciones climáticas y reconocer el lugar, pues esto permitirá ser asertivo en el momento de establecer los componentes de la mezcla. En el caso de los bloques estabilizados con cal y cemento, se requiere de un proceso de curado de mínimo siete días para que obtengan mayor resistencia.

“El propósito de estos ensayos siempre es encontrar la menor cantidad de estabilizador que satisfaga los requerimientos. Muy a menudo los requerimientos específicos son injustificablemente altos originando elevados costos innecesariamente” (Roland Stulz, 1993).

Los pavimentos articulados

Dado que el objeto del presente artículo es brindar información respecto al uso de los BSC y su comportamiento en la implementación de los mismos en pavimentos articulados, es necesario comenzar diciendo que estos se rigen bajo la Norma Técnica Colombiana 2017 (NTC 2017).

Los pavimentos articulados, según la norma mencionada anteriormente, se definen como el conjunto de elementos prefabricados hechos de concreto, que son instalados sobre una superficie para brindar acabado, resistencia, durabilidad y vida útil. Dichos elementos son fabricados de manera mecánica garantizando un resultado homogéneo, que instalados sobre una base adecuada posibilitará tanto el tránsito de vehículos como el de peatones. Sus partes son:

Subrasante: es el resultado posterior a la excavación y se constituye en la base del pavimento articulado. Esta debe encontrarse libre de materia orgánica y de ser necesario se compacta para brindar mayor estabilidad. A la subrasante se le darán las mismas características geométricas, teniendo en cuenta el perfil descrito, para certificar que tanto la base como la capa de arena cumplan con un espesor uniforme en toda el área del pavimento y así obtener, en la superficie de éste, los perfiles especificados.(EPM)

Base: es la capa que se encuentra entre la subrasante y la capa de arena; dependiendo del tipo de suelo y especificaciones de diseño será necesario la aplicación de una capa de sub-base precediendo a la base. Su objetivo es aumentar la capacidad de la estructura del pavimento. Esta capa puede estar compuesta por dos o más materiales seleccionados, en la cual se podrán utilizar material granular, suelo estabilizado o con poca cantidad de concreto.

Capa de arena: como su nombre lo indica para esta capa se implementa arena gruesa, limpia y sin residuos de materia orgánica. Sobre esta se instalan los adoquines.

Adoquines deben cumplir con las especificaciones del diseño y normativa, esto hace referencia a formas geométricas, color, textura, resistencia a la flexión y compresión.

Características técnicas de las vías terciarias

La resolución 1240 de 2013 establece que una vía de tercer orden es aquella que permite la comunicación entre dos o más veredas de un municipio o con una vía de segundo orden, su volumen de tránsito sea menor a 150 vehículos diarios; son construidas en calzadas sencillas con un ancho menor o igual a seis metros y la población beneficiada por esta sea inferior a 15 000 habitantes.

Estas vías se categorizan según cuatro criterios básicamente, su funcionalidad, el tránsito promedio diario, el diseño y/o características geométricas de la vía y por último su población. La vía cumple con su funcionalidad en la medida que realiza interconexión únicamente a nivel veredal o entre la vereda un municipio o una vía de primer o segundo orden.

El criterio de tránsito promedio diario (TPD) clasifica las vías dependiendo de la cantidad de vehículos que transitan diariamente; en el caso de las vías de tercer orden el promedio debe estar por debajo de los 150 vehículos para pertenecer a dicha categorización.

El diseño geométrico por su parte, involucra dos variables: si la calzada es sencilla o doble y el ancho de la misma. Las vías terciarias generalmente son sencillas y su ancho no supera los 6 metros.

Por último el criterio de población se categoriza teniendo en cuenta las poblaciones más cercanas; en el caso de las vías terciarias el número de personas beneficiadas por la misma debe ser inferior a los 15 000 habitantes.

Propiedades físicas y mecánicas de los bloques que pueden ser usados como pavimento articulado

Según la Norma Técnica Colombiana, los requisitos físicos para la fabricación de adoquines en cuanto a sus dimensiones establece que su longitud no debe ser menor de 50 mm ni mayor de 250 mm y el ancho no debe ser menor de 50mm. En cuanto al espesor, no debe ser menor a 60 mm.

“Se prefieren dimensiones que sean múltiplos de 20mm, así: 60mm, 80mm y, en algunos casos, 100mm”.(Icontec, 2004)

Será entonces el diseñador del pavimento quien decida el espesor de los adoquines. No obstante la práctica ha demostrado la conveniencia de adoquines de 60 mm de espesor para tráfico peatonal y vehicular de hasta un equivalente de 50 000 ejes (ejes sencillos de 8,2 t y cuatro llantas) y de 80 mm para vehículos de mayores características. El ancho de la junta debe ser de 2 mm.

La relación entre la longitud y el ancho de los adoquines no debe ser mayor de 4; de igual forma, tanto la longitud como el ancho de cada muestra no deben diferir en más de 1,5 mm a la longitud y el ancho estándar.

Así mismo, los adoquines deben cumplir con requisitos de apariencia, absorción de agua, resistencia a la abrasión y resistencia a la flexotracción o módulo de rotura, ensayo que se llevará a cabo en las muestras realizadas.

La norma indica que los ensayos de resistencia a la flexotracción deben realizarse a través de 5 muestras, luego de haberse evaluado los requisitos anteriormente nombrados, las muestras deben someterse al ensayo de rotura por flexión para encontrar su resistencia. Se recomienda que las muestras se saturen por inmersión durante 24 horas antes del ensayo, aunque este paso puede obviarse dado que se trata de suelo y no de concreto.

El equipo para la elaboración de este ensayo y el cual determinará la resistencia a la flexotracción debe ser capaz de aplicar cargas de 20 kN, además de contar con las características explícitas en la norma; por lo que se aconseja desarrollar este tipo de ensayos en laboratorios certificados.

“La carga se debe aplicar a una velocidad tal que produzca un aumento en el esfuerzo cercano a 0,5MPa/s, o sea un tiempo de ejecución del ensayo de 10 segundos para 5 MPa”(ICONTEC, 2004)

Los requisitos que se deben cumplir para la aplicación del ensayo de flexotracción se especifican en la siguiente tabla:

Tabla 1. Requisitos de resistencia a la flexotracción (módulo de rotura (Mr))

| Módulo de rotura (Mr) a los 28 d ^A , Mínimo ^B , Mpa | | Longitud de la huella (lh) Máximo, mm |
|--|------------|--|
| Promedio de 5 especímenes | Individual | Promedio de 5 especímenes |
| 5,0 | 4,2 | - |
| 4,2 | 3,8 | 23 |

^A El módulo de rotura (Mr) se ha especificado a los 28 d. Sin embargo, los adoquines se pueden utilizar a edades más tempranas, cuando existe un historial sobre la evolución del módulo de rotura (Mr) de adoquines de iguales características, y éste indique que los primeros pueden alcanzar dicho módulo y que poseen la resistencia necesaria para ser colocados. Lo anterior, no exime de la verificación directa de la calidad de los adoquines mediante ensayos a los 28 d.

^B Se pueden especificar módulos de rotura (Mr) mayores, o capas superficiales de características especiales, cuando lo requieran las condiciones de servicio como con cargas abrasivas, llantas y orugas metálicas, etc., en cuyo caso se debe consultar con los proveedores locales para averiguar por la disponibilidad de este tipo de adoquines (véase la Nota 1).

Elaboración de bloques de suelo que puedan ser usados como pavimento articulado

Mediante la realización de este ensayo académico, se elaboraron 6 pruebas con diferentes dosificaciones en su composición, buscando reducir los riesgos que los bloques de suelo cemento enfrentan en el plano horizontal, como lo son el desgaste ocasionado por la rodadura de vehículos, resistencia al peso de los mismos y resistencia a la humedad. Sin embargo para llevar a cabo la construcción de dichos elementos se debió construir moldes en madera con dimensiones de 150 mm de ancho, 150 mm de largo y 100 mm de alto, para una compactación manual.



Partiendo de conocimientos adquiridos durante la investigación, se buscó abordar problemas futuros a los que se verán inmersos dichas pruebas en el pavimento, aunque solo de manera hipotética, ya que con este trabajo solo se demostrara mediante el ensayo de flexo tracción el peso máximo que soportará cada elemento, quedando por verificar los demás de ensayos que se especifica en la NTC 2017.

Las cuatro primeras pruebas se desarrollaron en zona veredal del municipio del Retiro, mediante mediciones inexactas, solo con la utilización de un palustre, pala, canecas y un tamiz. (Entiéndase como parte la cantidad extraída de material mediante un palustre de 8 pulgadas). Aunque se debió analizar en primera instancia el comportamiento del bloque sólo con cantidades de cemento y suelo, se elaboraron pruebas con múltiples materiales, mezclándolos de manera empírica con el fin de mejorar las propiedades del adoquín.



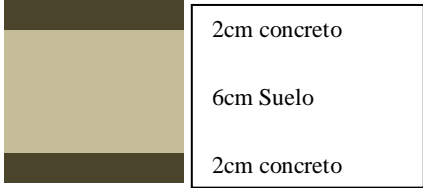
En las pruebas se optó por desarrollar la compactación por capas para mejorar el desempeño del bloque del suelo cemento en aspectos como el desgaste, utilizando un concreto compuesto por triturado tamizado para evitar el deterioro por rodadura de vehículos, además del mejoramiento por medio de cal hidratada para repeler el agua, por lo que las capas tanto inferior como superior varían, puesto que sus interacciones con el ambiente serán diferentes.



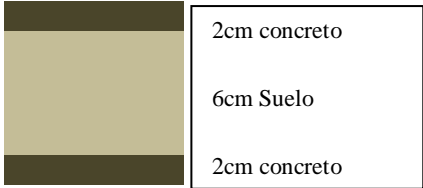
A continuación se indica mediante gráficas la utilización de material en las pruebas realizadas en el municipio del Retiro.

Tabla 2. Materiales para fabricación de BSC

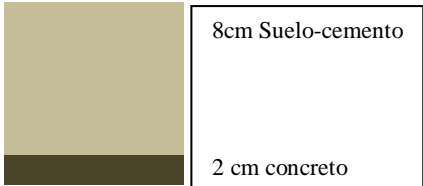
Prueba 1

| Materiales | Cantidad x partes | Observaciones | Imagen |
|-------------------|--------------------------|----------------------|---|
| Arena concreto | 3 | |  <p>2cm concreto</p> <p>6cm Suelo</p> <p>2cm concreto</p> |
| Cemento | 1 | | |
| triturado | 2 | Tamiz nº1 | |

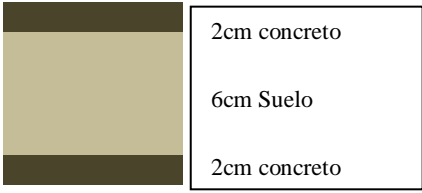
Prueba 2

| Materiales | Cantidad x partes | Observaciones | Imagen |
|-------------------|--------------------------|----------------------|---|
| Arena concreto | 3 | |  <p>2cm concreto</p> <p>6cm Suelo</p> <p>2cm concreto</p> |
| Cal hidratada | 1 | | |
| triturado | 5 | Tamiz nº1 | |

Prueba 3

| Materiales | Cantidad x partes | Observaciones | Imagen |
|-------------------|--------------------------|---|--|
| Arena concreto | 3 | |  <p>8cm Suelo-cemento</p> <p>2 cm concreto</p> |
| Suelo cemento | 1:5 | Una parte de cemento por cinco de suelo | |
| triturado | 5 | Tamiz nº1 | |

Prueba 4





| Materiales | Cantidad x partes | Observaciones | Imagen |
|-----------------------------|-------------------|--|--|
| suelo | 1:3 | Una parte de arena de concreto por tres de suelo |  |
| cemento | 1 | | |
| Cal hidratada | 5 | | |
| Arena de concreto triturado | 3 | Tamiz n°1 | |
| | 2 | | |

Las últimas dos pruebas se desarrollaron en el laboratorio de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, utilizando equipos especializados en medición, peso y fabricación. Estos bloques están compuestos sólo de suelo y cemento portland, el primero con una composición de 70% suelo y 30% cemento y el segundo 60% suelo y 40% cemento, esto calculado con base en el volumen del nicho de la cinva-ram hidráulica con la que cuenta el laboratorio. En las siguientes tablas se establecen los datos para la realización del ensayo de flexotracción:

Tabla 3. Cálculos y resultados ejecutados en la prueba de flexo tracción en el laboratorio del colegio mayor de Antioquia

| volumen cinva ram | | | | densidad suelo | 1,7g/cm3 | | | | |
|-------------------|---------|-------------------|-------|----------------------|----------|----------|--------|--------------|----------------------|
| largo | ancho | alto | cm3 | | | | | | |
| 29,7 | 15 | 18 | 8019 | 8019 cm3 x 1,7g/cm3= | 13632,3 | | | | |
| Prueba 1 | | dimensiones en cm | | | AREA | VOLUMEN | PESO g | DENSIDAD | FALLO EN LABORATORIO |
| suelo 70% | 9542,61 | ancho | largo | alto | cm2 | cm3 | | peso/volumen | KN |
| cemento 30% | 4089,69 | 0,15 | 0,3 | 0,107 | 0,045 | 0,004815 | 7,056 | 1465,42 | 203 |
| Prueba 1A | | dimensiones en cm | | | AREA | VOLUMEN | PESO g | DENSIDAD | FALLO EN LABORATORIO |
| suelo 70% | 9542,61 | ancho | largo | alto | cm2 | cm3 | | peso/volumen | KN |
| cemento 30% | 4089,69 | 0,15 | 0,3 | 0,9 | 0,045 | 0,0405 | 5,774 | 142,57 | 132 |
| Prueba 2 | | dimensiones en cm | | | AREA | VOLUMEN | PESO g | DENSIDAD | FALLO EN LABORATORIO |
| suelo 60% | 8179,38 | ancho | largo | alto | cm2 | cm3 | | peso/volumen | KN |
| cemento 40% | 5452,92 | 0,15 | 0,3 | 0,107 | 0,045 | 0,004815 | 7,796 | 1619,11 | 274,2 |

Tabla 3.1

| Prueba 1 | dimensiones en cm | | | AREA cm2 | VOLUMEN cm3 | PESO g | DENSIDAD | FALLO EN LABORATORIO |
|--|-------------------|-------|------|-------------|----------------|--------|--------------|----------------------|
| | ancho | largo | alto | | | | peso/volumen | KN |
|  | 0,15 | 0,155 | 0,1 | 0,02325 | 0,002325 | 3,55 | 1526,88 | 23,3 |
| Prueba 2 | dimensiones en cm | | | AREA cm2 | VOLUMEN cm3 | PESO g | DENSIDAD | FALLO EN LABORATORIO |
|  | ancho | largo | alto | | | | peso/volumen | KN |
| | 0,15 | 0,155 | 0,1 | 0,02325 | 0,002325 | 3,24 | 1393,55 | 14,7 |
| Prueba 3 | dimensiones en cm | | | AREA cm2 | VOLUMEN cm3 | PESO g | DENSIDAD | FALLO EN LABORATORIO |
|  | ancho | largo | alto | | | | peso/volumen | KN |
| | 0,15 | 0,155 | 0,1 | 0,02325 | 0,002325 | 3,31 | 1423,66 | 54,8 |
| Prueba 4 | dimensiones en cm | | | AREA cm2 | VOLUMEN cm3 | PESO g | DENSIDAD | FALLO EN LABORATORIO |
|  | ancho | largo | alto | | | | peso/volumen | KN |
| | 0,15 | 0,155 | 0,1 | 0,02325 | 0,002325 | 3,226 | 1387,53 | 18,8 |

Resultados

Luego de haber realizado las pruebas descritas anteriormente, se concluye que los BSC, pueden considerarse como una buena alternativa constructiva debido a que la cantidad de suelo con la que actualmente contamos es abundante, además de que son múltiples los estabilizantes para mejorar sus propiedades. Sin embargo se hace difícil romper el paradigma de que la construcción en tierra es poco durable.

Debido a que los bloques de suelo cemento son de fácil manufactura, habitantes de la zona a intervenir pueden fabricarlos, disminuyendo costos y generando empleo e inclusión. Además se consolidan como un material sostenible debido a que su producción no emplea equipos ni emisiones contaminantes reduciendo el impacto ambiental y costos.

La implementación de estos adoquines en vías terciarias es funcional en la medida en que generalmente son vías de difícil acceso y menores a 6 metros de ancho por lo que pavimentar estas vías de manera tradicional generaría impactos negativos tanto en la comunidad como en el medio ambiente, además de su difícil fabricación. Desde esta perspectiva aunque la

utilización de los BSC genera un mayor tiempo de construcción, si se cumple con los estándares de calidad pueden ser viables sin desmeritarse frente a los demás pavimentos.

Para determinar la viabilidad técnica del uso de los bloques de suelo cemento en un pavimento articulado, se requieren laboratorios especializados donde se puedan realizar pruebas como abrasión, absorción y otras. Estas pruebas aún no se pudieron realizar para este caso, lo que aún no permite conocer su viabilidad.

Los resultados de la prueba de flexotracción realizada, demostraron la viabilidad para utilizar estos bloques como pavimento articulado, ya que tres de las muestras cumplen con las especificaciones indicadas en la NTC 2017, con valores superiores a 4,20 MPa.

Se observa que las muestras construidas mediante tres capas fallaron por el medio de las mismas; por lo que los adoquines bicapas demostraron mejores resultados y comportamiento durante la compresión.

Registro fotográfico



Bibliografía

- Alderete, C. E. (s.f.). *habitat.org*. Recuperado el 2014, de http://www.habitat.arq.una.py/ambitos/tyh/cct/crh_cct_0092.pdf
- Corral, J. T. (2008). *Redalyc.org*. Recuperado el 2014, de <http://www.redalyc.org/pdf/870/87012672003.pdf>
- EPM. (s.f.). *EPM*. Recuperado el 2014, de <https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/proveedores/cap3.pdf>
- ICONTEC. (25 de Febrero de 2004). *Norma Técnica Colombiana*. Recuperado el 2014, de <http://tienda.icontec.org/brief/NTC2017.pdf>
- Icontec. (2004). *Norma Técnica Colombiana*. Bogotá.
- Mauricio Bedoya, O. Y. (2007). Recuperado el 2014, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/8561/1/43635688.2012.pdf>
- Roland Stulz, S. (1993). *Materiales de construcción apropiados*. En S. Roland Stulz.