

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE SUELOS DE SOLEDAD Y CIUDAD BOLÍVAR PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE TIERRA ESTABILIZADA Y COMPACTADA (BTC)

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF SOLEDAD AND CIUDAD BOLIVAR SOILS FOR STABILIZED AND COMPACTED EARTH BLOCK (CEB) MANUFACTURING

Carlos Boscarello G.¹ José Herrero Noguero² Ángel R.P. Paulo G. C.³

Recibido: 31-10-09; Aprobado: 30-11-09.

RESUMEN

El objetivo consistió en la caracterización física y química de muestras de suelos arenosos muy abundantes en la zona, en los alrededores de Soledad, estado Anzoátegui, y de Ciudad Bolívar, estado Bolívar, pertenecientes ambos a los horizontes superficiales de la Formación Mesa, constituyéndose las tres mezclas siguientes: N° 1: Limo y Arcilla: 7%. Arena: 83% Cemento P.: 9% y Escoria de hierro: 1%; N° 2: Arcilla y Limo: 7%, Arena: 83%, Cemento P.: 9% y Cal: 1%, y N° 3: Arcilla y Limo: 7%, Arena: 80%, Cemento P.: 10.5%, Cal: 2.5%. Una vez bien mezclados los estabilizantes con el suelo y agua, se fabricaron los bloques de prueba (cantidad 300) en un molde de 29 cm x 14,5 cm x 20 cm, los cuales fueron compactados mediante una prensa hidráulica de 30 Tm, aplicando un esfuerzo de 10 Tm (2,37 MPa), y luego se probaron realizándoles los ensayos físicos y mecánicos siguientes: resistencias a compresión y flexión, densidad, impacto, erosión, humedad y análisis químicos. Los resultados indican que los bloques presentan una resistencia a la compresión de 1,78-4,90 MPa, y a la flexión: 0,18-1,04 MPa; una absorción de agua capilar promedio de 4,36% y una densidad que oscila para los diferentes tipos de bloques (mezclas), de 1,68-1,81 g/cm³. Palabras clave: Bloques de tierra estabilizada y compactada, propiedades mecánicas, suelo compactado, suelo estabilizado.

ABSTRACT

The objective consisted in physical and chemical characterization of sandy soils samples very abundant in the area around Soledad, Anzoátegui State, and Ciudad Bolívar, Bolívar State, both belonging to the surface horizons of the Mesa Formation, constituting the following three mixtures: No. 1: Silt and Clay: 7%. Sand: 83% Cement P.: 9% and iron slag: 1%, No. 2: Clay and Silt: 7%, Sand: 80%, Cement P.: 9% and calcium oxide: 1%, and No. 3: Clay and Silt: 7% Sand: 80%, Cement Q: 10.5%, calcium oxide: 2.5%. Once well blended stabilizers with soil and water, test blocks were manufactured (300 of them) in a 29 cm x 14.5 cm x 20 cm mold, which were compacted by a 30 metric ton hydraulic press, applying a 10 metric ton effort, and were then tested by performing the following physical and mechanical tests: resistance to compression and bending, density, impact, erosion, moisture and chemical analysis. The results indicate that the blocks have a compressive strength of 1.78-4.90 MPa to bending 0.18-1.04 MPa; water absorption of 2.45-7.59% a density that varies for different types of blocks (mixes) of 1.68-1.81 g/cm³.

Key words: compacted soil, mechanical properties, stabilized soil, stabilized and compacted earth block.

INTRODUCCIÓN

El adobe es un material de construcción muy utilizado por el hombre desde tiempos muy remotos. ArquBio (2008). Así, en Egipto, Irán, China y Mesopotamia lo usaron para edificar sus viviendas. La tapia en Iberoamérica o tapial en España y la cuenca Mediterránea es una técnica consistente en construir muros con tierra arcillosa compactada a golpes mediante un pisón, empleando un encofrado deslizante para contenerla. Según Wikipedia Tapial (30 sept. 2009) la época y lugar en que se comienza a utilizar el tapial o tierra pisada ocurre en el neolítico (culturas Yangsh-ao y de la Longshan en China, 5000 años antes del presente).

Fue muy utilizado por los antiguos romanos. En España entre los edificios más famosos se encuentra la Alhambra de Granada. En la localidad de Daroca, Aragón, muchas casas se construyeron de elementos combinados de tapial y adobe (ladrillo crudo). En Argentina, en Catamarca, yacimiento de Palo Blanco, tiene más de 2000 años de antigüedad. En Brasil, estado de Minas de Gerais, la ciudad de Ouro Preto, se encuentra en buena parte construida en tapia. La ciudadela milenaria de Arg-èBam (en Irán) constituye la mayor estructura en tierra del mundo. También son famosas las arquitecturas de Yemen y Marruecos. Las casas de bahareque o bareque son edificaciones construidas con muros de barro (adobe

y listones de madera, estructuras tipo celosía (AIS Colombia 2005).

Hoy día 30% de la población mundial, aproximadamente 2.100 millones de habitantes viven en casas construidas de suelo crudo.

En Venezuela, el empleo de materiales, algunos como la madera, la caña amarga, el adobe, la tapia y la arcilla, que sirvió para la creación de ornamentos funcionales (Fruto Vivas (1997), Graziano Gasparini y Luise Margoles. Numerosas arquitecturas y construcciones religiosas más representativas que todavía permanecen son: Casa natal del Libertador Simón Bolívar, Quinta Anauco, Catedral de Caracas, Convento de San Francisco, Iglesia del Calvario en Caracas, y Casa Guipuzcuana (La Guaira), Casa del Congreso de Angostura (Ciudad Bolívar), Casa de las ventanas de hierro (Coro), Castillo de Sta. Rosa en Margarita, Fortín Solano en Pto. Cabello, entre otras.

En cuanto a los sistemas de fabricación, el adobe presenta cierta vulnerabilidad al desintegrarse con el agua, lo que hace

¹ Geó^o, Profesor Universidad Gran Mariscal de Ayacucho (UGMA). e-mail: cboscarello@hotmail.com

² Ing^o Geo^o, MEng. Profesor Titular, UDO. e-mail: joseherreron@hotmail.com

³ Ing^o Min^o, MSc, Profesor Agregado, UDO. e-mail: arppgc@gmail.com

surgir el concepto de estabilización, o sea, pretende mejorar las características naturales (resistencia mecánica, conductividad térmica, impermeabilidad, entre otras). Numerosos estabilizantes se han venido ensayando. Entre las funciones de los numerosos estabilizantes se pueden señalar: incrementan la resistencia a la compresión y al impacto de la construcción de tierra y reducen su tendencia a la dilatación o contracción; reducen la absorción de agua, el agrietamiento, y la expansión y contracción excesiva. Este efecto de la estabilización se incrementa cuando el suelo se compacta. Entre los muchos y variados estabilizadores se pueden enumerar: la arena y arcilla para corregir la calidad de la mezcla de suelo; cemento portland, cal y puzolana, yeso, asfalto diluido o como emulsión, diversas fibras vegetales (sisal, bambú, carrizo, paja, bagazo de caña de azúcar, estopa de coco (Roux G. 2002), escoria de hierro, jugos de plantas (savia látex, aceites), cenizas de madera, excremento animal, estiércol y orina de caballo, hormigueros, extractos vegetales (resinas), sueros (caseína), entre otros. La cantidad de ellos es muy variable, oscilando entre 1%-10%. La proporción correcta se determina mediante la fabricación de unos 5-7 bloques de prueba para cada mezcla y luego someterlos a los ensayos de resistencia a la compresión simple y flexión, de secado y humedecimiento e inmersión en agua.

Se han realizado numerosas investigaciones a fin de mejorar sus características originales, por lo cual se emplean maquinarias para producirlo (adobe tecnificado) y adicionándole algunas sustancias o materiales (estabilizadores) mejoran las características mecánicas del suelo, y así adquieren los bloques incremento apreciable de la resistencia a la compresión simple y a la tensión, alcanzando una mejor durabilidad, impermeabilidad, entre otras ventajas. Gernot, M., (2005), Córdova, A. et al. (2002).

El bloque de tierra estabilizada y compactada BTC (Rodríguez et al). Presenta la alternativa como tecnología apropiada-aplicada, sostenible y durable como solución parcial a la problemática de la vivienda.

En el proceso actual de producción del BTC se pueden enumerar las siguientes fases: identificación, preparación, mezclado, prensado, secado y almacenaje o stockaje. El primer paso consiste en conocer las propiedades físico-químicas de la

tierra o suelo a emplear, lo cual puede realizarse a través de pruebas de laboratorio o bien de manera aproximada, de pruebas de campo. Entre las propiedades químicas es importante determinar sales, óxidos, sulfatos, cloruros, materia orgánica, etc, y en forma práctica: color de los suelos, olor (presencia de materia orgánica), madurez (rozar con los dientes), tacto (percepción manual de la textura del suelo), brillo (de muestra compactada), adherencia (hundiendo espátula o cuchillo), retracción (a los 7 días), emparejado (fisuración mínima como mortero), bolas (indicador cantidad máxima arcilla), cilindro indicador de suficiencia de agua). Referente a las propiedades físicas se hace necesario realizar los ensayos granulométricos y sedimentológico, los Límites de Atterberg (Plasticidad) y el ensayo Proctor (Compresibilidad). Otras pruebas sencillas de campo son: el rollo o la cinta, la botella, la pastilla y la bota. A los ladrillos BTC producidos, generalmente se le practican los ensayos de densidad/peso unitario, resistencia a la compresión simple, resistencia a la flexión módulo de rotura, impacto, absorción de agua, abrasión por goteo, entre otras. (Bioterre). En cuanto a la caracterización química, las propiedades evaluadas se destacan: distribución del contenido de humedad y de materia orgánica, contenido de sílice y aluminio y otros de menor presencia (hierro, calcio, sodio, potasio y magnesio).

El avance científico tecnológico en esta materia es destacado en países como Australia (CRATerre), Nueva Zelanda, Estados Unidos, Alemania, Francia (proyecto piloto "Domine de Terra" sobre BTC), Perú, Argentina (CRICYT y CEVE) y Brasil. Son de gran importancia el programa de ciencia y tecnología para Iberoamérica (CYTED) y la actual Red Proterra, con la participación de la Pontificia Universidad Católica del Perú con sus trabajos de sismo-resistencia y normalización de protocolos de ensayos (Yamashiro, K. et al.), bloques de adobe y BTC (www.terraibaires.com). También de gran interés son las experiencias de Arquiterria de Uruguay y el Politécnico de Torino, siendo famosos los bloques BTC tipo Mattone de Italia.

Entre las maquinarias empleadas más conocidas y versátiles, además de la mundialmente conocida CINVA-RAM (METALIBEC, 1988), se pueden enumerar: Prensa "HYDRAFORM" para bloques de suelo-cemento que se traban en seco entre si

(www.hydraformmexico.com.mx), la Prensa "HYPERBRICK mecánica" para bloques de tierra estabilizada (losetas y adoquines), la Prensa manual "ALTECH", modelos Geo-50 y Geo-100, para bloques de diferentes formas y dimensiones (Juan, Eduardo, 2007).

En general, a nivel mundial, cada día toma mayor actualidad y apremio fomentar el empleo de materiales de construcción que no demanden un alto gasto energético para producirlos (Maldonado R. J. et al. (2001).

La bibliografía disponible sobre este tema es muy amplia (Autosuficiencia. Revista digital 2009).

Con este proyecto se trata de determinar si los dos tipos de suelos de Soledad y Ciudad Bolívar, con una alta granulometría arena limosa media a fina muy similar (SM), mezclados con las proporciones de cemento (9 y 10,5%) cal (1 y 2,5%) y escoria (1%) como estabilizantes y agua, compactados con prensa hidráulica, con una carga constante de 10 Tm, se podrían obtener bloques de resistencia y absorción de agua aceptables. En molde fabricado de láminas metálicas, con dimensiones 29 x 14,5 x 20 cm, se compactaron un total de 280. En los Cuadros I, II y III anexos se incluyen las principales características, tanto de los suelos como de los bloques obtenidos.

OBJETIVOS

Hipótesis

Si se incorpora el 1-2,5% de cal, 1% de escoria de fundición para reforzar ladrillos de adobe, fabricados con suelos arenolimosos SM estabilizados con cemento Portland tipo 1 al 9-10,5% en peso, compactados con un esfuerzo total constante de 10 Tm (2,37 MPa), mediante el empleo de prensa hidráulica, se mejorarán las características físicas y mecánicas de los mismos, demostrándose que son idóneos por su resistencia para su empleo en la construcción de muros.

Objetivo general

Caracterizar físico-químicamente los suelos de Soledad y Ciudad Bolívar para la fabricación de bloques de tierra estabilizada y compactada (BTC).

Objetivos específicos

Identificar las características físicas y mecánicas de los suelos muestreados en los alrededores de Soledad y Ciudad Bolívar. Construir bloques de tierra estabilizados y comprimidos con los suelos obtenidos en los alrededores de Soledad y Ciudad Bolívar adicionándoles cemento Portland

Cuadro I. Caracterización físico-química de los suelos de Soledad y Ciudad Bolívar seleccionados para las mezclas con aglomerantes (cemento, cal y escoria de fundición). Análisis químico del agua utilizada

| SUELO | DENSIDAD g/cm ³ | LÍMITE LÍQUIDO (%) | LÍMITE PLÁSTICO (%) | ÍNDICE DE PLASTICIDAD | CLASE SUELO | HUMEDAD | ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA DE FABRICACIÓN BLOQUES | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|--|---------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|------------|------------|--------------------------|-------------------------|------------|-----|--|--|--|
| | | | | | | | SiO ₂ (%) | Al ₂ O ₃ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | CaO (%) | MgO (%) | Na ₂ O (%) | K ₂ O (%) | MnO (%) | M.O | | | |
| SOLEDAD | 1,35 | 74 | 15 | 9 | SM Arena limosa media a fina | 11,40 | 85,68 | 7,74 | 4,74 | 0,10 | 0,51 | 0,68 | | | | | | |
| CIUDAD BOLÍVAR | 1,35 | 73 | 16 | 7 | SM Arena limosa media a fina | 10,79 | | | | | | | | | | | | |

Cuadro II. Resultados de algunos ensayos realizados a los bloques BTC de prueba con las diferentes mezclas seleccionadas.

| A. SUELO DE SOLEDAD | DIMENSIONES LARGO ANCHO ESPESOR (cm) | | | PESO (g) | DENSID g/cm ³ | CARGA 1ra. GRIETA (MPa) | RESIST. COMPRE SIÓN (MPa) | RESISI. A FLEXION (MPa) | RES. COMPR BLOQ.HUM (MPa) | ABS.AGUA % (D.S) | RESIST. MURETES (MPa) |
|--|--|------|------|--------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| MEZCLA 1 | 29,0 | 14,5 | 12,4 | 9.62±226,7 | 1,70±0,03 | 2,75±1,09 | 3,00±1,12 | 0,180±0,07 | | 6,79 | 0,55 (de la U) |
| MEZCLA 2 | 29,0 | 14,5 | 12,3 | 9.162,54 ±3,38 | 1,74±0,02 | 2,36±0,54 | 2,08±0,71 | 0,252±0,05 | 2,11 | 3,10 | 0,85 (escorado) |
| MEZCLA 3 | 29,0 | 14,5 | 12,5 | 8.816,67± 245,5 | 1,68±0,05 | 1,10±0,48 | 2,71±1,27 | 0,38±0,21 | 1,00 | 4,85 | |
| B. SUELO DE CD. BOLÍVAR | | | | | | | | | | | |
| MEZCLA 1 | 29,0 | 14,5 | 12,2 | 9.522,54 ±290,5 | 1,76±0,07 | 1,76± | 1,75±0,91 | 0,77±0,07 | 2,21 | 60,79 g | 0,80 (escorado) |
| MEZCLA 2 | 29,0 | 14,5 | 12,5 | 9.817,51 ±280,4 | 1,80±0,05 | 0,42±0,23 | 4,90±1,90 | 0,62±0,11 | 3,49 | 56,46 g | |
| MEZCLA 3 | 29,0 | 14,5 | 12,5 | 10.230± 218,58 | 1,66±0,04 | 1,31±0,69 | 1,78±0,41 | 0,64±0,23 | 2,53 | 103,58 g | 2,44 (de la U) |

Cuadro III: Análisis químico de los suelos y bloques de Soledad y Ciudad Bolívar

| SUELO | SULFATOS | | | | | | MATERIA ORG. ANICA | LÍMITE CONTRAC |
|-----------------------------|-------------|------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|---|
| | Mg (PPM) | SO ₄ (%) | Na ₂ (PPM) | SO ₄ (%) | K ₂ (PPM) | SO ₄ (%) | M.O. (%) | SL = 14,0 Contr. vol VS = 0,093 Con. Lineal LS = 0,0308 |
| SOLEDAD | 915 | 0,0915 | 712 | 0,0712 | 631 | 0,0631 | 0,91 | |
| CD. BOLÍVAR | 812 | 0,0812 | 612 | 0,0612 | 541 | 0,0541 | 0,86 | SL = 17,21 VS = 0,0908 LS = 0,0301 |
| BLOQUES: SOLEDAD | | | | | | | | |
| MEZCLA 1 | 116 | 0,0116 | 723 | 0,0723 | 285 | 0,0285 | 0,32 | |
| MEZCLA 2 | 107 | 0,0107 | 747 | 0,0747 | 408 | 0,0408 | 0,34 | |
| MEZCLA 3 | 111 | 0,0111 | 760 | 0,0760 | 417 | 0,0417 | 0,31 | |
| CD. BOLÍVAR | | | | | | | | |
| MEZCLA 1 | 142 | 0,0142 | 445 | 0,0445 | 285 | 0,0285 | 0,28 | |
| MEZCLA 2 | 139 | 0,0139 | 449 | 0,0449 | 272 | 0,0272 | 0,25 | |
| MEZCLA 3 | 137 | 0,0137 | 482 | 0,0482 | 279 | 0,0279 | 0,26 | |

tipo I entre 9-10,5% en peso y reforzado con 1% de cal, 1% de escoria de hierro. Determinar, de cada bloque fabricado, la resistencia a la compresion simple, resistencia a la flexion, densidad, absorcion de agua capilar, impacto, abrasion por goteo.

JUSTIFICACION

Este proyecto esta enmarcado en la linea de investigacion del empleo de materiales terrosos no convencionales en la construccion seguida por FUNDA-GEOMINAS. La ocurrencia de estos materiales arenosos en la zona y en general en la region Guayana y oriental es muy comun, principalmente los pertenecientes a los horizontes arenosos de la Formacion Mesa y a los residuales aflorantes de las rocas de la Provincia geologica de Imataca. La necesidad de viviendas y la busqueda de materiales de bio-construccion mas economicos que los convencionales han hecho que se recurra a las construcciones con tierra, con el empleo de tecnicas de bajo consumo energetico y respetuosas con el medio ambiente. Por otra parte, las viviendas construidas con ladrillos BTC son mas frescas que las del bloque tradicional; esteticamente ofrecen una vista mas natural, y la utilizacion de maquinaria "portatil" permite un aprovechamiento del terreno, ahorrando costos y energia de transporte del material. Finalmente, los bloques adquieren suficiente resistencia para ser utilizados en la obra en pocos dias de su fabricacion.

METODOLOGIA

Consistio en una investigacion de tipo exploratoria o estudios de exploracion Castaneda J. y otros (2002) y estudio correlativo Hernandez Sampieri y otros (1998, 1991), que permitio desarrollar o aclarar las hipotesis e intentar predecir el valor aproximado que tienen en las variables relacionadas. Ello facilito los pasos a seguir y realizar los ensayos necesarios a fin de determinar cuales fueron las mejores mezclas e interpretar y comparar los resultados obtenidos con otros anteriores. Para la identificacion de los componentes de las muestras de suelos obtenidas en los depositos de la Formacion Mesa, localizados en las cercanias del poblado de Soledad (estado Anzoategui) y de Ciudad Bolivar, estado Bolivar, que fueron utilizadas en la fabricacion de los bloques de tierra comprimida (BTC), se llevaron a cabo una serie de ensayos: granulometrico, limites liquido y plastico, densidad hu-

medad, compactacion, y a los bloques resultantes, los de compresion simple, flexion, impacto, abrasion por goteo, absorcion de agua.

Ademas, fueron realizados los analisis quimicos de las muestras (mediante absorcion atomica), con la determinacion de: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO (%), MgO (%), Na_2O , K_2O , MnO y M.O.

Segun la clasificacion aplicando el Sistema Unificado (SUCS), se ha podido constatar que los suelos naturales de Soledad y Ciudad Bolivar por su granulometria y limites de consistencia corresponden al tipo SM, es decir, son arenas limosas media a finas, que presentaron como media, un 92,31% de arena y un 7,68% de limo y arcilla.

En la fase de compactacion, y ensayos de resistencia de compresion se empleo una prensa hidraulica marca "Torin Big Red" de 30 Tm y otra del mismo tipo de 20 Tm con manometro que apreciaban 1 Tm, y para los ensayos de flexion, se utilizo un medidor de esfuerzo cada 20 kg de incrementos aplicados.

RESULTADOS

Los ensayos geomecanicos y analisis fisico-quimicos realizados a las muestras, segun las normas seguidas son las siguientes: Absorcion de agua capilar: UNE-EN 772-11 2001 / AI-2006 / NORVEN 76-7 60; Densidad: UNE-EN 772-13: 2001; gravedad especifica: ASTM 0854-83; granulometria (Tamizado): ASTM d-422-63 Y UNE-10301: 1975, UNE 103102: 1195; Impacto: ISO-10545-5; compresion simple: UNE EN-772-1: 2002; limite liquido: UNE 103 103: 1994; limite plastico: UNE 103 104: 1993; compresion simple: ASTM D-1557-78 y UNE-EN 772-1: 2002; flexion: COVENIN 340-79 UNE 220175; erosion por goteo: normas UNE-Provisional; limite de contraccion: ASTM 0-427, AASHTO T-92; NC 15: 1998.

Los suelos de Soledad y de Ciudad Bolivar presentaron una densidad (aparente) de $1,36 \text{ g/cm}^3$, mientras que los bloques a prueba, sus densidades promedios para las diferentes mezclas, fueron: $1,68 \text{ g/cm}^3 \pm 0,03$, y de $1,81 \text{ g/cm}^3 \pm 0,04$, con un incremento obtenido por compactacion de 10 Tm (2,37 mPa) de 123,53% y 133,09%, respectivamente.

La dosificacion del cemento como estabilizante y de otros aglomerantes utilizados (cal, escoria de fundicion) en las proporciones senaladas se hizo en % por peso.

En los cuadros I, II y III se presentan los valores con su desviacion estandar, tanto

para los suelos seleccionados como para los bloques de prueba, asi como el analisis fisico-quimico para el agua de pozo utilizada en las mezclas preparadas (tres para cada tipo de suelo).

En los ensayos practicados a los bloques de prueba fueron utilizados cinco ejemplares para cada mezcla de ambos suelos; sobre los muretes solo se hizo sobre dos de ellos (de canto y acostado), de Soledad y Ciudad Bolivar.

Los analisis quimicos de todas las muestras de suelos, bloques y agua (compactacion) se realizaron en el Centro de Geociencias de la UDO, en Ciudad Bolivar, por absorcion atomica, mediante el empleo de un espectrofotometro, marca Perkin Elmer, modelo 5-100, con limite de deteccion de $0,001 \mu\text{g/ml}$.

En el cuadro I se presenta la composicion quimica de los suelos de ambas localidades. El contenido en materia organica fue de 0,91% (Soledad) y 0,86% (Ciudad Bolivar), ambos por debajo de las normas sobre BTC.

Los sulfatos totales presentes en los bloques de prueba fueron: Soledad: 0,23% y 0,20% (Ciudad Bolivar) discriminado en el cuadro III. La relacion total en masa $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ fue de 0,134% (Soledad) y de 0,115% (Ciudad Bolivar). El Mg^{2+} arrojo valores de 0,095% y 0,081%, respectivamente. Tiene 0,013% debajo.

En los bloques el contenido de materia organica alcanzo: Soledad (0,32%) y Ciudad Bolivar (0,26%), los cuales estan por debajo de norma UNE-103205: 1993 (< 2%) y de Casagrande (0,5-4,6%).

El agua de aljibe utilizada en la compactacion arrojo los resultados: pH = 6,42 M:O = 0,11 mg/l; Mg^{2+} = 0,84 mg/l; Cloruros: 46 mg/l; Sulfatos = 32 mg/l, y solidos disueltos = 39 mg/l. (Cuadro I).

La prueba de compresion sobre los bloques humedos (despues de ser sumergidos en agua por 24 horas) arrojo los valores siguientes: mezclas 1 y 2 de Ciudad Bolivar: 2,38 MPa y 5,23 MPa, y en bloques, producto de las mezclas 2 y 3 de Soledad; 2,14 y 1,90 MPa; lo cual constituye una reduccion de la resistencia de 50% y de 8,5% de los bloques de Ciudad Bolivar, y de 54% para los de Soledad.

El colapso de los muretes de Ciudad Bolivar con densidad de $0,72$ y $0,79 \text{ g/cm}^3$ (mezclas 1 y 2) a carga de compresion fue de 3,80 MPa (acostado) y de 2,44 MPa (de lado), mientras que los tres bloques de los muretes de Soledad, con densidades de $1,71$ y $1,70 \text{ g/cm}^3$ (mezclas 1 y 2), en posiciones acostado y de lado, dieron

valores de 0,95 y 0,85 MPa, respectivamente.

DISCUSION DE RESULTADOS

- Uso de las cenizas de la cáscara de arroz, al seccionar con la cal, presentan comportamiento puzolánico (Salas Serrano, J., 1992).

- El efecto de la M.O, que absorbe todos los iones de cal por la materia orgánica libre e inhibe la acción del aglomerante (Clare, K.E. et al., 1954).

- El efecto del sulfato magnésico, al alterar el índice de plasticidad del suelo-cemento en contenidos superiores al 2%, produciéndose un descenso entre un 12-15%; ensayos revelas una ligera disminución de las resistencias y de la densidad aparente, a partir de contenidos superiores al 1%, siendo del orden del 30% para contenidos del 5% de $Mg SO_4$ (Uppal, Y.S. et al., 1957),

- En bloques con humedades bajas (aprox. 2%) no hay necesidad de adicionar emulsiones asfálticas o ejecutar recubrimientos contra la humedad en mampostería o muros. En esta investigación la absorción de agua capilar alcanzó un porcentaje promedio de 4,36%. (Basterra Otero, L. A. (2003).

- Suelos con grandes cantidades de óxido de hierro, aluminio y cuarzo, son en general los del tipo laterítico de la Formación Mesa en las regiones oriental y Guayana, tienen una reacción puzolánica cuando son mezclados con cal en bloques estabilizados (3-8%).

http://Cd3wd.com/Cd3wd_40/CD3WD/CONSTRUC/SKO1AG/ES/SKO1MSO5.HTM

La efectiva compactación lograda en general a la carga seleccionada de 10 Tm (2,27 MPa) permitió que ambos suelos con el cemento como estabilizante y los aditivos (cal, escoria) adquirieran una impermeabilidad relativa bastante baja (caso bloques BTC Ciudad Bolívar con una absorción de agua capilar promedio de 4,52%, y 4,27%, en bloques BTC de Soledad).

Aunque la homogenización manual de las mezclas fue incompleta, en algunos casos, particularmente en Soledad, el incremento de densidad por la carga aplicada, con valor de 123,53% (Soledad) y de 133,09% (Ciudad Bolívar), es aceptable, y es, aproximadamente, también proporcional a la carga aplicada de compactación, y resistencia adquirida a la aparición de la primera grieta, Soledad: 1,19-2,79 MPa, y Ciudad Bolívar: 0,42-3,48 MPa y colapso de los bloques BTC (Soledad 2,08-3,80 MPa) y Ciudad Bolívar: 1,78-4,90 MPa), respectivamente.

Las propiedades físicoquímica de los suelos areno-limosos tanto de Soledad como de Ciudad Bolívar, objeto de esta investigación, por su baja plasticidad y contenido de materia orgánica y sulfatos presentes, sin incorporación de estabilizante (cemento) y aditivos (cal, otros) no son adecuados para fabricar BTC, ya que su resistencia resultó muy baja y en contacto con el agua, su cohesión fue prácticamente nula.

La calidad de cada pieza obtenida con los bloques de prueba para las mezclas de ambos suelos constituye otro de los factores positivos, al presentar aristas durables y resistentes, con caras sin coqueas.

En esta investigación no se determinó el tipo de arcilla presente al no disponerse de los equipos necesarios para la determinación densitométrica y el análisis termogravimétrico ATD/ATG; lo cual hubiera sido de gran relevancia en la selección del tipo de estabilizante y conocimiento sobre los áridos

micrométricos (cuarzo, feldspatos y carbonatos) y su relación con la plasticidad.

CONCLUSIONES

1. La caracterización de los suelos correspondientes al horizonte superficial de la Formación Mesa, áreas de Soledad y Ciudad Bolívar, objeto de esta investigación, mediante el análisis granulométrico y la determinación de sus límites de consistencia (Líquido, plástico e índice de plasticidad), indica ser del tipo SM, o sea, arenas limosas medias a finas, con un muy bajo contenido de limo y arcilla, por lo cual se seleccionaron tres mezclas con la incorporación de cemento, cal y escoria de fundición como aglomerantes, lográndose la obtención de bloques de tierra compactada (BTC) mediante la utilización de prensa hidráulica, los cuales presentan una resistencia aceptable.

2. Con la utilización de la prensa hidráulica de 30 Tm, marca "Torin Big Red" con una presión de 10 Tm constante y una velocidad de carga, de aprox. 0,79 MPa/min se obtuvo una efectiva compactación de las mezclas preparadas en la fabricación de los bloques de prueba, incrementándose sus densidades de 1,36 g/cm³ de los suelos a 1,68 g/cm³ (Soledad) - 1,81 g/cm³ (Ciudad Bolívar) de los bloques (123,53-133,09%). El análisis de las diferencias menores obtenidas en resistencias a compresión y flexión en los ensayos de laboratorio, se pueden deber, principalmente, en algunos casos de mezclas de Soledad, a la insuficiente homogenización del suelo con los aglomerantes utilizados.

3. Los bloques de tierra comprimida fabricados solamente con los suelos altamente arenosos de ambas localidades, sin utilizar aglomerantes, pero con las mismas condiciones de compactación y secado, resultaron tener una muy baja resistencia al esfuerzo de compresión e impacto, además de exhibir una fácil disgregación durante los ensayos de absorción de agua y erosión por goteo, por lo cual fueron desechados al no cumplir las condiciones mínimas esperadas.

4. Los bloques BTC obtenidos correspondientes a las seis mezclas ensayadas, en general presentan una resistencia a la compresión simple aceptable (de 1,78-4,90 MPa), unas bajas resistencia a flexión de 0,18 a 1,04 MPa y absorción de agua: (2,45-7,59%). Las mezclas de suelos con estabilizantes, correspondientes a suelos y mezclas de Ciudad Bolívar, fueron las que mostraron mayores resistencias, lo cual podría deberse a problema de mezclados/homogenización del suelo/aglomerantes en la compactación de las mezclas de Soledad y al presentar un contenido mayor de materia orgánica.

5. El ensayo de erosión por goteo no mostró cambio visible alguno en la superficie de las láminas de prueba, lo cual demuestra lo compacto de los bloques BTC obtenidos, y el ensayo de impacto sobre los mismos, por caída libre de esfera de 1,462 kg de peso, desde alturas variables de 1 a 5 m, produjo aplastamientos máximos de 3,5 mm (1-4 mm), y rotura de los bloques a una altura promedio de 4,16 m \pm 0,50, lo cual puede considerarse muy aceptable.

RECOMENDACIÓN

En consideración a la caracterización de suelos, mezclas con estabilizantes, ensayos realizados y resistencia obtenida con los bloques BTC preparados para las pruebas de laboratorio, es recomendable continuar esta línea de investigación, indagando sobre otros tipos de suelos que presenten una mayor plasticidad,

variando, según los casos, las proporciones de cal, cemento (3 a 7%), incorporación posible de otros estabilizantes (vidrio finamente molido, emulsión asfáltica, finos de dolomita de la región, etc) y de alguna fibra vegetal (coco, bambú, vetiver, etc). Igualmente, es necesario contar con el equipamiento de análisis térmico diferencial (ATD), que complementa la técnica de absorción atómica para la determinación de los tipos de arcillas presentes en las muestras de suelos a ser ensayados.

REFERENCIAS

Adobe International, Inc. (1997). *La Tecnología de construcción más económica que existe*. Disponible: http://www.adobe-block.com/index_main_Spanish.htm

Ais Colombia (2005). *Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada*. Asoc. Colombiana de Ing. Sísmica.

ArquiBio. (2008). *Construcción en adobe*. Disponible: <http://www.arquibio.com/>

Basterra O., L. A. (2003). *Comportamiento de bloques de tierra comprimida sometidos a diferentes condiciones de humedad*. Disponible: http://www3.uva.es/maderas/Files/2002%20CONTAMINACIONES_SIACOT.pdf

Bioterre. *Ficha Técnica Bloque BTC*. Disponible: [Bioterreficha\[pdf\]](#)

Córdova A, O. D. y otros (2002). *Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada*. Disponible: <http://www.desenredando.org/public/libros/2005/csr/bet/mradobetapia.pdf>

Vivas, F. *Resumen histórico de la vivienda venezolana*. Disponible: <http://www.analitica.com/archivo/oam/1997.10/Soc.02.htm>

Gernot, M. (2005). *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra*. Universidad de Kassel, Alemania. Disponible: <http://www.basin.info/publications/books/ManualMinkeSpan.pdf>

Graz. Gasp. *Arquitectura popular en Venezuela*. Edit. Armitano Editores.

Juan, E.. (2007). *Maquina adobera*. Disponible: <http://adoberargent.blogspot.com/>

Maldonado R., L. y otros (2001). Rendimiento y coste energético en la construcción de cerramientos de fábrica de adobe estabilizado (BTC) y bloque de tierra comprimida. Centro de Investigación de Arquitectura Tradicional (CIAT). *Informe de la Construcción*, 53 (473), mayo-junio 2001. Disponible: <http://www.ciat.es/pdf/Acci%F3n%20Especial%20II.pdf>

Montalvo F., M., Campos V., M., Melendres Ch., E. y Fernández C., R. *Criterios para establecer parámetros de control en la estabilización de suelos con cemento. Experiencia en la región amazónica*.

Disponible en: <http://www.asacem.org.pe/webactual/XVII%20congreso%20criterios%20montalvo.pdf>

Rodríguez D., M. Á. y otros (s.f). *Aplicación tecnológica del adobe estabilizado*. Disponible: <http://www.tallera.com.ar/doc/biblioteca/MAMPPOSTERIA%20HUMEDA/UMORON-C1-C2-adobe%20estabilizado%20un%20ejemplo%20en%20Cuba.pdf>

Roux G., R. S. (2002). *Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento portland al 6% y reforzados con Fibra de coco, para muros de carga en Tampico*. Disponible: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/articulo/viewFile/627/709>

Salas S., J. (1992). *Hambre de viviendas. Soluciones tecnológicas latinoamericanas*. Edit. Escala.

Uppal, Y. S. y Kapur, B. P. (1957). *Role of Detrimental _____ in soil stabilization with and without cement. Effect of Magnesium Sulphate*.

Wikipedia enciclopedia libre (s.f). *Adobe*. Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/Adobe>

Yamashiro, K. R., Sánchez, A. y Morales, H.R. *Diseño sísmico de construcciones de adobe y bloque estabilizado. Primera parte: Propuesta de normas de diseño de construcciones de Adobe estabilizado (BTC) y Bloque estabilizado*. Disponible: www.eird.org/cd/building-codes/pdfspa



Calicata de muestreo, sector Soledad



Calicata de muestreo, sector Ciudad Bolívar



Muestras de suelo de Soledad y Ciudad Bolívar



Ensayo de flexión, rotura bloque a 2.080 kg (0,72 MPa)



Patio de patios fabricados



Izq: Ensayo de Impacto (altura 6 m); Der: Ensayo erosión por goteo (altura 1,50 m)



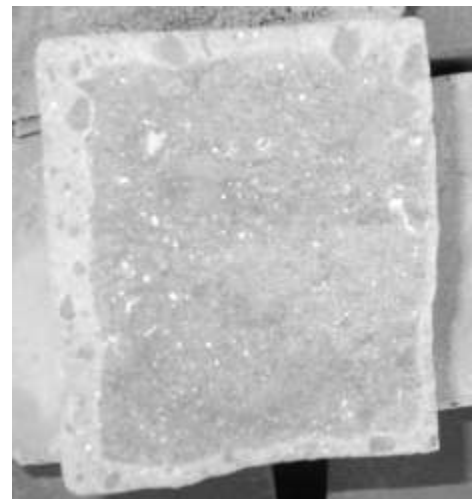
Ensayo de compresión simple, grietas a carga de $F = 20 \text{ Tm}$ (4,76 MPa)



Ensayo de Impacto (huellas de diferentes caídas)



Ensayo de Compresión simple en muretc de bloque BTC.



Corte de bloque BTC, que muestra la incompleta homogenización de los suelos con cemento y cal.