



ESTABILIZACIÓN DE SUELOS PARA BTC.

Autores: Ma. Magdalena Valdez Aparicio, Mariela Morato González,

Asesores: Tomás Ramos Santos tomsoc_2@hotmail.com, Carlos Arroyo L. charlyza_9@hotmail.com, Andrés García M. gamax75@hotmail.com.

Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez, Av. Universidad Tecnológica No. 1000 Col. Tierra Negra.

RESUMEN

La formación del suelo proviene de la desintegración de las rocas, así mismo que se pueden aprovechar para la elaboración de BTC (Block de Tierra Comprimida), el suelo está compuesto por partículas inertes con diferente granulometría y que las partículas minerales más pequeñas son arcillas y que estas son las que encontramos en abundancia en la zona de estudio.

De la investigación realizada el hidróxido de calcio se puede utilizar en el tratamiento de suelos, en varios grados o cantidades, dependiendo del objetivo pretendido, para lo cual se realizaron ensayos con probetas, para lo cual se comprime la mezcla de tierra e hidróxido de calcio en diferentes proporciones.

Se identificó que el incremento de cal en la mezcla en proporción de la tierra arcillosa generó una mejora en su comportamiento mecánico, pero que implícitamente aumentaría el costo sobre la producción de los BTC, obteniendo como mejor aplicación el agregado de hidróxido de calcio en un 10%, el cual asigna las características mecánicas deseables en los BTC así como un incremento menos significativo en el costo de producción.

1. INTRODUCCIÓN

El bloque de tierra comprimida, a veces conocido simplemente como BTC (en inglés, BEC), es un material de construcción fabricado con una mezcla de tierra y un material estabilizante, como cal aérea, cal hidráulica, cemento o arcilla, que es comprimida y moldeada utilizando una prensa mecánica. El BTC es un sustituto del ladrillo corriente en actividades de construcción; se utiliza en la construcción de muros apilándolo manualmente.

Aporte al desarrollo de la tecnología para la fabricación de BTC, basada en una investigación de los materiales componentes, la dosificación y los procesos de fabricación.

Específicos Mejorar la calidad de los BTC, en los que el componente suelo este constituido por arcillas, sin adición de cemento, ni agregar arena. Desarrollo de una máquina para compactar los bloques, a presiones mayores que las que se usan actualmente y con medios para controlar dicha presión.

2. TEORÍA

Tomando como referencia que la formación del suelo deviene de la desintegración de las rocas, así mismo que el suelo está compuesto por partículas inertes con diferente granulometría y que las partículas minerales más pequeñas son arcillas y que estas son las que encontramos en abundancia en la zona de estudio la cual presenta de acuerdo a la cartografía especializada, el tipo de suelo principal al acrisol húmico, que presenta una textura media y una fase física lítica profunda, con presencia de una capa rocosa entre 50 cm y 1 m de profundidad.



Se observa un suelo con alto contenido de materia orgánica, de 10 a 15 cm de profundidad de color café oscuro, la tierra que se pretende usar como materia prima para elaborar BTC's, presenta una gran cantidad de arcillas cuyas características plásticas, así como también su comportamiento aglomerante al contacto hídrico es útil, pero que también como característica puede presentar un incremento o disminución de volumen debido a condiciones físicas, haciendo que el comportamiento de las arcillas sea frágil y que frente a la presencia de agua las hace todavía más peligrosas desde el punto de vista constructivo, de ahí que surja la necesidad encontrar la forma de estabilizarlas, para poder ser utilizadas como materia prima para la elaboración de BTC's.

Estabilización por tratamiento químico: consiste en agregar al suelo diversas sustancias capaces de formar compuestos estables con los elementos de la arcilla. Los productos químicos varían de acuerdo con la composición química de la propia arcilla. Por lo tanto, en ese caso, es necesario un análisis químico de la misma. La cal, además de agente cementante, funciona como estabilizador químico, actuando con los minerales amorfos o arcillosos del suelo, formando los compuestos pozolánicos. Otras sustancias de bajo costo también pueden ser usadas, por ejemplo, la sosa cáustica y la orina de ganado.

En relación a la adición de estabilizantes, uno de los criterios bastante usado es el que relaciona la plasticidad del suelo con el tipo de aglomerante. Otro criterio relaciona la plasticidad y la granulometría con el tipo de aglomerante.

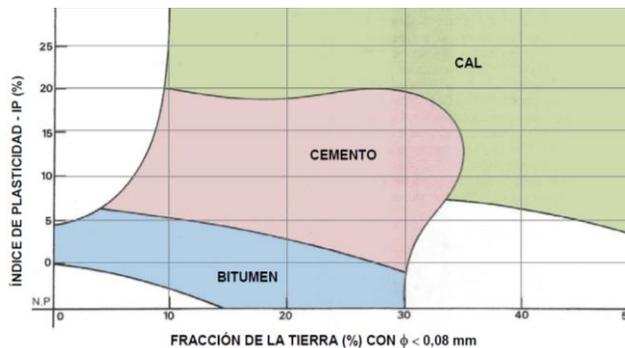


Fig. 1 Tabla que muestra la plasticidad y granulometría

Además del tipo de tierra, se debe considerar que existe una fuerte interacción entre los aspectos socio-culturales, de eficiencia tecnológica (en que se evalúa la arquitectura, costos y manutención), del diseño arquitectónico y del impacto ambiental que definen, con prioridad, la tipología del edificio, la técnica constructiva y el tipo de intervención. Independiente de la calificación del suelo a través de ensayos en laboratorio, el conocimiento popular en el arte de construir con tierra puede indicar decisiones, mismo empíricas, tan eficientes cuanto la cuantificación resultante de ensayos normalizados, ejecutados en laboratorios. Los tests de campo, que resultan de una saludable combinación entre el saber popular y el conocimiento del medio técnico, son, muchas veces, las únicas pruebas que se pueden hacer para seleccionar la tierra y construir.

Es importante hacer un esbozo de los lugares que se obtuvieron las muestras, registrar en una planilla los resultados de los ensayos realizados y la evaluación de los resultados. Además de eso, el registro debe informar la fecha, el local, la identificación de la muestra de tierra y los responsables por el muestreo, ensayos y evaluación. En anexo, se presenta un ejemplo de planilla para registro y evaluación de los tests.



Tests Táctil-Visuales

La apariencia puede revelar algunos datos muy importantes sobre el tipo y las características de la tierra.

1 – Caracterización por tamaño de las partículas

La tierra puede ser preliminarmente clasificada a través del siguiente procedimiento:

- Esparcir la muestra de tierra seca en una fina camada sobre una superficie plana;
- Con las manos, separar las partículas visibles a simple vista.

Las partículas visibles a simple vista corresponden a la arena y grava; el que resta, el material fino, corresponde al limo y arcilla.

Entonces: si la cantidad de limo y arcilla es mayor que la de arena y grava, la tierra es clasificada como limosa o arcillosa.



Fig. 2 Muestras de tierra

2 – Caracterización por color

Otra característica de la tierra puede ser revelada en función de su color:

Los colores claros y brillantes son característicos de suelos inorgánicos;

Los colores café oscuro, verde oliva o negro son características de suelos orgánicos.

3 – Caracterización por brillo

La presencia de arcilla puede ser evaluada a través del brillo, aunque la arena con cuarzo o con determinado grado de mica presenta apariencia brillante también. Entonces: tomar un poco de material bien fino y amasar con agua hasta formar una bola compacta del tamaño de la mano; cortar por la mitad y observar las superficies.

Si:

Las superficies son brillantes o hay mucho brillo, la tierra es arcillosa;

Las superficies presentan poco brillo, la tierra es limosa;

Las superficies son opacas, la tierra es arenosa.

4 – Tacto

Al restregar, entre los dedos, una porción de la tierra seca, se puede identificar los tipos de partículas presentes por la su textura de la siguiente forma:

La arena raspa;

El limo cubre los dedos con partículas suaves, como se fuera un talco.



Para verificar la presencia de arcilla, humedecer una porción de la tierra y moldear una bola

– Cuanto más arcilla presente, más fácil será formar la bola.

Clasificación Textura y apariencia del suelo

Arena: Textura granular. Se puede visualizar el tamaño de los granos. Fluye libremente se está seca.

Tierra arenosa: Textura granular pero con suficiente limo y arcilla para observar su cohesión. Predominan las características de la arena.

Tierra limosa: Textura fina. Contiene una cantidad moderada de arena fina y una pequeña cantidad de arcilla. Sucia los dedos como talco. En estado seco tiene una apariencia compacta. Pulveriza con facilidad

Tierra arcillosa: Textura fina. Cuando está seca, se fractura en pedazos resistentes; en estado húmedo, es plástico y se agarra a los dedos. Es difícil de pulverizar Tierra orgánica Textura esponjosa. Olor característico de materia orgánica que es más acentuado al humedecer o calentar. Como toda construcción, la que utiliza la tierra como material de construcción, también debe atender a las exigencias que garanticen su seguridad estructural, durabilidad y protección al agua. Los procedimientos de control son los mismos utilizados para la construcción convencional. Para las paredes, se recomienda observar el plomo, alineamiento, aspecto superficial y la protección de aquellas sujetas a la acción del agua, sea con auxilio de los aleros en la cubierta o con tratamiento superficial adecuado.

Se definen diversos factores a ser verificados en el control de calidad del proceso de producción de la arquitectura y construcción con tierra. El control inicia con el proyecto arquitectónico y con un espacio organizado para la ejecución de la obra, posteriormente la selección de la tierra y la preparación de la mezcla. Para las técnicas que utilizan moldes, se debe contar con el diseño de éstos y las técnicas de montaje; posteriormente se coloca la mezcla y finalmente el acabado de la pared construida.

Dosificación

Se debe evitar el uso de varios criterios de medidas de los materiales, pues pueden suscitar confusiones que difícilmente serán identificadas durante la ejecución. Una buena práctica en el control es establecer volúmenes fáciles de ser utilizados como cajas, carretillas o cubetas.

El cuidado básico debe estar entonces en observar si no ocurren variaciones en las características físicas de la tierra que está siendo usada, pues, caso ocurra, será necesaria la adecuación de la dosificación.

Los volúmenes de la mezcla deben ser suficientes para no provocar interrupciones en el trabajo y, en el caso de usar cemento como estabilizante, se debe cuidar que el uso de la mezcla no ocurra después de su período de fraguado.

Homogeneización

Otro factor fundamental en la calidad del producto final es la perfecta homogeneización de la mezcla. El estabilizante en polvo debe ser adicionado a la tierra seca y mezclado hasta que se obtenga una coloración uniforme; la tierra debe estar exenta de grumos, que pueden ser eliminados con la pala o por tamización. El agua debe ser adicionada después de la mezcla de la tierra seca con el estabilizante; en regiones lluviosas, es conveniente prever un abrigo para almacenar la tierra.

En la adición de la cal hidratada, es usual, además de la homogeneización, dejar la mezcla en reposo durante 12 horas, como mínimo, de modo a obtener mayor capacidad de trabajo y disminuir la retracción. La cal es usada apenas como aglomerante, para mejoría de la resistencia y durabilidad, la mezcla debe ser utilizada luego después de la adición de la cal. Cuando se adiciona paja o estiérco a la tierra para la producción de adobe, el tiempo de reposo de la mezcla llega hasta a los 15 días.

Humedad



La humedad que debe tener la mezcla está en función del tipo de tierra que se utiliza y de la técnica constructiva (adobe, bloque, tapia, técnica mixta, etc.). Para el adobe, por ejemplo, es necesaria una plasticidad tal que permita el llenado del molde con facilidad, ocupando todo su volumen (principalmente las esquinas y aristas), si esto no sucede, puede ocurrir la deformación del adobe al ser desmoldado. Para la técnica mixta, el barro debe ser más plástico, más húmedo, para posibilitar la acomodación entre los elementos del entramado; sin embargo no puede ser muy plástico, a punto de ocurrir por entre estos elementos.

Hipótesis Sustantiva:

Se pueden fabricar BTC's de tierra-cal con suelos arcillosos y obtener comportamientos físicos y mecánicos recomendables, adicionando un "X%" de cal hidratada al peso total de la mezcla y aplicando una cierta cantidad de presión de compactación.

Hipótesis Nula; Ho:

"El ahorro en el costo total por metro cuadrado de construcción para muros perimetrales y muros contra fuego en instalaciones de producción y transporte de Hidrocarburos en el área del paleocanal de Chicontepec, utilizando Bloques de Tierra Comprimida (BTC) no es menor al 90% del costo actual por metro cuadrado de construcción."

Hipótesis Alternativa; H1:

"Con el uso de BTC en proesos de construcción se obtiene una reducción de residuos hasta 10%."

Variables dependientes:

Costos de producción: materias primas, mano de obra, combustibles, etc.

Costos de logística: transporte, combustible, almacenamiento.

Variables e independientes

Resistencia del material: dureza, permeabilidad, flexibilidad, etc.

Cantidad de emisiones contaminantes producto de las actividades de la construcción.

Desarrollo de la investigación:

De la investigación realizada se encontró que la cal puede ser utilizada en el tratamiento de suelos, en varios grados o cantidades, dependiendo del objetivo pretendido, para lo cual se llevaron a cabo ensayos con probetas de 10 cm X 5 cm X 5 cm, mediante la creación de un molde y prensa prototipo que replicara la características para poder obtener una aproximación al producto pretendido, para lo cual se pudiera comprimir la mezcla de tierra y cal en diferentes proporciones. Se procedió a generar diferentes mezclas, con proporciones de tierra-cal, adicionando al volumen de tierra un 5%, 10%, 15% y 20% respectivamente, obteniendo probetas con diferentes características, con lo cual se identificó que el incremento de cal en la mezcla en proporción de la tierra arcillosa genero una mejora en su comportamiento mecánico, pero que implícitamente aumentaría el costo sobre la producción de los BTC's, obteniendo como mejor aplicación el agregado de cal en un 10%, el cual asigna las características mecánicas deseables en los BTC's así como un incremento menos significativo en el costo de producción.

1) SELECCIÓN DE LA TIERRA

Se debe llevar a cabo una evaluación del terreno para asegurarse que la tierra es adecuada para elaborar los BTC's. Se han creado varias pruebas económicas y sencillas para poder examinar la calidad de la tierra de una manera efectiva. Se busca subsuelo con pocas piedras y de calidad fina. Características de la zona de estudio.

Lo primero que realizaremos es el reconocimiento de la zona de estudio que será al norte del estado de Puebla, enmarcada dentro de las coordenadas geográficas de 19° y 20° de latitud norte. Abarcando territorios de doce municipios de la sierra norte de Puebla: Chila de Honey, Naupan, Pahuatlan, Huachinango, Juan Galindo Tlacuilotepec, Xicotepec de Juárez, Tlaxco, Jalpan, Panteppec, Venustiano Carranza, y Francisco Z. Mena.

Pero los municipios del cual abordaremos una investigación más afondo sobre su relieve serán Huachinango, Xicotepec de Juárez, Juan Galindo, Tlaola, Venustiano Carranza.



El sistema de poto formas que denomina es el de sierra alta escarpada, que cubre prácticamente toda esta zona; pues el de llanura aluvial intermontana solo cubre la zona próxima a Xicotepec de Juárez. La altura del municipio de Xicotepec de Juárez de 200 a 1600 msnm.

Se caracteriza por una enorme masa de rocas volcánicas de todos los tipos, acumulada en innumerables y sucesivos episodios volcánicos iniciados a mediados del Terciario que continúan hasta el presente.

Xicotepec de Juárez integra una costa de emersión evidenciada entre otros rasgos, por la dominancia de materiales sedimentarios marinos no consolidados (arcillas, arenas, conglomerados).

El jurásico superior se encuentra representado en los municipios de Huachinango, Juan Galindo, Tlaxco y Xicotepec de Juárez, mediante una secuencia marina compuesta por calizas, margas, lutitas y areniscas, en extractos delgados que varían de espesor, entre 10 y 40 cm.

La caliza es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO_3), generalmente calcita, aunque frecuentemente presenta trazas de magnesita (MgCO_3) y otros carbonatos. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican (a veces sensiblemente) el color y el grado de coherencia de la roca. El carácter prácticamente mono mineral de las calizas permite reconocerlas fácilmente gracias a dos características físicas y químicas fundamentales de la calcita: es menos dura que el cobre y reacciona con efervescencia en presencia de ácidos tales como el ácido clorhídrico.

2) SUELOS APROPIADOS

La tierra para fabricar BTC's debe estar formada por 25% a 45% de limos y arcilla y el resto de arena. La proporción máxima de arcilla será del 15 al 17%. La tierra no debe ser de cultivo, existe como inconveniente que el material que se pretende utilizar tiene un gran contenido de arcillas, se pueden identificar fácilmente las tierras inadecuadas por su color, consistencia y granulometría.

3) PRUEBAS DE SELECCIÓN

Son pruebas cuyo resultado nos dará a conocer la calidad de la tierra analizada y si es apropiada para fabricar adobes.

Una vez seleccionada la tierra mediante las pruebas que a continuación se indican es recomendable, antes de proceder a la producción masiva de adobes, fabricar adobes de prueba y efectuar el control de calidad correspondiente.

PRUEBA GRANULOMETRICA (Prueba de la botella).

Son pruebas cuyo resultado nos dará a conocer la calidad de la tierra analizada y si es apropiada para fabricar adobes.

Llenar con tierra una botella de boca ancha de un litro de capacidad hasta la mitad de su altura, llenar la parte restante con agua limpia.

PRUEBA DE PLASTICIDAD (Prueba del rollo)

Sirve para determinar la calidad de la tierra y nos permite saber si esta es arcillosa, arenosa o arcillo-arenosa.

1) Consiste en formar con tierra humedecida un rollo de 1.5 cm de diámetro, suspenderlo en el aire y medir la longitud del extremo que se rompe.

Se presentan 3 casos:

TIERRA ARENOSA (INADECUADA)

Cuando el rollo se rompe antes de alcanzar los 5 cm.

TIERRA ARCILLO-ARENOSA (ADECUADA)

Cuando el rollo se rompe al alcanzar una longitud entre 5 y 15 cm.

TIERRA ARCILLOSA (INADECUADA)

Cuando el rollo alcanza una longitud mayor de 15 cm.

PRUEBA DE RESISTENCIA (Prueba del disco)



Consiste en amasar tierra húmeda y elaborar 5 discos de 3 cm de diámetro por 1.5 cm de espesor dejarlos secar 48 horas y luego tratar de romperlos.

BAJA RESISTENCIA (INADECUADA)

Cuando el disco se aplasta fácilmente.

MEDIA O ALTA RESISTENCIA (ADECUADA)

Cuando el disco se aplasta con dificultad o se rompe con un sonido seco.

3. PARTE EXPERIMENTAL

REALIZACIÓN DE PROBETAS DE PRUEBA.

Dentro de la universidad se extrajo tierra rica en arcilla la cual se obtuvo atrás del Edificio 2. Para la realización de las pruebas fue extraer la tierra de diferentes puntos de la institución.

- Se analizaron los 2 tipos de tierras distintas y se clasificaron, según las normas correspondientes, mediante ensayos de granulometría, límite líquido y límite plástico.

- Se realizó la mezcla de la tierra con hidrato de calcio al 5%, 10%, 15% y 20%, con 15% de humedad aproximadamente.

- Se fabricaron en total 36 probetas con la prensa prototipo y con el molde para ensayo de 10 cm x 5 cm x 5 cm, con 2 tipos de tierras clasificadas, comprimidas a una presión 3.2 mpa a fin de realizar los ensayos de compresión, absorción y abrasión hídrica.

- Presión de compactación 6 kg/cm² - Probetas ensayadas 36

- Peso específico medio: 1,713 Tensión media: 25,49

Por tal razón se llevó a cabo el diseño y el análisis estadístico de un experimento con el objetivo de analizar el comportamiento de la resistencia a compresión con respecto al aumento de la fuerza de compactación para elementos cuyas dimensiones son de: 400x200x100 mm, con una dosificación y por ciento de humedad preestablecido. Es decir que las variables a analizar son la fuerza de compactación y la resistencia a la compresión.

Del resultado de los ensayos y del análisis de los mismos se tomará el valor más adecuado de la fuerza de compactación para el diseño de la máquina. Para la investigación se empleó un suelo de la Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez ubicada en el Municipio de Xicotepec de Juárez Edo de Puebla. Este suelo es bastante arcilloso color rojo naranja amarillo, limo.

Para estabilizar el suelo, se utilizó cal marca paio. La dosificación empleada de cal-suelo fue de 1:15 en volumen y un grado de humedad de 25 % la cual fue determinada mediante pruebas para que la mezcla alcanzara la consistencia de trabajo adecuada para la conformación.

Los bloques se produjeron en moldes con dimensiones de 400x200x250 mm, en una prensa de laboratorio de 8000 Kg. Se llevó a cabo un diseño de experimento del tipo "Completamente al azar"; pues es este el más apropiado teniendo en cuenta lo que se quiere obtener y las condiciones bajo las cuales se realiza la misma.

El experimento está caracterizado por los siguientes parámetros:

- Rendimiento: resistencia a la compresión del bloque

- Factor: fuerza de compactación.

Como se aprecia, a partir de una fuerza de compactación de 200 kN la variación de la resistencia a compresión del bloque no varía sustancialmente. Por otro lado, con una fuerza de 150 kN, se obtiene una resistencia a la compresión de 6,73, superior a los 5 MPa que plantea la norma UNE para obtener bloques de calidad.

Es decir que, para el experimento llevado a cabo, bajo determinadas condiciones de dosificación y dimensión del bloque da que la fuerza de compactación óptima es de 200 kN, ahora, teniendo en cuenta que se quiere diseñar una máquina ajustable, o sea, que pueda producir bloques con



suelos de menor calidad y con otras dimensiones, se determinó llevar a cabo el diseño de esta máquina con una fuerza de compactación de 250 kN.

4. CONCLUSIONES

Esta investigación pretendió rescatar a las tierras arcillosas para la fabricación del BTC sin proporciones de cemento, para ello se debía demostrar la recuperación de las cualidades del BTC al adicionar hidróxido de calcio acompañado del incremento de presión.

En esta primera etapa se logró establecer que en referencia a la resistencia a la compresión se verifica la hipótesis planteada con la mezcla en un 10% de cal hidratada.

Las cuestiones a trabajar de esta primera etapa serían:

Ensayar con arcillas de diferente grado de plasticidad a la seleccionada en esta investigación.

Ensayar con btc's realizados con el prototipo de máquina que se diseñó para la producción en masa del mismo.

BIBLIOGRAFÍA (ARIAL, bold, 10 pt. justificado a la izquierda)

1. Mlitchell, J.; Arena, A.P.(1988) Evaluación ambiental comparativa de materiales mampuestos aplicados en muros de viviendas en regiones áridas andinas. Laboratorio de Ambiente
2. SORIA, F.; GUERRERO, L.; ROUX, R. (2001) "Investigación interuniversitaria sobre construcción alternativa con tierra en México". En: Construcción con tierra. Tecnología y Arquitectura. Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos