

Metodología para elección de estabilizantes químicos para bloques de tierra

Election methodology of chemical stabilizers for earth blocks

Resumen

En la década de los setenta surgió una crisis energética que propició la búsqueda de alternativas ecológicas que solucionen el desmedido consumo energético de la construcción alrededor del mundo; como consecuencia de esto, la construcción en tierra alcanzó mayor notoriedad. Con esta publicación se pretende apoyar al desarrollo y revalorización de las técnicas constructivas en tierra, como un aporte importante para mejorar las características de sus materiales en beneficio del medio ambiente. En la actualidad existe una gran variedad de estabilizantes químicos que permiten mejorar las características técnicas de los bloques de tierra cruda, sin embargo existen pocas publicaciones que indiquen un método para elegir uno de estos compuestos para condiciones específicas. Se desarrolla una metodología que ayuda a la elección objetiva de un estabilizante químico por medio de una calificación ponderada, basada en distintos parámetros a los que se les da diferente importancia: mejora de la resistencia a la compresión e impermeabilidad, impacto ambiental y economía; luego se prueba dicha metodología para la elección de un estabilizante óptimo, en una zona del Austro ecuatoriano, más concretamente en Cuenca, Ecuador.

Palabras clave: bloque de tierra, construcción en tierra, Ecuador, estabilizantes metodología, tierra.

Abstract:

The energy crisis in the 70's forced the countries around the world to look for ecological solutions that reduce the excessive energy consumption in the construction. As a result of that issue the construction systems based on soil reached notoriety. This paper tries to support the development of the earth construction contemplating mainly the environmental impact. Nowadays there are a large amount of chemical stabilizing products that can be used in earth constructions. However there are not enough papers that show a method to choose a chemical stabilizing for some specific conditions. This paper develops a methodology that could help to make an objective selection of a chemical stabilizing product based on a pondered qualification of parameters. These parameters are: compressive strength, impermeability, environmental impact and economy. Finally the methodology is tested in a region of Ecuador named Cuenca.

Keywords: earth block, stabilization, earth, methodology, Ecuador, Earth construction.

Autor:
Arq. Sebastián Guzmán
sgf_9@hotmail.com
Arq. Mateo Iñiguez
mit_2110@hotmail.com

Universidad de Cuenca
Ecuador

Recibido: 4 Mar 2016
Aceptado: 7 Jun 2016

1. Introducción

La construcción en tierra ha sido empleada, a lo largo de la historia, por distintas culturas del Austro ecuatoriano (lugar donde tiene lugar el presente estudio); los pueblos pre-hispánicos empleaban materiales desarrollados con técnicas constructivas hechas en tierra (adobe y bahareque) para la construcción de sus viviendas (Pesántez & González, 2011). No obstante, estas prácticas constructivas consideradas como medios tradicionales de construcción para edificaciones vernáculas¹ cayeron en desuso debido a un grave desprestigio que acompaña la construcción en tierra, llegándose a considerarla como edificaciones de mala calidad y de materiales deficientes. No obstante, debido a la gran cantidad de recursos no renovables que se consumen con las técnicas constructivas contemporáneas (según Barbeta en la construcción se consume importantes recursos como el petróleo o el carbón generando gran volumen de residuos directos e indirectos) (2002) ha surgido una revalorización de la construcción en tierra debido a su reducido gasto energético. La intención de esta publicación es revalorizar éstas técnicas constructivas mediante el desarrollo de una metodología para la elección de un estabilizante químico que mejore las características técnicas de los bloques de tierra tomando en cuenta el impacto ambiental que éstos generan.

Existen distintos métodos para optimizar la calidad de los bloques de tierra y mejorar sus características técnicas, distintos autores (Minke, 2001; Achenza & Fenu, 2006; Calderón, 2013) mencionan tres métodos que pretenden alcanzar dicha optimización, estos son: estabilización física, estabilización química y estabilización mecánica.

Para el desarrollo de la metodología descrita, en este artículo, se ha optado por elaborar un método para elección de un estabilizante químico.

Si bien existen publicaciones (Minke, 2001; Calderón, 2013; Barbeta, 2012) que mencionan las capacidades que tienen los estabilizantes para elevar la calidad final del bloque de tierra, pocas mencionan métodos para la elección de un estabilizante químico. Este artículo pretende mostrar un método para la correcta elección de un estabilizante que optimice las características técnicas del bloque tierra y que, a su vez, tome en

cuenta diferentes parámetros que no han sido mencionados en otras investigaciones, tales como: el costo, la disponibilidad del material en el medio o su impacto ambiental.

Con el fin de conocer la definición de un estabilizante químico, se han estudiado diferentes normativas para la construcción en tierra, según Cid, Mazarrón & Cañas (2011), las regulaciones para bloques de tierra compactada son las más abundantes alrededor del mundo. Se han recogido las especificaciones de diferentes normas internacionales para construcción en tierra, sin embargo, se ha encontrado que la norma española UNE EN – 41410:2008 (para bloques de tierra comprimida) especifica en uno de sus anexos la definición de estabilización química, misma que menciona que se considera estabilizante químico: “ (...) cuando lo que añade es un producto que modifica la estructura granular a la que dota de una cohesión que no tenía o disminuye la excesiva plasticidad”. Por otro lado, debido a que la investigación ha sido desarrollada en la región austral de Ecuador, se ha creído conveniente revisar normativas de construcción en tierra en este medio. En Ecuador no existe una normativa propia de construcción en tierra; no obstante, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 11) menciona que se deben seguir las pautas señaladas en la norma peruana para construcción en adobe E.080. Esta normativa menciona sobre los adobes estabilizados que: “adobe en el que se ha incorporado otros materiales (asfalto, cemento, cal. etc.) con el fin de mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión y estabilidad ante la presencia de humedad”.

Para entender el concepto de mejoramiento o estabilización en los bloques de tierra cruda se han recogido dos conceptos básicos mencionados por Rodríguez & Saroza (2006) que, a su vez, se basan en distintos estudios para realizar esta clasificación:

Bloque de tierra cruda Simple: constituido por unas adecuadas proporciones de arena, arcilla, fibra orgánica y agua.

Bloque de tierra cruda Estabilizado: donde dada la escasa resistencia frente a la humedad que presenta el bloque de tierra cruda simple, se le añade distintos elementos (denominados estabilizantes químicos) para mejorar sus propiedades.

¹ Según ICOMOS (1999), la arquitectura vernácula está fundamentada en la expresión de la identidad de una comunidad, a su vez es parte de un proceso que se adapta a

distintos requerimientos sociales, ambientales y emplea materiales provenientes del sitio para la construcción.

A estos conceptos básicos se puede agregar que la estabilización química busca mejorar las características del barro en general. El mejoramiento del bloque de tierra cruda debe perseguir la optimización del material (barro) para condiciones específicas. Existen estabilizantes como la celulosa que aumenta la resistencia a la compresión y tracción, pero los mismos reducen la cohesión (Minke, 2001); razón por la que se considera imperativo el conocimiento de las características técnicas que se necesitan optimizar y así aplicar un tipo de estabilización que encuentre un equilibrio entre todas las condicionantes y, éstas por su relevancia hagan que el comportamiento del bloque (una vez integrado en una obra arquitectónica) trabaje de mejor manera que un bloque de tierra que no contenga estabilizante.

Con el fin de perfeccionar el comportamiento del material que conforma el bloque de tierra para determinadas condiciones, se debería evitar: la porosidad, la permeabilidad y el enlace entre partículas o cohesión; estas condicionantes influyen en las características técnicas que finalmente obtendrá un bloque de tierra (Rigassi, 1995).

El tratamiento de la porosidad busca reducir las variaciones de tamaño de los poros por acción del agua (Seisdedos & López, 2010), consiguiendo así menor cantidad de fisuras causadas por la retracción del material, (Minke, 2001). En cuanto a la permeabilidad, ésta busca la mejora ante la erosión del material producida por los efectos del agua y el viento. Finalmente la cohesión de partículas en el barro incide en la resistencia mecánica a compresión del material.

2. Desarrollo

2.1.- Estabilización química

La estabilización química pretende mejorar las características técnicas de la tierra mediante el uso de elementos llamados estabilizantes o aglomerantes; éstos deben ser capaces de cambiar las propiedades del suelo, erigiendo de esta manera compuestos estables que optimicen su comportamiento (Montes J. L., 2009).

Se debe considerar que los elementos que se agreguen en la mezcla van a reaccionar distinto al depender de la composición química de la tierra; por ejemplo: el cemento y el bitumen como estabilizantes son buenos para barro con poca arcilla, así mismo la cal es buena para barro arcilloso; sin embargo, esto variará con distintos tipos de tierra (Minke, 2001). Es de suma importancia realizar un análisis previo de la tierra en donde se pueda conocer el tipo de partículas que lo

conforman, el tipo de suelo y los elementos que se van a utilizar para conseguir los componentes estables.

Existen una amplia variedad de productos de tipo orgánicos e inorgánicos tales como: productos asfálticos, cal, cloruro de sodio, cloruro de calcio, escorias de fundición, uso de polímeros, hules de neumáticos, cemento, aceites naturales, savias naturales, látex, silicatos, orina, resinas acrílicas y epóxica, yema de huevo, productos puzolánicos, yesos, fibras vegetales.

Además de los estabilizantes químicos, uno de los factores de mayor importancia para desarrollar los procesos de optimización del barro es el agua. Como menciona Carcedo Fernández (2012):

El agua es el agente que permite que las reacciones químicas de los estabilizantes se generen y el elemento que hace que la tierra gane plasticidad, básicamente mediante su absorción por parte de la arcilla. Por lo tanto el agua es el componente que activa las propiedades de todos los demás elementos para producir la pieza de tierra.

2.2. Metodología

Si bien existen investigaciones como la de Barbeta (2002) que señala un método para la elección de un estabilizante, no especifica a profundidad la metodología a seguir o la forma de priorizar distintas condicionantes, como es el caso del costo final del bloque de tierra después de agregar el estabilizante y/o su disponibilidad en la región. Si bien en muchos casos se mencionan estos parámetros, se cree que al realizar un análisis más exhaustivo se podría obtener mejores resultados.

Se ha creído conveniente estudiar distintas condicionantes y desarrollar una metodología, con el fin de elegir de manera objetiva el o los estabilizantes que se han de emplear en una mezcla de tierra. Cabe recalcar que la finalidad de elegir un estabilizante químico para la mezcla de barro es la de conducir esencialmente a una mejora de las características técnicas del bloque de tierra cruda.

Para realizar la elección del estabilizante químico (que se ha de emplear en la mezcla constitutiva del bloque de tierra) se ha desarrollado una clasificación de estabilizantes químicos disponibles en el lugar donde se realiza el estudio (Cuenca-Ecuador); esta clasificación se realiza según su tipo (Figura 1). Luego se ha definido una serie de parámetros que no fueron adoptados aleatoriamente y responden a distintas condicionantes elegidas por los autores del artículo. Se ha decidido definir parámetros cuyo enfoque permita la elección de materiales que generen un bajo impacto ambiental, un bajo consumo energético en su producción, la mejora de propiedades técnicas del material y que su uso sea económicamente viable para la construcción en grandes cantidades.

A continuación se presenta una descripción de cada uno de los parámetros elegidos y el método de calificación de cada uno de ellos.

Aditivos Minerales
Cemento
Cloruro de sodio (sal)
Cal
Yeso
Productos sintéticos
Resinas sintéticas
Productos asfálticos (Bitumen)
Silicato de sodio
Productos puzolánicos
Polímeros naturales
Resinas naturales
Almidones
Geo-polímeros
Fibras vegetales
Cabuya
Cáscara de arroz
Escorias de fundición

Figura 1: Clasificación de estabilizantes, según su tipo

2.3. Impacto Ambiental

La sostenibilidad de un material en la construcción se puede definir como el recurso que necesita menos manipulación, ya sea humana o por métodos industrializados que se encuentran en el medio y entorno inmediato de la obra a realizarse. La menor manipulación y corta distancia en el transporte se traduce en una menor cantidad de energía incorporada; esta situación, repercute en una menor cantidad CO² emitida a la atmósfera. (Madero & Martín, 2013).

En cuanto a la arquitectura, en la actualidad, la construcción es responsable del 36% del uso total de la energía; del 65% del consumo de electricidad, del 30% de las emisiones de gases efecto invernadero; del 30% del uso de materias primas; del 30% de los residuos que van a vertedero y de un 12% del uso de agua potable; situación que llevó a buscar opciones viables para reducir el consumo y el impacto ambiental derivado de la explotación de este combustible fósil, instituyendo de esta manera también una conciencia ambiental y promoviendo el uso de materiales de bajo consumo energético. Debido a los mencionados antecedentes en esta investigación se dará especial importancia al uso de materiales con bajo costo energético y bajo impacto ambiental (Libro Verde, 2012).

El impacto ambiental se calcula mediante la consideración de la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera, los mismos que proceden de actividades de producción y/o consumo de servicios (Pandey, et al. 2010; Wiedman, 2009, en Espíndola & Valderrama, 2012). Si bien como menciona Espíndola y Valderrama (2012) “no existe aún un método

aceptable y general para determinar y comparar la HdC de productos, servicios, viviendas y empresas”, algunos autores (Minx y Wiedmann, 2008, en Espíndola & Valderrama, 2012) calculan el impacto ambiental o la huella de carbono (HdC) mediante la emisión de un gas único (CO²); este método evaluativo se encuentra presente en el sector de la construcción, donde existen criterios similares para definir el impacto ambiental de los materiales.

Para evaluar el consumo energético en la elaboración de un material, se debe tomar en cuenta la energía incorporada en su construcción; la misma que:

Incluye todo lo que se necesitó en los distintos procesos necesarios para llevar el material a su lugar en el edificio: desde la extracción de las materias primas, hasta su manufactura y erección; debe incluir la energía asociada al transporte (y a la parte proporcional de la infraestructura necesaria para que éste sea posible), así como la parte proporcional de los equipos y maquinaria necesarios para todos esos procesos (Woolley, et al., 1997, en Espí, 1999).

Al tener en cuenta todos estos condicionantes presentes y si se considera que no existe material 100% ecológico (ya que todos causan un deterioro y degradación) se evaluará el impacto ambiental de los estabilizantes químicos para su uso en los bloques de tierra, bajo los siguientes puntajes:

- EXCELENTE: materiales cuyo costo energético o bien energía incorporada, sea menor a la presente en materiales o estabilizantes químicos empleados usualmente en la construcción actual.² De igual manera, si el material existe en la región, el gasto energético en transporte sería inferior; razón por la cual, se valorara positivamente al existir el material en el entorno inmediato al lugar donde se desarrollará la construcción. Para finalizar, se tomará en cuenta si el material al cumplir el ciclo de vida, su degradación contamina el medio ambiente.
- BUENO: se considera los materiales cuyo costo energético o energía incorporada en su elaboración sea igual (en magnitud) a los materiales o estabilizantes químicos usados en la construcción actual. Así mismo se toma en cuenta, para este apartado, materiales existentes en el medio pero que al cumplir su ciclo de vida, su degradación tenga un impacto negativo en el medio ambiente.
- MALO: materiales cuya energía incorporada sea mayor al de materiales o estabilizantes químicos empleados actualmente en la construcción; así mismo, materiales que no sean de la región (su

² Se tomará como estabilizantes químicos empleados en la construcción actual a materiales cuyo uso representa una huella de carbono alta; el material de partida para comparación y posterior calificación de los distintos compuestos químicos ha

sido el cemento porque según la INEC, en su encuesta anual de edificaciones 2014, menciona que en la actualidad un 76.89 % de construcciones utilizan hormigón donde uno de los materiales constitutivos principales es el cemento.

transporte genera un gran consumo energético) y que a su vez degraden el medio ambiente.

Cabe recalcar que para evaluar la energía incorporada se valorará la magnitud del impacto ambiental de cada material en su proceso de fabricación porque como se mencionó no existe un método exacto para la evaluación de materiales debido a la diferencia existente en los procesos de elaboración.

2.4. Economía

La economía es un parámetro fundamental para la elección de un material de construcción porque esto repercutirá en el costo final del bloque de tierra. Para ello, se tomarán en cuenta dos factores que permitirán conocer si el estabilizante a escogerse es económicamente favorable.

2.5. Disponibilidad

Los estabilizantes deben ser accesibles en el mercado. Así mismo deberá tomarse en cuenta la propensión del material para la producción en grandes cantidades; esto, con el fin de elaborar una cuantía significativa de bloques que puedan conformar una edificación a precios asequibles. Por otro lado, es de suma importancia que un estabilizante químico lo podamos conseguir continuamente y que su obtención se pueda realizar en cualquier día del año.

- EXCELENTE: si el estabilizante se puede conseguir en el mercado sin necesidad de permisos ni impedimentos; además, si se puede conseguir cualquier día del año y en grandes cantidades.
- BUENO: si el estabilizante se puede conseguir en el mercado sin necesidad de permisos ni impedimentos, pero su producción no es continua o no se consigue en grandes cantidades.
- MALO: si el estabilizante no se puede conseguir en el mercado porque requiere permisos o existe impedimentos debido a la complejidad en su fabricación y/o obtención. De igual manera, se encontrarán en este apartado materiales que no puedan conseguirse en grandes cantidades.

2.6. Precio

Con el fin de realizar la calificación del precio, se ha considerado necesario un análisis previo de cada uno de los estabilizantes porque no todos tienen la misma densidad (relación peso/volumen); se ha tomado en cuenta dos factores que permitan compararlos entre sí:

- Precio³ en el mercado en Kg.

- Peso específico en Kg. por m³.

Como ya se ha mencionado, debido a que cada estabilizante químico tiene características totalmente distintas y con el fin de comparar su precio se ha obtenido el peso específico de los compuestos estudiados; de esta manera, es posible calcular el volumen en Kg. por cada m³ de estabilizante, así se puede determinar su precio por m³.

Para identificar la incidencia económica que se genera al agregar un estabilizante químico, se toman las medidas de un bloque de tierra de 0.15 x 0.30 x 0.12 cm., donde se ha calculado el volumen de mezcla necesaria para realizar dicha pieza y se ha decidido asignar un porcentaje del 10% del volumen total de la mezcla al estabilizante. Se debe considerar que estas medidas (volumen y porcentaje) cambiarán según el diseño del bloque de tierra y su mezcla; sin embargo, para el desarrollo de esta metodología se ha considerado un mampuesto de tierra que cuente con un 55% de arena, 35% de arcilla y limos, más un 10% de estabilizante químico.

Se ha tomado estos valores debido a que distintas investigaciones (Zarza, Rodríguez, Menéndez Barroso, 2008; Ducman et al., 2004) mencionan que los porcentajes óptimos de arena para desarrollar un bloque de tierra de mayor resistencia oscilan entre valores del 60% del volumen total; por otro lado, mencionan que el porcentaje de arcilla y limos óptimo debe estar entre el 15% y 40%. En cuanto al porcentaje asignado al estabilizante químico, se ha optado por un volumen correspondiente al 10% del volumen total porque en distintas investigaciones consultadas (García, 2011; Calderón, 2013) se ha encontrado que los porcentajes de estabilizante que se añaden en mezclas para evaluar su comportamiento, rondan valores que van del 3% al 10% o hasta el 15%; por ello, se considera a este porcentaje como habitual.

Con el fin de comparar el precio de los estabilizantes entre sí, se realiza un análisis de precios unitarios,⁴ donde se obtiene el precio del bloque de tierra comprimida de 0,30 x 0,15 x 0,12 cm.; este precio se lo considera sin la adición de ningún estabilizante químico (Figura 2). Luego se identifica el costo de cada estabilizante para un volumen equivalente al 10% del volumen total de 1 bloque tierra (0,00054m³).

Finalmente para dar un puntaje a cada estabilizante químico, se identifica el porcentaje de aumento de precio (por bloque de tierra) que significa la adición del mismo. Para calificar este apartado se elaboró una tabla que contiene el precio de todos los estabilizantes estudiados, obteniendo así una clasificación en cinco grupos según el porcentaje mostrado en la tabla de

³ Los precios especificados corresponden a dólares americanos

⁴ Para realizar el análisis de precios unitarios se han fabricado alrededor de 150 bloques de tierra mediante el uso de una máquina hidráulica para la compresión.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS							
RUBRO:	Bloque de tierra comprimido			UNIDAD:	u		
DETALLE:	Fabricación y preparación, con arena extra, (maquinaria comprada)						
EQUIPOS						%	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO		
Prensadora	1	6000,00	0,595	0,010	0,006		
SUBTOTAL M	0,006					3%	
MANO DE OBRA							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO		
Maestro mayor	1	3,57	3,57	0,010	0,036		
Peón	3	3,18	9,54	0,010	0,10		
Operador de maquinaria	1	3,57	3,57	0,010	0,04		
SUBTOTAL N	0,1668					72%	
MATERIALES							
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO			
Tierra	m3	0,0034	0,000	0,000			
Arena puesta en obra	m3	0,0019	20,000	0,038			
SUBTOTAL O	0,038					16%	
TRANSPORTE							
DESCRIPCIÓN	km	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		
Transporte	10				0,020		
SUBTOTAL P	0,020					9%	
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		0,23	100%
				INDIRECTOS Y UTILIDADES %		0,051	
				OTROS INDIRECTOS %			
				COSTO TOTAL DEL RUBRO		0,28	
				VALOR OFERTADO		0,28	

Figura: 2 Análisis de precio unitario para bloque de tierra comprimida

Estabilizante	Precio en Dólares Americanos por (kg)	Peso específico o (kg /m³)	Precio por (m³)	Precio por el 10% de estabilizante para un bloque (0.00054 m³)	Porcentaje que aumenta en el precio final de un bloque de tierra	Calificación	NOTA: Se toma en cuenta la medida de un bloque de tierra de: 0.15m x 0.30m x 0.12m cuyo volumen es de 0,0054m³ y el precio sin estabilizante es: \$0.28 (Figura 4).	
Cáscara de arroz	0,004	780	3,12	0,002	0,60%	5		
Escorias de fundición	0,01	1500	15	0,008	2,87%	5		
Puzolana	0,017	1100	18,7	0,010	3,58%	5		
Cabuya	0,913	60	54,78	0,030	10,49%	5		
Cal	0,105	1000	105,4	0,057	20,18%	4		
Cloruro de sodio	0,09	1200	108	0,058	20,68%	4		
Cemento	0,144	1200	172,8	0,093	33,09%	3		
Yeso	0,162	1250	203	0,110	38,87%	3		
Almidón de yuca	0,76	500	380	0,205	72,77%	2	Criterio de calificación	Puntaje
Silicato de sodio	0,9	1380	1242	0,671	237,83%	1	%>80	1
Bitumen	2,95	800	2360	1,274	451,91%	1	60<%<80	2
Resinas acrílicas	2,639	1010	2665,5	1,439	510,41%	1	30<%<60	3
Aceite de linaza	7,149	940	6720	3,629	1286,81%	1	15<%<30	4
Resina epóxica	6,247	1170	7308,6	3,947	1399,52%	1	%<15	5

Figura 3: Matriz para la calificación del precio de los estabilizantes químicos

criterios expresada en la Figura 3, desde los más económicos con una puntuación de cinco, hasta los más costosos con una puntuación de 1.

- EXCELENTE: estabilizante con puntuación de 5.

- MUY BUENO: estabilizante con puntuación de 4.
- BUENO: estabilizante con puntuación de 3.
- REGULAR: estabilizante con puntuación de 2.
- MALO: estabilizante con puntuación de 1.

Se emplea dicho método para calificar el precio, debido a que en este caso el precio por sí solo entre materiales no puede ser comparable.

2.7. Mejora de propiedades técnicas

Un indicador común (en las normativas internacionales de construcción en tierra) (Cid et al., 2012) de la calidad de los elementos conformados por barro es la resistencia a compresión. Se ha considerado esta afirmación y se ha decidido calificar a los estabilizantes por su capacidad de optimizar la resistencia a compresión del bloque de tierra; a su vez se ha optado también por calificar la mejora ante factores medioambientales externos que se logren mediante la adición de estos compuestos.

A continuación se expresa una explicación más detallada de estos parámetros elegidos.

Resistencia a la Compresión: se ha elegido la mejora de la resistencia a la compresión del bloque de tierra debido a que (como ya se ha mencionado) en gran cantidad de normativas internacionales (UNE EN 41410, E.080, NMAC, 14.7.4, 2004, ASTM E2392 M-10) la definen como un indicador común para definir la calidad del bloque de tierra; se pretende con esta metodología elegir un estabilizante que aumente las capacidades físico-mecánicas del material.

Resistencia a factores medioambientales externos (impermeabilización) al encontrarnos en una región cuya temperatura oscila entre 11°-24° (INAHMI), en un medio donde las inclemencias del tiempo y precipitaciones pluviales son significativas en determinadas épocas del año, se ha creído conveniente estudiar métodos para mejorar la impermeabilización del material. La impermeabilización basada en los factores de capilaridad es una característica de suma importancia porque la humedad del medio ambiente, los efectos de la lluvia y otros factores pueden conducir a daños en los bloques conformados por tierra cruda (Minke, 2001).

A continuación se indica la calificación desarrollada para este apartado:

- EXCELENTE: estabilizantes que podrían brindar una mejora a la compresión y optimicen las cualidades de la tierra ante condiciones externas (impermeabilización de la tierra).
- BUENO: estabilizante que podría brindar una mejora en la resistencia a la compresión del bloque de tierra. Se ha priorizado esta mejora técnica por encima de la impermeabilización debido a lo ya mencionado (Cid et al., 2012), sobre el indicador de calidad de bloques de tierra en distintas normativas internacionales.
- MALO: estabilizante que brindaría una mejora solo en el ámbito de la impermeabilización.

Finalmente para calificar los estabilizantes químicos se ha desarrollado una ficha donde se recoge la evaluación desarrollada para cada uno de los compuestos de la clasificación (Figura 1), mediante los parámetros ya descritos. La evaluación se realiza en una escala de puntajes que van de 1 a 5 puntos (1 el más bajo y 5 el más alto) (Figura 4); cabe recalcar que para la valoración antes mencionada se ha realizado una revisión bibliográfica de cada uno de los estabilizantes químicos expuestos; y, posteriormente, se ha procedido a efectuar dicha calificación para cada uno de los parámetros.

Estabilizante	Estabilizante Químico			Observación
	CALIFICACIÓN			
Criterios de calidad	Excelente (5)	Bueno (3)	Malo (1)	
Impacto ambiental	5			
Disponibilidad		3		
Mejora de propiedades técnicas			1	
Precio*	3			
TOTAL	12			

*En el caso del precio se debe colocar la puntuación que el estabilizante químico haya alcanzado en el proceso mencionado.

Figura 4: Modelo de Ficha para evaluación de estabilizantes químicos

Estabilizante	Impacto ambiental	Disponibilidad	Mejora técnica	Precio	Total	Total ponderado	Ratio calidad
Cáscara de arroz	5	4	3	5	17	16,4	82%
Cloruro de sodio	4	5	3	4	16	15,4	77%
Cal	2	4	5	4	15	15	75%
Escorias de fundición	4	1	3	5	13	12,8	64%
Cabuya	4	4	3	5	16	15,2	76%
Cemento	1	5	5	3	14	14	70%
Almidón de yuca	4	4	3	2	13	13,4	67%
Silicato de sodio	3	4	4	1	12	13	65%
Yeso	1	5	3	3	12	11,2	56%
Puzolana	3	2	2	5	12	11	55%
Aceite de linaza	5	1	4	1	11	13	65%
Resinas acrílicas	1	4	4	1	10	10,6	53%
Resina epóxica	1	4	3	1	9	12	60%
Bitumen	1	3	3	1	8	8,4	42%
Ponderación	30%	20%	35%	15%			

Figura 5: Matriz final para la evaluación de los estabilizantes químicos

3. Resultados

Después de realizada la evaluación de los materiales, se elaboró una matriz final que comparará no solo la calidad del material –evaluada por los parámetros descritos anteriormente– sino también su precio para, de esta manera, elegir un estabilizante que proporcione mejoras técnicas y cuyo costo permita la elaboración de bloques de tierra en grandes cantidades.

Para obtener la calificación final de cada material, se realizó una ponderación que busca dar mayor importancia a ciertos parámetros considerados indispensables. Se asignó la ponderación más alta al parámetro de mejoras técnicas, con un porcentaje del 35% porque influenciará directamente en la calidad final del producto. Se asignó un porcentaje del 30% a impacto ambiental, disponibilidad 20% y al precio un 15%. Si bien para este estudio se considera de gran importancia la obtención de estabilizantes de bajo consumo energético, el parámetro denominado impacto ambiental no podría ser nunca mayor al de mejoras técnicas debido a que el objetivo principal de agregar un estabilizante químico es mejorar las propiedades físico-mecánicas del bloque de tierra. Cabe señalar que este método podría funcionar para la elección de estabilizantes en futuras propuestas de mejoramiento ajenas a las realizadas en este estudio, siempre y cuando se investigue cada material y se lo incluya en una matriz como la que hemos indicado en este estudio.

Posteriormente se ha obtenido un ratio de calidad; éste se consigue después de tabular las fichas de evaluación (modelo de ficha expuesto en Figura 4) donde la puntuación máxima posible será veinte puntos.

Con el fin de obtener una medida que nos permita comparar la calidad de cada estabilizante, se divide la valoración alcanzada para la máxima calificación; se crea así un ratio que mide la calidad de los materiales estudiados entre sí en una escala de 1% al 100% (Figura 5).

De acuerdo a la evaluación de materiales desarrollada y a la metodología aplicada, se ha obtenido la cáscara de arroz como el estabilizante más adecuado para la

aplicación en la mezcla de barro; cabe recalcar que esta elección se ha dado siempre para los parámetros definidos anteriormente.

4. Conclusiones

Si bien es importante elegir un estabilizante cuya adición optimice las características técnicas del bloque de tierra, su uso no debería repercutir en gran medida en el costo final del bloque; esto con el fin de poder desarrollarlo en grandes cantidades.

La metodología para la elección de un estabilizante químico debe responder a las condicionantes del lugar donde se desarrolla el estudio. Para saber qué estabilizantes químicos estudiar (con el fin de evaluarlos), se debería analizar la disponibilidad de estos en el medio y, posterior a ello, desarrollar una clasificación.

La mejora de propiedades técnicas del estabilizante químico debe ser la que ocupe mayor importancia, al momento de la evaluación porque el objetivo final de agregar un compuesto “extra” a la mezcla de barro es el de mejorar sus propiedades físico-mecánicas y, por ende, su calidad.

El éxito de la aplicación de esta metodología está en el estudio de las mejoras técnicas que se pueden obtener al agregar un estabilizante químico.

Se considera posible la aplicación de esta metodología (uso de matriz para calificar el precio y la matriz final) en diferentes contextos, siempre y cuando se analice y califique a los estabilizantes para cada uno de los parámetros expuestos, tomando en cuenta el contexto donde se ubican.

Como citar este artículo/How to cite this article: Guzmán, S., e Iñiguez, M. (2016). Metodología para elección de estabilizantes químicos para bloques de tierra. *Estoa, Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 5(9), 151-159. doi:10.18537/est.v005.n009.12

Bibliografía

- Achenza, M., & Fenu, L. (2006). On earth stabilization with natural polymers for earth masonry construction. *Materials and Structures*, 39, 21-27.
- AENOR. (2008). *Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo*. Norma Española UNE en 41410. España: AENOR.
- Amorós García, M. (2011). *Desarrollo de un nuevo ladrillo de tierra cruda, con aglomerantes y aditivos estructurales de base vegetal*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Barrios, G., Alvarez, L., Arcos, H., Marchant, E., & Rosi, D. (1986). Comportamiento de los suelos para la confección de adobes. *Informes de la Construcción*, 37 (377), 44-49.
- Barbeta Isolá, G. (2002). *Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI*. (Tesis Doctoral). Escola Técnica Superior D' Arquitectura de Barcelona, España.
- Carcedo Fernández, M. (2012). *Resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula*. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Calderon Peñafiel, J. (2013). *Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia*. (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Catalunya, España.
- ICOMOS. (1999). *Carta del patrimonio vernáculo construido*. En 12ª Asamblea General. México.
- Cid Falceto, J. J. (2012). *Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción*. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Cid, J., Mazarrón, F., & Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de la construcción*, 63 (523), 159-169.
- Ducman, V., & Kopar, T. (2004). Potential use of waste stone mud in the clay based industry. *Industrial Ceramics*, 24 (1), 8-12.
- Espindola, C., & Valderrama, J. (2011). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. *Información Tecnológica*, 163-176.
- INEC. (2014). *Anuario de estadísticas de edificaciones*. Recuperado de www.ecuadorencifras.gob.ec
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (s.f). Recuperado de www.serviciometeorologico.gob.ec
- Madero, J., & Martín, J. (2013). *La tierra en la construcción de cerramientos con materiales de reciclaje*. Trabajo presentado en Congreso de Arquitectura de Tierra. En Cuenca de Campos, 389-396.
- Montes Bernabé, J. L. (2009). *Estudio del efecto de la fibra de bagazo de Agave angustifolia en la resistencia a flexión y compresión del adobe compactado*. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, México.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2011).
- Libro Verde sobre la eficiencia energética. (2005).
- Pesántez, M., & González, I. (2011). *Arquitectura Tradicional en Azuay y Cañar. Técnicas, creencias, prácticas y saberes*. Cuenca: INPC Regional 6.
- Rigassi, V. (1995). *Blocs en terre comprime. Volume I.- Manuel de production*. EAG.
- Rodríguez, M. A. & Saroza, B. (2006). Identificación de la composición óptima del adobe como material. *Materiales de Construcción*, 56 (282), 53-62.
- Saroza, B., Rodríguez, M., Menéndez, J., & Barroso, I. (2008). Estudio de la resistencia a compresión simple del adobe elaborado con suelos procedentes de Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba. *Informes de la Construcción*, 60 (511), 41-47.
- Seisdedos, J. & López, R., (2010). Unidad de producción de bloques de tierra comprimida - BTC. *La arquitectura construida en tierra*, 289-294.
- SENCICO. (1999). *Norma Técnica de edificación E.080 Adobe*. Perú.