

Uso de la metodología de la tierra comprimida estabilizada para la fabricación de ladrillos

Use of stabilized compressed earth methodology for bricks manufacturing

Recibido: marzo 21 de 2021 | Revisado: mayo 20 de 2021 | Aceptado: agosto 19 de 2021

Sócrates Pedro MUÑOZ PÉREZ^{1,A}
MIRIAM Rocio Rojas Molina^{2,A}

ABSTRACT

Building materials such as concrete blocks and fired clay brick are very expensive and, in some circumstances, have a detrimental effect on the environment. Although there are some experiences and studies to improve the durability of bricks, these have not been sufficiently disseminated. One of the alternatives is stabilized compressed earth brick, as a sustainable material that uses locally available soils, combined with stabilizers to improve its resistance. Also, the construction development of these bricks is on-site and requires less qualified labor.

Keywords: Stabilized soil, cement, lime, bricks

RESUMEN

Los materiales de construcción como los bloques de hormigón y el ladrillo de arcilla cocida son muy costosos y en algunas circunstancias generan un efecto perjudicial en el medio ambiente. Pese a que existe un sin número de experiencias y estudios para mejorar la durabilidad de los ladrillos estos no han sido difundidos suficientemente. Una de las alternativas es el ladrillo de tierra comprimido estabilizado, como material sostenible que utiliza suelos disponibles localmente, combinados con estabilizadores para mejorar su resistencia. Asimismo, el desarrollo de construcción de estos ladrillos es in situ y requiere mano de obra menos calificada.

Palabras clave: Suelo estabilizado, cemento, cal, ladrillos.

^{1,2} Universidad Señor de Sipán

<https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

Correspondencia: rmolinam@crece.uss.edu.pe

DOI: <https://doi.org/10.24039/cv202191854>



Introducción

En la era moderna de la ingeniería civil, la sostenibilidad tiene mayor atención, pero el inconveniente de los materiales de construcción tradicionales como el cemento, el agregado de ladrillos y el acero se suman a la contaminación (Islam, et al., 2020) provocada por la emisión de dióxido de carbono durante el desarrollo de preparación de ladrillos convencionales, ocasionando muchos problemas ambientales. (Malkanathi, et al., 2020). Asimismo, existe un malestar dentro de la industria de las viviendas para dar soluciones menos costosas y técnicamente superiores, se propone los sistemas prefabricados, que pueden ser una solución al problema; sin embargo, este tipo de vivienda puede resultar ser muy costosas, teniendo en cuenta que no solo debe ser rentables sino debe ofrecer una mejor habitabilidad, longevidad y sostenibilidad (Bradley, et al., 2018). Existe una preocupación en la búsqueda de materiales alternativos que sean baratos y asequibles. (Akinwumi, et al., 2019). además, hay una inquietud con los edificios debido a que representan el 32% del uso integro de energía global y el 19% de la emanación de gases del efecto invernadero, esto ocasiona la necesidad de una solución de vivienda urgente que cumpla con los criterios de estabilidad estructural y sostenibilidad (Khadka, 2019). En tal sentido se plantea la tierra comprimida estabilizado, como solución porque es un material sostenible y localmente disponible, mezclados con estabilizadores que aumenta su resistencia (Abd-Alkarem, et al., 2020). Hoy en día se ha retomado el sistema tradicional del adobe mediante estudios para aumentar sus características originales, originando lo que entendemos como ladrillo de adobe tecnificado o ladrillo de tierra comprimido estabilizado (Roux, 2002). Anteriormente los ladrillos de tierra se han usado comúnmente como material de relleno o revestimiento no portante (Obonyo, et al., 2010), el criterio desfavorable de utilizar solo tierra para la construcción es su durabilidad, que está relacionada con su resistencia a la compresión, debido a que la mayoría del suelo está en su estado natural que carece de resistencia, estabilidad dimensional y durabilidad (Venny, et al., 2010). En ese sentido se considera que el ladrillo de tierra estabilizado, es un material de construcción compuesto por suelo húmedo compactado a alta presión

y aglutinantes químicos como cemento portland (Ahire, et al., 2019), que frecuentemente se aplica alrededor de 21 MPa en compresión y el volumen original del suelo se reduce aproximadamente a un 50% (Abed, 2020). Estas unidades de albañilería son materiales de construcción amigable y sostenible desde el criterio de la eficiencia en el uso de energía y el amortiguamiento de costo (Saeed, et al., 2020), es reciclable regresa a la tierra sin contaminar el suelo (Temitope et al., 2019) como material de construcción refuerza la resistencia mecánica con aditivos estabilizadores, los más conocidos son el cemento, la cal y las fibras. (Ammari, et al., 2017). Sus propiedades mecánicas pueden caracterizarse por el índice de resistencia a la compresión y las propiedades térmicas por el índice de conductividad térmica (Chen, 2020). El objetivo es ofrecer una visión de materiales de construcción eficiente en energía, económicos y amigables con el medio ambiente (Islam, et al., 2020). En cuanto al bloque de tierra comprimida sin adición de estabilizantes para la construcción de muros. Este mampuesto elimina en su fabricación la etapa de cocción (Galíndez, 2009). Son varios los métodos de aprovechamiento de la tierra para la construcción de edificios, específicamente viviendas, los suelos estabilizados han demostrado buena condición técnica y durabilidad en relación al adobe o al suelo apisonado (Gatani, 2000). Tomando en cuenta el suelo-cemento como una mezcla homogénea con definidas dosis de cemento y agua, que posteriormente compactado se logra un material firme a los esfuerzos de compresión, termo aislante, casi impermeable, y duradero en el tiempo (Toirac, 2008), no es tóxico y puede renovarse presenta buena resistencia al sonido, durabilidad y flexibilidad. (Abd-Alkarem, et al., 2020). También realizaron estudios de estabilización de tierra con bacterias ureolíticas, obteniendo como resultado el acrecentamiento de la resistencia a compresión y la reducción de absorción de agua, el cual indica el éxito del uso de bacterias como una solución ecológica, para mejorar la durabilidad del material de construcción (Zamer, et al., 2016). plantean desafíos adicionales debido a que pertenecen a una nueva clase de materiales a base de cemento. (Obonyo, 2011). Un claro ejemplo tenemos la piscina municipal Toro (Figura 1 y 2), galardonada por presentar una construcción sostenible, elaborada de tierra estabilizada con cemento blanco y cal.



Figura 1. Interior de la piscina cubierta, fuente: (vier arquitectos S.L.).



Figura 2. Entrada de acceso piscina cubierta, fuente:(vier arquitectos S.L.).

Revisión de las técnicas usadas en ladrillo de tierra comprimida

Esta revisión analiza la tierra comprimida con estabilización para la fabricación de ladrillos y sus propiedades, por medio de las revisiones de la literatura científica y experiencias prácticas internacionales, Para el desarrollo se analizaron diferentes métodos:

Suelo

La tierra es un material alternativo y sostenible que se usa desde tiempos conmemorables (Tripura, et al., 2019). Es considerado un recurso abundante en casi todo el mundo (Sitton, et al., 2018), tiene propiedades higroscópicas ventajosas debido a que respira absorbiendo o liberando humedad (Walter, et al., 2017). Sus propiedades físicas al ser interactuadas con diferentes componentes químicos y el agua, originan un papel decisivo en la aplicación de ingeniería de las materias primas (Akinwumi, et al., 2019). por lo tanto, la tierra modificada es un producto de material poroso suelto, cuando la materia prima del suelo de alta densidad se somete a una carga externa, las partículas de suelo de cada componente se disponen y se ocluyen eficazmente entre sí (Chen, 2020). Asimismo, se consideran suelos orgánicos aquellos que tienen el 20%

de partículas de arcilla, 33% de limo y 47% de arena fina (Muntohar, 2011). En el caso de los suelos salinos tienen un potencial limitado para el cultivo, el uso de este tipo de suelo es un modo de mitigar la destrucción de tierras agrícolas. (Yu, et al., 2015)

Selección del suelo

Depende de la ubicación como del entorno debido a la variada plasticidad que presenta (Kinuthia, 2015), para la clasificación del suelo se deben considerar tres clases, para suelos con $LS > 11,0$ (primera clase); para suelos con $LS = 6,0 - 11,0$ (segunda clase); y para suelos con $LS < 6,0$ (tercera clase). Los suelos de la primera clase no son aptos para la estabilización y deben excluir como candidatos para la estabilización, la segunda y la tercera clase se analizan para determinar la cantidad de arena y el contenido de arcilla- limo para considerar el tipo y la cantidad de estabilizador (Burroughs, 2010).

Estabilizadores

La estabilización es un proceso que modifica las propiedades del suelo, teniendo en cuenta algunos factores como el porcentaje de estabilizador, la presión aplicada en la fabricación y la mezcla adecuada del suelo con el estabilizador (Ameem, et al., 2020). El cemento

hidratado mejora la resistencia a la compresión de las unidades de tierra (Ammari, et al., 2017). Es uno de los estabilizadores que se usa ampliamente porque reduce el límite de líquido, mejora la trabajabilidad del suelo y aumenta el límite de plasticidad, acelera el proceso de sinterización y mejora la reacción química (Abed, 2020). Ocasionalmente un incremento suficiente en la resistencia al agua, a la compresión y la estabilización en las dimensiones (Burroughs, 2010), agregando de 4-10% de cemento para la fabricación de unidades de albañilería, genera características de aislamiento térmico y acústico aceptables (Ammari, et al., 2017). Con la estabilización del cemento, los bloques deben curarse durante cuatro semanas después de la fabricación (Toirac, 2008). Una de las funciones del estabilizador es disminuir la hinchazón del suelo mediante la creación de una estructura sólida y cohesiva con la masa de tierra (Ameem, et al., 2020). En cuanto a la estabilización con la cal depende más del tiempo que de la dosis, por tanto, gana fuerza con el tiempo (Abed, 2020). La estabilización con cal necesita un mayor tiempo de curado para obtener porcentajes de resistencia relevantes (Izemmouren, et al., 2015). Si se trata de la estabilización con geopolímeros mejora los parámetros mecánicos por su producción de geles geopolímeros que conectan las partículas, generando que la muestra sea más resistente y compacta, los parámetros térmicos varían ligeramente con el contenido de geopolímeros, pero permanecen por debajo de los estabilizadores con cemento (Sore, et al., 2018). y por último las bacterias como estabilizador presentan excelentes propiedades de estabilización el cual genera mejor durabilidad del suelo. (Irwan, et al., 2016). El silicato de sodio, el ácido fosfórico y el ácido fluorhídrico tiene el efecto de mejorar la actividad puzolánica del suelo salino. (Yu, et al., 2015)

Resistencia a la compresión y flexión del suelo

Es el valor más universalmente aceptado para determinar la calidad de los ladrillos, pero está relacionada con el tipo de suelo y el contenido del estabilizador (Venny, et al., 2010). Asimismo, si se adiciona bacteria estos actúan como reemplazo a la piedra caliza (Irwan, et al., 2016). En cuanto a las fallas por flexión la tierra estabilizada presenta una desviación muy pequeña que varía de 2mm a 6mm (Muntohar, 2011). Asimismo, la resistencia a la compresión no debe ser inferior a 1,4 MPa en estado seco y 0,7 MPa en estado húmedo (Islam, et al., 2020).

Absorción de agua

Las muestras estabilizadas conservan su masa durante la inmersión en agua, mientras que las muestras no tratadas con estabilizantes se deterioran durante la inmersión (Muntohar, 2011). La absorción de agua varía de acuerdo al estabilizador usado, en el caso del cemento para un contenido 6% la absorción de agua es al 15% (Islam, et al., 2020) el uso de bacterias impide la entrada de agua a los poros de la muestra debido a que estos se llenan con calcita. (Irwan, et al., 2016)

Procedimiento de fabricación del ladrillo de tierra comprimida

- **Reconocimiento y fabricación.**

Se elabora un estudio de las características químicas y físicas con ensayos de laboratorio o en situ. dependiendo de la muestra se hará un tamizado y molturado de la tierra (Saeed, et al., 2020) Es importante considerar la trabajabilidad en la producción, una trabajabilidad baja puede romperse la unidad de albañilería fácilmente al momento de sacar del equipo de prensado. (Sturm, et al., 2014)

- **Incorporado**

Se combinan los elementos secos cuidadosamente, posterior se agrega gradualmente la proporción de agua para un conveniente apisonado (Ameem, et al., 2020).

- **Comprimir**

Trabajo primordial en la fase de producción de los ladrillos de tierra comprimida, por medio de la compactación de presión externa, logrando como resultado la reducción del suelo y del volumen de los poros. (Chen, 2020). La mezcla debe estar completamente húmeda para unirse al momento de compactar con el objetivo de lograr una compactación completa (Vinay, et al., 2017).

- **Secado**

Debe ejecutarse de manera vigilada. Existen dos etapas: etapa de curado (adición de estabilizantes) y etapa de secado. A fin de evitar un secado rápido (mantener al abrigo del viento y el sol) debido a que origina fisuras de retracción, afectando la resistencia final de los bloques (Ameem, et al., 2020).

- **Almacenamiento**

Transcurridas 24 horas ya puede usarse las unidades de albañilerías para su colocación, se recomienda embalar en plástico para conservar sus propiedades de humedad adecuado (el caso de haber sido estabilizado).

Si las unidades no fueron estabilizadas, pueden ser idóneos para su colocación en obra a los 20 días (Ameem, et al., 2020).

Discusión

La tierra comprimida estabilizada con la adición de cal redujo la capacidad de absorción (Muntohar, 2011), mostro una buena respuesta de resistencia a la compresión debido a la capacidad de la cal para descomponer el tetraedro de sílice y crear materiales hidratados más estables (Abd-Alkarem, et al., 2020). El cemento portland es el estabilizador más usado, considerando el porcentaje de cemento de 4-10% del peso seco del suelo, si se utilizara más de 10% ya no se consideraría económico para producir ladrillos (Ameem, et al., 2020). Se debe tener en cuenta el índice de plasticidad del suelo, (Obonyo, 2011) si su índice es menor a 15 es adecuado usar cemento como estabilizador, si el índice es superior a 15 o tiene un contenido de arcilla, se sugiere utilizar cal como estabilizador (Venny, et al., 2010). En cuanto al uso de las bacterias el resultado de resistencia a la compresión a los 28 días fue de 6.36 N/mm² con la bacteria llamada calcita bacteriana (Zamer, et al., 2016). Considerando la estabilización con aglutinante de geopolimeros del 20% se obtuvo una resistencia de 8,9 MPa y con el 10% se obtuvo 4 MPa (Sore, et al., 2018).

Conclusión

La tierra estabilizada es un componente que brinda una alternativa de construcción, mediante los ladrillos de tierra comprimida estabilizada que son materiales de construcción sostenibles, porque no se queman, no es necesario tener electricidad para la combustión y reduce la contaminación ambiental. Asimismo, la tierra que incluye un alto porcentaje de grava necesita más cemento que la tierra arenosa. También, para obtener una resistencia temprana de durabilidad y ductilidad, el cemento puede considerarse como un agente aglutinante más apropiado en comparación con el estabilizador de cal. Pero el cemento es costoso si se utiliza más del 10%. En referencia al uso de bacterias como estabilizador generan un crecimiento en la resistencia a la compresión y reduce la permeabilidad de agua, si se adiciona un 5% de calcita bacteriana, crea un mejor resultado con una resistencia de compresión de 15,25% y una reducción de absorción de agua de con 15,66% a los 28 días de prueba. Con la estabilización con aglutinante de geopolimeros del 15% se garantiza una buena cohesión de partículas, promueve una vida más

saludable, presentan buenas propiedades de durabilidad y conductividad térmica. En conclusión, el empleo de estabilizador para la fabricación de ladrillos sin cocer, mejoraron su resistencia a la flexión y la compresión. Estas nuevas unidades de albañilería tienen la propiedad de absorber la humedad atmosférica.

Fuente de Financiamiento

Este trabajo fue autofinanciado por los autores

Conflicto de Interés

Los autores del artículo declaran que no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con el mismo.

Referencias

- Abd-Alkarem, S. A. (2020). Production of earth units compressed and stabilized by using cement and puzzolana". *Materials science and engineering*, 13. doi:10.1088/1757-899X/745/1/012126
- Abed, Z. (2020). The effect of using different percentages of soil and fine aggregate on stabilized earth bricks'. *Materials science and engineering*, 10. doi:10.1088/1757-899X/737/1/012046
- Ahire, N. k. (2019). 'Replacement of Cement by Lime and Other Materials in Compressed Stabilized Earth Blocks'. *Journal of construction and building materials engineering*, 6. doi:10.5281/zenodo.2632673
- Akinwumi, I. D.-s. (2019). Marine plastic pollution and affordable housing challenge: shredded waste plastic stabilized soil for producing compressed earth bricks'. *case studies in construction materials*, 8. doi:https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00241
- Ameem, I. J. (2020). 'Production of Earth Units Compressed and Stabilized by Using Cement and puzzolana". *Materials sciencie and engineering*, 13. doi:doi:10.1088/1757-899X/745/1/012126
- Ammari, A. B. (2017). Combined effect of mineralogy and granular texture on the technico-economic optimum of the adobe and compressed earth blocks'. *case studies in construction materials*, 9. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2017.08.004

- Bradley, R. G. (august de 2018). <Guidelines to Mitigate Cracking in Compressed Stabilized Earth Brick Shells>. *Journal of performance of constructed facilities*, 19. doi: <https://orcid.org/0000-0003-4988-7143>
- Burroughs, S. (2010). [Recommendations for the selection, stabilization, and compaction of soil for rammed earth wall construction.]. *Journal of Green Building*, 14. doi:<https://doi.org/10.3992/jgb.5.1.101>
- Chen, R. (2020). "Mechanical and Thermal Behaviors of Cement Stabilized Compressed earth bricks". *earth and environmental science*, 9. doi:10.1088 / 1755-1315 / 474/7/072090
- E. Obonyo, D. V. (2010). Advancing the Structural Use of Earth-based Bricks: Addressing Key Challenges in the East African Context. *Sustainability*, 11. doi:10.3390/su2113561
- Galindez, F. (2009). "aportacion al ahorro en energetico". *seguridad y medio ambiente*, 12.
- Gatani, M. (2000). Ladrillos de suelo-cemento: manpuestro tradicional en base a un material sostenible. *informes de la construccion*, 13.
- Irwan, J. Z. (2016). "A review on interlocking compressed earth blocks (ICEB) with addition of bacteria". *EDP SCIENCES*, 5. doi:DOI: 10.1051/ mateconf/20164701017
- Islam, M.E.-E. (2020). "Strength and Durability Characteristics of Cement-sand Stabilized earth blocks". *ASCE*, 15. doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003176
- Izemouren, O. G. (15 de June de 2015). Mechanical Properties and Durability of Lime and Natural Pozzolana Stabilized Steam-Cured Compressed Earth Block Bricks. *CrossMark*, 13. doi:10.1007/s10706-015-9904-6
- Khadka, B. (30 de october de 2019). "Tierra apisonada, como un edificio verde sostenible y estructuralmente seguro". *Journal of civil engineering*, 18. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s42107-019-00202-5>
- Kinuthia, J. (2015). "The durability of compressed earth-based masonry blocks". *Design properties and durability*, 29. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78242-305-8.00018-8>
- Malkanathi, S. B. (10 de December de 2019). "Lime Stabilization for Compressed Stabilized Earth Blocks with Reduced Clay and Silt". *Case studies in construction materials*, 9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00326>
- Muntohar, A. (2011). Engineering characteristics of the compressed-stabilized earth brick. *construction and building materials*. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.04.061
- Nagaraja, A. M. (18 de July de 2018). Study on Compressed Stabilised Earth Blocks Using ALGIPLAST Admixtures. *International Journal of Applied Engineering and Management letters (IJAEML)*, 7. doi:<http://dx.doi.org/>
- Obonyo, E. (March de 2011). Optimizing the Physical, Mechanical and Hygrothermal Performance of Compressed Earth Bricks. *Sustainability*, 9. doi:10.3390/su3040596
- Roux, R. y. (2002). Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento portland al 6% y reforzados con fibra de coco, para muros de carga en Tampico. *Unidad academica de arquitectura, diseño y urbano*, 12.
- Saeed, I. M. (2020). Production of Earth Units Compressed and Stabilized by Using Cement. *Materials science and engineering*, 13. doi:10.1088/1757-899X/745/1/012126
- Sitton, J. Z. (2 de octubre de 2018). Effect of mix design on compressed earth block strength. *Construction and building materials*, 8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.005>
- Sore, S. M. (6 de January de 2018). Stabilization of compressed earth blocks (CEBs) by geopolymer binder based on local materials from Burkina Faso. *Construction and Building Materials*, 13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.051>
- Sturm, T. R. (8 de July de 2014). Characterization of dry-stack interlocking compressed earth blocks. *Materials and structures*, 16. doi:DOI 10.1617/s11527-014-0379-3
- Temitope, J. B. (septiembre de 2019). "Adhesive bond potential of compressed stabilised earth brick". *structures*, 9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.12.024>

Toirac, J. (2008). *El suelo-cemento como material de construcción*. (C. Y. SOCIEDAD, Ed.) Santo Domingo, REPUBLICA DOMINGO. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.ao?id=87012672003>

Tripura, D. G. (August de 2019). "Resistencia a la flexión y tendencia a la falla de las carteras de tierra apisonada estabilizada con cemento reforzado con bambú y bonote". *Construction and building materials*, 12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117986>

Venny, F. A. (2010). A brief review of compressed earth brick. *science and social research*, 6.

Vinay, B. A. (25 de February de 2017). Experimental studies on cement stabilized masonry blocks prepared from brick powder, fine recycled concrete aggregate and pozzolanic materials". *Building engineering*, 21. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.02.007>

Walter, A. G. (17 de March de 2017). "Mechanical behaviour of hypercompacted earth for building construction". *Materials and Structures*, 15. doi:[10.1617/s11527-017-1027-5](https://doi.org/10.1617/s11527-017-1027-5)

Yu, H. Z. (13 de January de 2015). "Stabilised compressed earth bricks made with coastal solonchak". *Construction and building materials*, 10. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.069>

Zamer, M. I. (2016). "Influence of ureolytic bacteria toward interlocking compressed earth blocks in improving durability of ICEB". *ISCEE*, 7. doi:[10.1051/mateconf/2017103010](https://doi.org/10.1051/mateconf/2017103010)