CBPAT 2020 ANAIS
CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
DE 15 A 17 DE ABRIL | FORTALEZA - CE
http://dx.doi.org/10.4322/CBPAT.2020.176
ISBN 978-65-86819-05-2

# EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LADRILLOS DE SUELO-CEMENTO

**ROCHA, JOAQUIN HUMBERTO AQUINO**
Ingeniero Civil
Universidad Privada del Valle
Cochabamba, Bolivia
joaquinaquinorocha@gmail.com

**HERRERA-ROSAS, MARIALAURA**
Estudiante
Universidad Privada del Valle
Cochabamba, Bolivia
marialaura.herrerarosas@gmail.com

**ZAPATA-AMPUERO, NATALY**
Estudiante
Universidad Privada del Valle
Cochabamba, Bolivia
natalyzapata347@gmail.com

**MURILLO-BORDA, WILLAM**
Estudiante
Universidad Privada del Valle
Cochabamba, Bolivia
wilito2610@gmail.com

## RESUMEN

La producción de ladrillos en Bolivia todavía es realizada de manera tradicional, a través de un proceso de cocción o quemado, la cual consume recursos naturales y genera impactos negativos al medio ambiente. En la literatura existen diferentes alternativas ecológicas para la fabricación de ladrillos, entre ellas se encuentran los elaborados con suelo y cemento, que no necesitan cocción y utiliza uno de los materiales más abundantes, el suelo. En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la resistencia a la compresión de ladrillos de suelo-cemento a diferentes proporciones de cemento, de forma de encontrar los porcentajes más adecuados para su aplicación en la construcción. Para tal motivo fueron fabricados en total 75 ladrillos de suelo-cemento, 15 para cada porcentaje de cemento propuesto (2%, 4%, 6%, 8% y 10%), los cuales se ensayaron a los 7, 14 y 28 días para observar el aumento de la resistencia a la compresión desde su elaboración; el suelo fue seleccionado de la zona sur de la ciudad de Cochabamba, sector caracterizado por el asentamiento de ladrilleras artesanales. Los resultados muestran que, a mayor porcentaje de cemento, mayor resistencia a la compresión se presenta; los ladrillos de 8% y 10% de contenido de cemento mostraron los mejores resultados y, por tanto, su aplicabilidad para su uso en la construcción.
*Palabras clave: resistencia a la compresión, suelo-cemento, ladrillos ecológicos.*

## ABSTRACT

The production of bricks in Bolivia is still carried out in a traditional way, through a cooking or burning process, which consumes natural resources and generates negative impacts on the environment. In the literature there are different ecological alternatives for the manufacture of bricks, among them are those made with soil and cement, which do not need the burning process and uses one of the most abundant materials, soil. In this sense, the present paper aims to evaluate the compressive strength of soil-cement bricks at different proportions of cement, in order to find the most suitable percentages for its application in construction. For this reason, a total of 75 soil-cement bricks were manufactured, 15 for each percentage of cement proposed (2%, 4%, 6%, 8% and 10%), which were tested at 7, 14 and 28 days to observe the increase in compressive strength since its elaboration; The soil was selected from the southern part of the city of Cochabamba, a sector characterized by the settlement of artisanal brickworks. The results show that, the higher the percentage of cement, the greater the compressive strength; 8% and 10% cement content bricks showed the best results and, therefore, their applicability for use in construction.
*Keywords: compressive strength, soil-cement, ecological bricks.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Existe una creciente demanda de materiales sustentables en la industria de la construcción civil (WU; YU; SHEN, 2017), que reduzcan sustancialmente el consumo de energía en la industria, además de cubrir las necesidades de vivienda (MOSTAFA; UDDIN, 2016), una vez que esta industria consume hasta el 40% de la energía global y contribuye de forma considerable a la contaminación atmosférica (AROOZ; HALWATURA, 2018).

ISBN 978-65-86819-05-2

En la ciudad de Cochabamba-Bolivia, entre el 10% y 15% de la contaminación atmosférica se debe a la producción artesanal de ladrillos de arcilla cocida, desarrollada principalmente en la zona sur de la ciudad, en los sectores de Cerro Blanco, San Joaquín y Champa Rancho (TERÁN, 2018). Normalmente en estas zonas se reportan niveles de contaminación por encima de los permisibles y problemas de salud en los pobladores (CHUQUIMIA, 2017; JALDÍN, 2019).

En este aspecto, los ladrillos de suelo-cemento surgen como una alternativa a los de arcilla cocida, una vez que el suelo es considerado como un material sustentable en la construcción, debido a su abundancia y su uso desde hace miles de años (NAGARAJ *et al*., 2014; NAGARAJ; RAJESH; SRAVAN, 2016). Entre las principales ventajas de este tipo material se pueden mencionar: que no pasan por un proceso de cocción y/o quemado, por tanto se requiere menor energía en su producción y se minimiza el uso de recursos naturales, reduciendo la liberación de dióxido de carbono a la atmósfera en un 80% (OTI; KINUTHIA; BAI, 2009; OTI; KINUTHIA, 2012); poco consumo de energía durante la extracción de los materiales, ya que estos ladrillos pueden ser producidos en el lugar de la construcción, reduciendo adicionalmente los costos de transporte (BARBOSA *et al*., 2019); su uso facilita el pasaje de las instalaciones logrando una ejecución más rápida y posibilitando la no utilización de mortero, además que su acabado final es superior a los tradicionales, aunque se recomienda la impermeabilización y una cobertura de acabado (OTI; KINUTHIA, 2012), y el costo de los ladrillos de suelo-cemento es menor comparado a los de arcilla cocida (LEONEL *et al*., 2017).

Si bien su composición es simple, suelo con material inorgánico, arena, y estabilizante, cemento; para su elaboración se requiere una clasificación adecuada del suelo, compactación, estabilización, además de un proceso de cura y secado, lo que garantizaría mayor densidad, menor absorción de agua, mayor resistencia a la compresión, entre otras propiedades (OTI; KINUTHIA, 2012; NAGARAJ *et al*., 2014). Con relación al suelo a ser utilizado, se recomienda que tenga un elevado porcentaje de arena y se limita entre 20% y 30% el contenido de limos y arcillas (GATANI, 2000; AROOZ; HALWATURA, 2018).

Pese a las facilidades y ventajas de este tipo de material, su uso es poco difundido. Además, los resultados varían de acuerdo con el lugar de estudio. En este sentido, el objetivo del presente artículo es evaluar la resistencia a la compresión de ladrillos de suelo-cemento en la ciudad de Cochabamba-Bolivia, considerando que la resistencia a la compresión es una medida básica y universalmente aceptada para especificar la calidad de los ladrillos, ya que es una medida indirecta de la durabilidad de estos (WALKER, 2004).

## 2. METODOLOGIA

El método empleado para cumplir con el objetivo de la investigación consistió en la determinación de la resistencia a la compresión de ladrillos de suelo-cemento, cuyas dimensiones se muestran en la Figura 1. Se fabricaron en total 75 ladrillos de suelo-cemento con cinco diferentes porcentajes de cemento (2%, 4%, 6%, 8% y 10%), 15 ladrillos por cada porcentaje; y suelo proveniente de la zona sur (Champa Rancho) de la ciudad de Cochabamba-Bolivia (Figura 2).

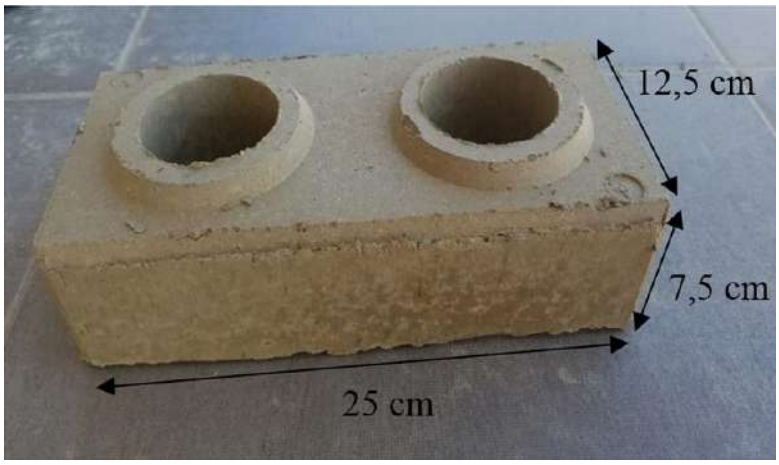

Figura 1: Dimensiones del ladrillo

ISBN 978-65-86819-05-2



Figura 2: Lugar de extracción – Coordenadas geográficas

Para el análisis granulométrico del suelo en estudio fue utilizada la norma D422-63 (ASTM, 2007). En la Figura 3 se presenta la curva granulométrica. El Límite Líquido (LL) y Índice de Plasticidad (IP) obtenidos fueron de 24 y 10, respectivamente, siguiendo la norma D4318-17e1 (ASTM, 2017a).

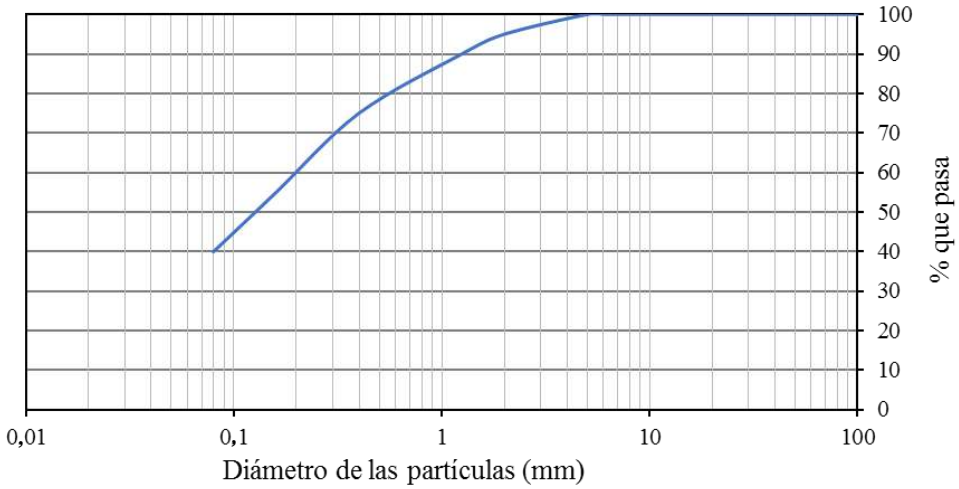

Figura 3: Curva granulométrica del suelo empleado

El suelo corresponde a una clasificación SC (arena arcillosa) según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos – SUCS (ASTM, 2017b) y A-4 según la M 145-91 (AASTHO, 2017). El porcentaje aproximado de arena encontrado fue de 60% y de los limos y arcillas de 40%

Para cada porcentaje de cemento propuesto se realizó el ensayo de compactación estándar Proctor de acuerdo con la norma D698-78 (ASTM, 2012). La Tabla 1 presenta los valores de humedad óptima para cada porcentaje de cemento, donde es posible observar que a medida que aumenta el contenido de cemento se requiere mayor cantidad de agua, lo cual se debe en gran parte al reemplazo del suelo por cemento, siendo que este último tiene mayor área específica.

Tabla 1 – Resultados del ensayo Proctor de las muestras de suelo

| Contenido de cemento | 0% (Suelo) | 2% | 4% | 6% | 8% | 10% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Humedad óptima (%) | 12,51 | 12,80 | 13,01 | 13,41 | 13,66 | 13,95 |

La Figura 4 presenta los resultados del ensayo Proctor para el suelo con 10% de cemento, en la cual se puede observar el porcentaje de humedad óptima (13,95%), definido por la máxima densidad seca de la mezcla.

ISBN 978-65-86819-05-2

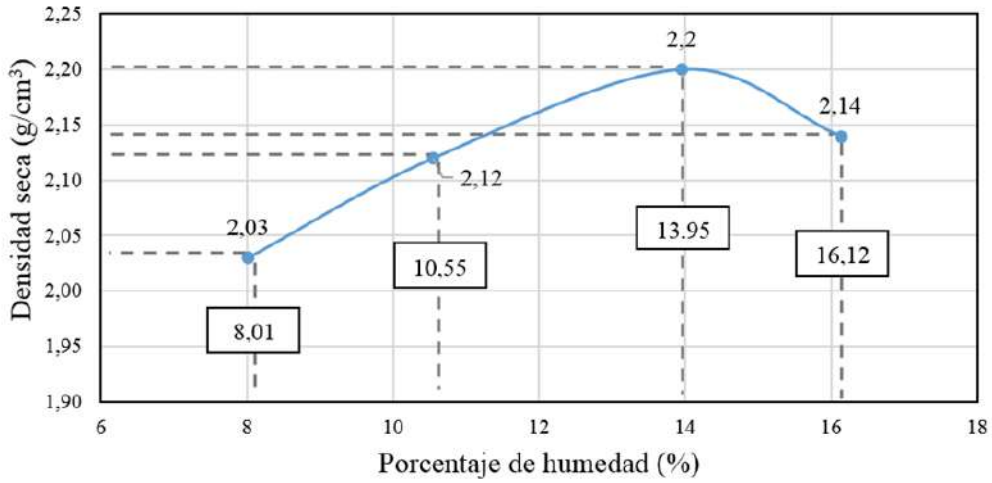


Figura 4: Ensayo Proctor para suelo con 10% de cemento

Fue utilizado el cemento COBOCE IP-30, cuyo análisis físico y químico se presenta en las Tablas 2 y 3, respectivamente.

Tabla 2 – Análisis físico del cemento empleado

| Parámetro | Unidad | Cemento IP-30 |
|---|---|---|
| Blaine | $cm^2/g$ | 4,48 |
| Residuo T325 | % | 5,34 |
| Densidad Real | $g/cm^3$ | 2,98 |
| Densidad Aparente | $g/cm^3$ | 1,05 |
| Inicio Fraguado | hr | 2,32 |
| Final Fraguado | hr | 4,65 |
| Exp. Le Chatelier | mm | 1,22 |
| Resistencia 3 Días | MPa | 19,19 |
| Resistencia 7 Días | MPa | 24,90 |
| Resistencia 28 Días | MPa | 30,63 |

Fuente: Datos proporcionados por el fabricante

Tabla 3 – Análisis químico del cemento empleado

| Parámetro | Unidad | Cemento IP-30 |
|---|---|---|
| Perdida Por Ignición | % | 2,33 |
| $SiO_2$ | % | 32,83 |
| $Al_2O_3$ | % | 4,53 |
| $Fe_2O_3$ | % | 2,32 |
| CaO | % | 50,77 |
| MgO | % | 4,55 |

Fuente: Datos proporcionados por el fabricante

Para la mixtura del suelo, cemento y agua fue utilizada una mezcladora mecánica a fin de garantizar una mezcla homogénea. Posteriormente los ladrillos fueron compactados en una maquina compresora de 2 MPa y con matriz tipo Lego (Figura 1). Una vez elaborados los ladrillos pasaron por un proceso de curado y secado de 28 días. Con el objetivo de evitar contacto con el sol y lluvia los ladrillos permanecieron en laboratorio durante este tiempo. El curado fue realizado durante los primeros cinco días, para lo cual se dispuso un plástico en la parte inferior para prevenir el contacto con el suelo y la perdida rápida de humedad siguiendo las recomendaciones de Gatani (2000).

ISBN 978-65-86819-05-2

La resistencia a la compresión fue determinada para las edades de 7, 14 y 28 días, utilizando la media de cinco ladrillos para cada edad, totalizando 75 ladrillos para los cinco porcentajes de cemento propuesto. La norma base utilizada para este propósito fue la NBR 8492 (ABNT, 2012).

## 3. RESULTADOS

Los resultados de la resistencia a compresión de los ladrillos de suelo-cemento se presentan en la Tabla 4 y la Figura 5.

Tabla 4 –Resistencia a la compresión de los ladrillos suelo-cemento

| Contenido de cemento (%) | Días | Resistencia media (MPa) | Variación con relación a los 7 días (%) |
|---|---|---|---|
| 2 | 7 | 2,17 | - |
| | 14 | 2,42 | 11,52 |
| | 28 | 2,91 | 34,01 |
| 4 | 7 | 3,10 | - |
| | 14 | 3,45 | 11,29 |
| | 28 | 4,02 | 29,68 |
| 6 | 7 | 3,24 | - |
| | 14 | 3,71 | 14,51 |
| | 28 | 5,18 | 59,87 |
| 8 | 7 | 4,12 | - |
| | 14 | 5,08 | 23,30 |
| | 28 | 6,70 | 62,62 |
| 10 | 7 | 4,40 | - |
| | 14 | 5,36 | 21,81 |
| | 28 | 7,31 | 66,14 |

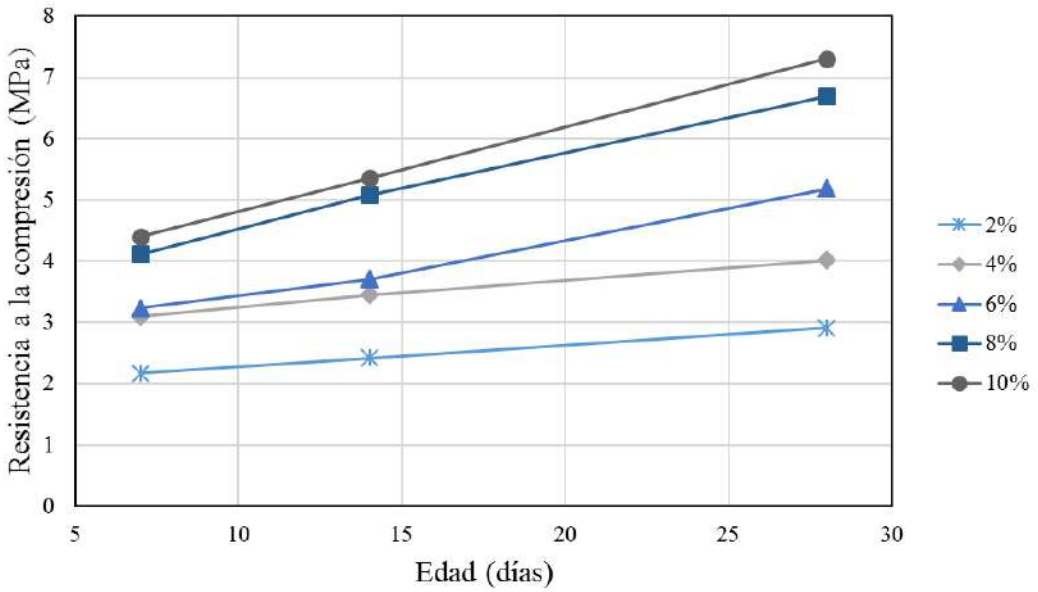


Figura 5: Resistencia a la compresión vs Edad

A partir de la Tabla 4 se puede observar que la resistencia a la compresión de los ladrillos suelo-cemento varía según el día de elaboración y la adición de cemento; cuanto mayor sea el tiempo de endurecido y porcentaje de cemento, mayores resistencias a la compresión se desarrollan, según también se relata por otros autores (TARQUI; CARVALHO; BRANDÃO, 2012; CARVALHO *et al.*, 2016). El ladrillo con 2% de cemento presenta el menor valor de resistencia a la compresión a los 28 días, 2,91 MPa con una variación de 34,01% respecto al valor obtenido a los 7 días. Los ladrillos

ISBN 978-65-86819-05-2

de 4% de cemento presentan una mejora en la resistencia a la compresión a los 28 días, 4,02 MPa, pero su variación respecto a los 7 días es solo de 29,68%.

En los ladrillos de 6%, 8% y 10% de cemento se alcanzan los máximos valores a la compresión a los 28 días, 5,18 MPa, 6,70 MPa y 7,31 MPa, respectivamente. No obstante, el incremento respecto a la rotura a los 7 días es mayor, aproximadamente 60%. Esto indica que, a mayor porcentaje de cemento, mayor incremento en la resistencia a la compresión de 28 días con respecto a los 7 días. Esto se confirma en la Figura 5, donde se puede apreciar que, la pendiente de crecimiento de la resistencia a la compresión es más notoria en los ladrillos con 6%, 8% y 10% de cemento.

Los incrementos porcentuales de la resistencia a la compresión con relación a la de los 7 días se puede observar en la Figura 6, donde se constata que, el aumento de la resistencia a la compresión de los ladrillos de suelo-cemento es proporcional, ya que los coeficientes de correlación están próximos a uno, indicando una relación lineal en todos los casos.

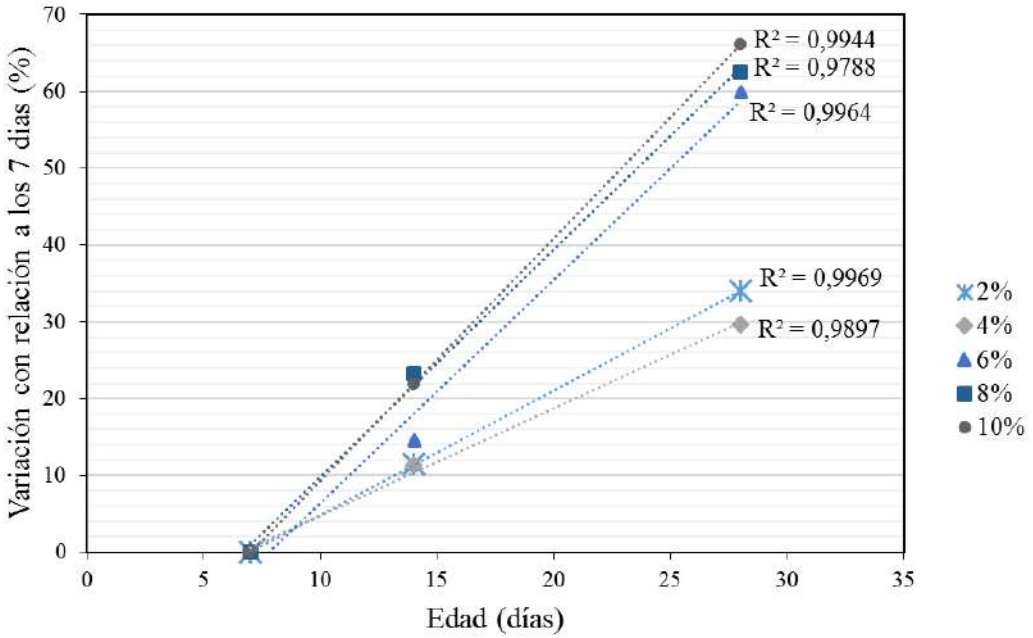


Figura 6: Incremento porcentual de la resistencia a la compresión

Los valores de la resistencia a compresión de los ladrillos de suelo-cemento encontrados se encuadran dentro de las recomendaciones de la Comisión de Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados (CODASE, 1991) que indica que la resistencia a la compresión de los ladrillos debe ser de 2 MPa a los 7 días, recomendación que se cumple con todos los porcentajes de cemento (Tabla 4). No obstante, cuando se realiza la comparación con los ladrillos de arcilla cocida, no todos los porcentajes propuestos cumplen. Bonett Díaz (2003) indica que el valor de la resistencia a la compresión de ladrillos de arcilla debe estar en el rango de 50 kg/cm$^2$ (4,90 MPa) y 200 kg/cm$^2$ (19,61 MPa) para ser considerados en la construcción de paramentos verticales. Los ladrillos de 2% y 4% de cemento no cumplen esta recomendación ni a los 28 días, al contrario de los ladrillos de 6%, 8% y 10% de cemento que, a los 28 días, desarrollan estos valores e, incluso los ladrillos de 8% y 10% de cemento, ya pueden ser considerados desde los 7 días.

Con respecto a las normativas bolivianas, se tiene la NB 1211003 (IBNORCA, 2013) de ladrillos cerámicos (arcilla), la cual indica características mínimas sobre la resistencia a la compresión, clasificando los ladrillos cerámicos por clases: D, hasta 1,5 MPa; C, hasta 4 MPa; B, hasta 12 MPa, y A, hasta 20 MPa.

Según esta clasificación los ladrillos de 2% de cemento se considerarían clase D, para construcciones de servicio moderadas (IBNORCA, 2013). Los ladrillos de 4% y 6% de cemento a los 28 días pasan a una clase C, al igual que los ladrillos de 8% y 10% de cemento, con la diferencia de que estos últimos entrarían a esta clase a partir de los 7 días. Según la NB 1211003 (IBNORCA, 2013) los ladrillos de clase C son aptos para construcciones de uso general (viviendas de uso doméstico).

ISBN 978-65-86819-05-2

Con respecto al suelo utilizado, se observa que se tienen resultados positivos a pesar de tener un 40% de limos y arcillas (Figura 3), siendo que las recomendaciones señalan valores en torno del 30% (GATANI, 2000; AROOZ; HALWATURA, 2018). No obstante, el suelo del sector estudiando (Champa Rancho - Cochabamba) puede ser utilizado en la fabricación de ladrillos de suelo-cemento, incluso se podrían obtener mejores resultados reemplazando parte de los limos y arcillas por arena, en un porcentaje cercano al 10%.

## 4. CONCLUSIONES

Fue desarrollada una investigación experimental para el estudio de la resistencia a la compresión de ladrillos de suelo-cemento, para lo cual fueron elaborados 75 ladrillos con cinco diferentes porcentajes de cemento.

Los ladrillos de suelo-cemento presentan una resistencia a la compresión acorde a los rangos recomendados, inclusive dentro de las especificaciones de ladrillos de arcilla cocida. No obstante, se debe considerar el periodo de cura y endurecimiento. Los ladrillos de 2% de cemento corresponden para construcciones de servicio moderadas, no recomendables para edificaciones de uso doméstico según normativa boliviana, al contrario de los ladrillos de 4% y 6% de cemento, los cuales pueden ser utilizados a los 28 días desde su elaboración, mientras que los ladrillos con mayor porcentaje de cemento, 8% y 10%, su uso ya es posible desde los 7 días. Lo cual indica que, dependiendo de las características de las construcciones, los ladrillos con diferentes porcentajes de cemento pueden ser utilizados.

En el presente estudio se presentó una alternativa ecológica frente a los ladrillos de arcilla cocida, buscando reducir la contaminación producida por las ladrilleras artesanales y que los productores cambien su forma de producción.

## 5. AGRADECIMENTOS

A la Universidad Privada del Valle por el apoyo.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS - AASHTO. **M 145-91**: Standard Specification for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. Washington: American Association of State and Highway Transportation Officials, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **D2487-17**: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). West Conshohocken: ASTM International, 2017b.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **D422-63**: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. West Conshohocken: ASTM International, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **D4318-17e1**: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. West Conshohocken: ASTM International, 2017a.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **D698**: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft3 (600 kN-m/m3)). West Conshohocken: ASTM International, 2012.

AROOZ, F.; HALWATURA, R. **Mud-concrete block (MCB): mix design & durability characteristics**. Case Studies in Construction Materials, v. 8, p. 39 – 50, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8492**: Tijolo de solo cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012.

ISBN 978-65-86819-05-2

BARBOSA, M.; PIRONCELLI, A.; SILVA, C.; JUNIOR, A.; CEREDA, M.; MAGALHÃES FILHO, F. **Rice husk and water treatment plant sludge incorporated into soil–cement brick**. Asian Journal of Civil Engineering, v. 20, p. 563 – 570, 2019.

BONETT DIAZ, R. **Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios, aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada**. 2003. 455 p. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, España. 2003.

CARVALHO, M.; RAMOS, F.; ZEGARRA, J.; PEREIRA, C. **Evaluación a lo largo del tiempo de las propiedades mecánicas de los bloques de suelo-cemento utilizados en pavimentos semipermeables**. Revista ingeniería de construcción, v. 31, p. 61 – 70, 2016.

CHUQUIMIA, L. **76 ladrilleras causan el 12% de la contaminación de Cochabamba**. 2017. Disponible en: <https://www.paginasiete.bo/sociedad/2017/7/16/ladrilleras-causan-contaminacion-cochabamba-144835.html>. Acceso en: 19 de febrero de 2019.

COMISIÓN DE DESARROLLO Y APLICACIÓN DE SUELOS ESTABILIZADO - CODASE. **IT-07-91**: Ladrillos macizos de suelo cemento. La Habana: Comisión de Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizado, 1991.
GATANI, M. **Ladrillos de suelo-cemento: mampuesto tradicional en base a un material sostenible**. Informes de la Construcción, v. 51, p. 35 – 47, 2000.

INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD - IBNORCA. **NB 1211003**: Ladrillos cerámicos - Ladrillos macizos - Requisitos (Tercera revisión). La Paz: IBNORCA, 2013.

JALDÍN, R. **Cochabamba: La contaminación se agrava y golpea la salud**. 2019. Disponible en: <https://www.lostiempos.com/especial-multimedia/20190603/cochabamba-contaminacion-se-agrava-golpea-salud>. Acceso en: 19 de febrero de 2019.

LEONEL, R.; FOLGUERAS, M.; DALLA VALENTINA, L.; PRIM, S.; PRATES, G.; CARASCHI, J. **Characterization of soil–cement bricks with incorporation of used foundry sand**. Cerâmica, v. 63, p. 329 – 335, 2017.
MOSTAFA, M.; UDDIN, N. **Experimental analysis of Compressed Earth Block (CEB) with banana fibers resisting flexural and compression forces**. Case Studies in Construction Materials, v. 5, p. 53 – 63, 2016.

NAGARAJ, H.; RAJESH, A.; SRAVAN, M. **Influence of soil gradation, proportion and combination of admixtures on the properties and durability of CSEBs**. Construction and Building Materials, v. 110, p. 135 – 144, 2016.

NAGARAJ, H.; SRAVAN, M.; ARUN, T.; JAGADISH, K. **Role of lime with cement in long-term strength of Compressed Stabilized Earth Blocks**. International Journal of Sustainable Built Environment, v. 3, p. 54 – 61, 2014.

OTI, J.; KINUTHIA, J. **Stabilised unfired clay bricks for environmental and sustainable use**. Applied Clay Science, v. 58, p. 52 – 59, 2012

OTI, J.; KINUTHIA, J.; BAI, J. **Engineering properties of unfired clay masonry bricks**. Engineering Geology, v. 107, p. 130 – 139, 2009.

TARQUI, J.; CARVALHO, M.; BRANDÃO, C. **Avaliação da resistência a compressão de misturas de solo-cimento para aplicação em pavimentos de trafego leve**. "XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica" – COBRAMSEG. Porto de Galinhas, 2012.

TERÁN, M. **Contaminación Atmosférica**. Gobierno Autónomo Municipal de Cochabamba, Secretaria de Desarrollo Sustentable. Cochabamba: RED MoniCA, 2018.

WALKER, P. **Strength and erosion characteristics of earth blocks and earth block masonry**. Journal of Materials in Civil Engineering, v. 16, p. 497 – 506, 2004.

ISBN 978-65-86819-05-2

WU, Z.; YU, A.; SHEN, L. **Investigating the determinants of contractor's construction and demolition waste management behavior in Mainland China**. Waste Management, v. 60, p. 290 – 300, 2017.