

*Artículo Científico***Bloques prensados de suelo-cemento como alternativa ecológica frente a los ladrillos tradicionales de arcilla cocida****Pressed soil-cement blocks as an ecological alternative against the traditional cooked clay bricks**

Joaquín Humberto Aquino Rocha¹. Nataly Andrea Zapata Ampuero². Marialaura Herrera Rosas³.
Willam Murillo Borda⁴. Giovanni Galindo Añez⁵.

1. M.Sc. Docente TC del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Privada del Valle, Cochabamba (Bolivia) jaquinor@univalle.edu
2. Nataly Andrea Zapata Ampuero Univ. Estudiante del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Privada del Valle, Cochabamba (Bolivia) zapatanataly347@gmail.com
3. Marialaura Herrera Rosas Univ. Estudiante del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Privada del Valle, Cochabamba (Bolivia) maria/aura.herrerarosas@gmail.com
4. Willam Murillo Borda Univ. Estudiante del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Privada del Valle, Cochabamba (Bolivia) wilito2610@gmail.com
5. Giovanni Galindo Añez Univ. Estudiante del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Privada del Valle, Cochabamba (Bolivia) giovngolindo@gmail.com

RESUMEN

La producción de ladrillos de arcilla cocida de forma artesanal todavía es realizada y ampliamente extendida, especialmente en países en vías de desarrollo; sin embargo, esta práctica consume varios recursos naturales y genera emisiones de dióxido de carbono (CO_2), afectando negativamente al medio ambiente y la comunidad. En este sentido, el objetivo del presente estudio es evaluar las características de los bloques de suelo-cemento como una alternativa ecológica, comparándolos con los ladrillos tradicionales de arcilla cocida. Para tal motivo, se fabricaron un total de 105 bloques de suelo-cemento con diferentes contenidos de cemento (2%, 4%, 6%, 8% y 10%), los cuales fueron sometidos a diferentes ensayos: resistencia a la compresión, absorción y durabilidad. Los resultados muestran que los bloques con 8% y 10% de cemento presentan las mejores características e incluso pueden ser utilizados para construcciones a partir de los 7 días desde su fabricación; no obstante, los bloques de 4% y 6% de cemento también pueden ser utilizados, pero a partir de los 28 días, tiempo donde desarrollan las características recomendadas.

Palabras clave: Suelo-cemento. Resistencia a la compresión. Durabilidad.

ABSTRACT

The production of clay bricks in an artisanal way is still carried out and widely spread, especially in developing countries; however, this practice consumes several natural resources and generates carbon dioxide (CO_2) emissions, affecting the environment and the community negatively. In this sense, the aim of the present study is to evaluate the characteristics of the soil-cement blocks, as an ecological alternative, comparing them with the traditional clay bricks. For this reason, a total of 105 soil-cement

blocks with different cement contents were made (2%, 4%, 6%, 8% and 10%), which were subjected to different tests: compression resistance, absorption and durability. The results show that blocks with 8% and 10% cement content have the best characteristics and can even be used for buildings from 7 days after their preparation; however, blocks with 4% and 6% cement content can also be used, but after 28 days, time where they develop the recommended characteristics.

Keywords: Soil-cement. Resistance to compression. Durability.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una creciente demanda por materiales en la industria de la construcción civil; sin embargo, esto resulta en una excesiva explotación de recursos naturales y generación de residuos (Magalhães et al., 2017 y Wu et al., 2017). Investigaciones recientes han demostrado que la industria de la construcción consume el 40% de la energía global y contribuye con un tercio de las emisiones de efecto invernadero (Arooz & Halwatura, 2018).

La ciudad de Cochabamba - Bolivia está situada entre las ciudades más contaminadas de Latinoamérica (WHO, 2016). Parte de esta contaminación se debe a la industria de la construcción y más específicamente a la fabricación artesanal de ladrillos, muy común en la ciudad, principalmente en la zona sur, Champa Rancho.

La producción artesanal de ladrillos es realizada a través de un proceso de cocción y/o quemado, la cual consume diversos recursos naturales como leña o gas, generando impactos negativos a la comunidad y al medio ambiente (Franca et al., 2018). En estas zonas, Champa Rancho, los niveles de monóxido de carbono están entre las 600 partículas por millón (ppm) y 10.000 ppm (Los Tiempos, 2018), cuando el límite permisible está en los 100 ppm según la Ley del medio ambiente 1333 (Bolivia, 1992). Adicionalmente, se reportan frecuentemente casos de alergia, afecciones respiratorias y conjuntivitis en niños y jóvenes que viven en zonas cercanas a las ladrilleras (Página 7, 2017).

Esta situación, tanto a nivel nacional como internacional, ha creado la necesidad de proveer materiales sustentables que necesiten bajo consumo de energía y produzcan poco impacto ambiental (Koltun, 2010 y Naik, 2008). En relación con los ladrillos, es necesario cambiar la forma de producción tradicional y artesanal a una más ecológica, que no genere impactos negativos y resulte en una mejor calidad de vida para la comunidad.

En la literatura, se encuentran varias alternativas para este propósito (Antico et al., 2017; Taaffe et al., 2014; Kuhn, 2015 y Gaggino & Arguello, 2010); sin embargo, entre todas las opciones, los bloques de suelo-cemento presentan mayores ventajas para su aplicación: su producción puede ser en el local de la construcción, reduciendo el gasto energético del transporte; se utiliza material local y abundante; se reduce el consumo de energía para la producción, ya que no pasa de por un proceso de cocción; existe bajo nivel de residuos de construcción y demolición; presenta elevado porcentaje de reciclaje; hay facilidad en la transferencia de tecnología y programas de capacitación, y su utilización para la construcción de viviendas de bajo costo es ampliamente recomendada (Arooz & Halwatura, 2018; Sruthi, 2013; Venkatarama Reddy & Gupta, 2008; Walker, 2004; Valle, 2001 y Walker, 1995). Otros autores también señalan que, con la producción de bloques de suelo-cemento, se reduce hasta un 80% las emisiones de CO₂ producidas por la industria tradicional de ladrillos (Oti et al., 2009 y Heath et al., 2009).

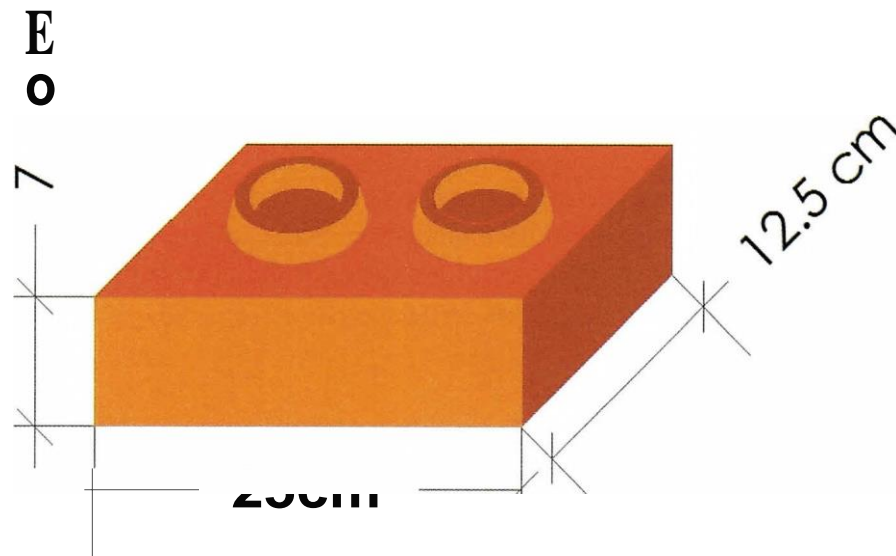
La constitución de este tipo de bloques es simple: comprende suelo, material inorgánico como arena, y como estabilizante se utiliza el cemento. Los suelos más favorables para la estabilización con cemento son los arenosos, recomendándose que el contenido de finos (limo y arcilla) no debe estar por encima del 20 a 30% (Arooz & Halwatura, 2018 y Gatani, 2000).

A pesar de las ventajas de este tipo de bloques y las investigaciones que se vienen realizando en el área, su uso no es ampliamente extendido y no existe una regla general para la dosificación una vez que cada lugar tiene un suelo de diferentes características. En este sentido, el objetivo del presente estudio es desarrollar una composición específica de bloques de suelo-cemento en la ciudad de Cochabamba-Bolivia, que cumplan con las características mínimas de resistencia a la compresión, absorción y durabilidad, proporcionando, de esta forma, una alternativa sustentable frente a los ladrillos tradicionales de arcilla cocida.

METODOLOGÍA

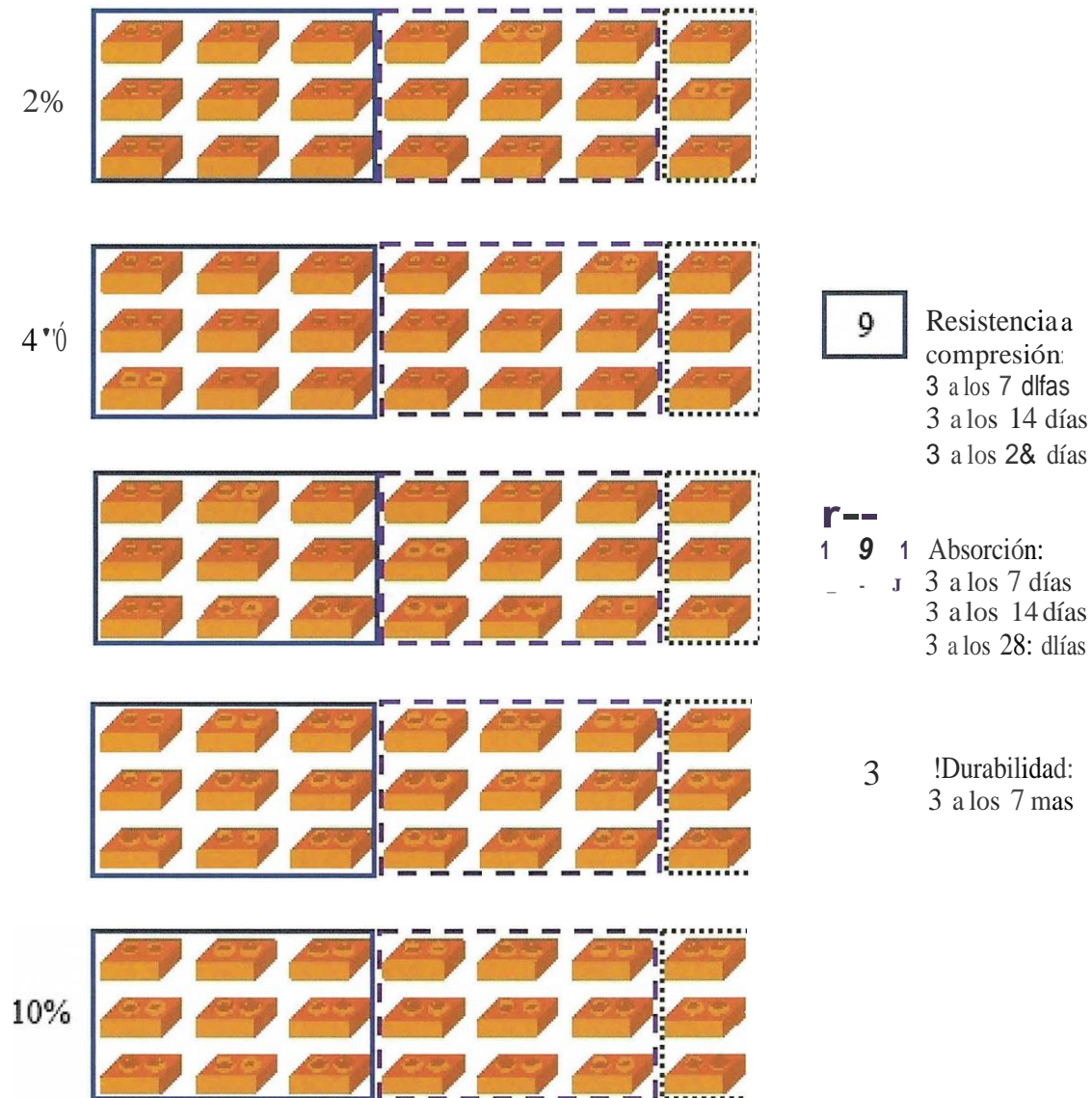
Para cumplir con el objetivo del presente estudio se fabricaron 105 bloques de suelo-cemento con diferentes porcentajes de cemento {2%, 4%, 6%, 8% y 10%) y suelo proveniente de la ciudad de Cochabamba-Bolivia, en los que se realizaron diferentes ensayos: resistencia a la compresión, absorción de agua y durabilidad. La Figura N°1 muestra las dimensiones del bloque elaborado y la Figura N°2 presenta el detalle de la cantidad de bloques por porcentaje de cemento y ensayo realizado.

Figura N°. Dimensiones del bloque



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Figura N°2. Detalle de bloques por ensayo



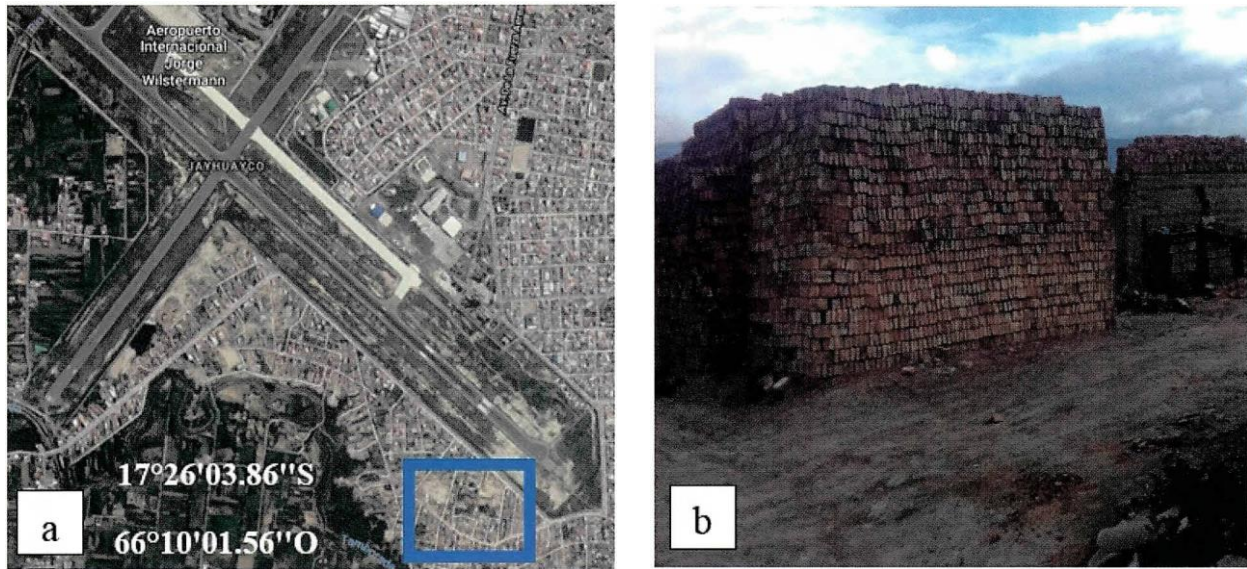
Fuente: Elaboración propia, 2018.

A continuación, se describen los materiales utilizados, así como los ensayos realizados en los bloques de suelo-cemento.

Materiales utilizados

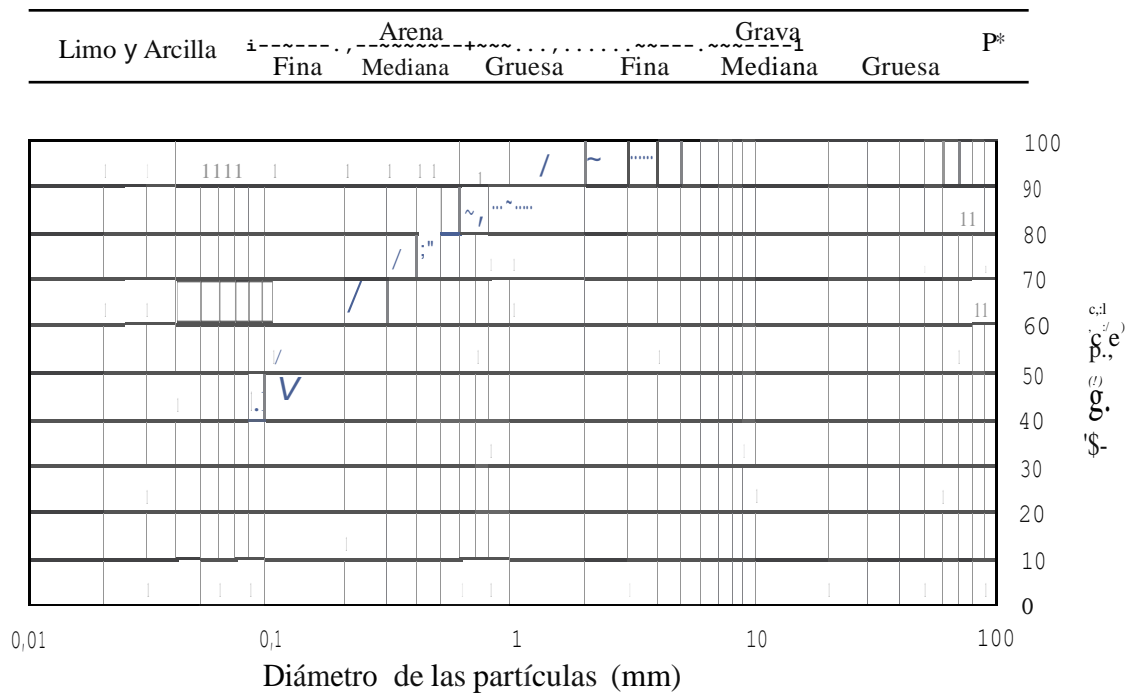
El suelo utilizado fue extraído de la zona sur de la ciudad de Cochabamba, Champa Rancho (Figura N°3), en el cual fueron realizados diferentes ensayos de caracterización incluyendo el análisis granulométrico, para dicho propósito fue utilizada la norma 0422-63 (ASTM, 2007). El Límite Líquido (LL) obtenido fue de 24 y el Índice de Plasticidad (IP) de 10, siguiendo la norma D4318-17el (ASTM, 2017a). La Figura N°4 muestra la curva granulométrica del suelo estudiado.

Figura Nº3. Lugar de extracción: a) Localización y b) Fotografía actual



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Figura Nº4. Curva granulométrica del suelo utilizado



*P - Piedra

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la Figura N°4 se puede observar que el porcentaje de arena del suelo estudiado está en torno del 60% y los limos y arcillas en aproximadamente 40%. El suelo estudiado corresponde a una clasificación A-4 según la M 145-91 (AASHTO2017) y SE, arena arcillosa, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS, norma 02487-17 (ASTM,2017b).

Para la determinación de la humedad óptima del suelo estabilizado con cemento, se realizó el ensayo de compactación estándar Proctor para los diferentes porcentajes de cemento propuestos siguiendo las recomendaciones proporcionadas por la norma 0698-78 (ASTM, 2012). El Cuadro N°1 presenta el resumen de los resultados obtenidos:

Cuadro N° I. Resultados del ensayo Proctor de las muestras de suelo

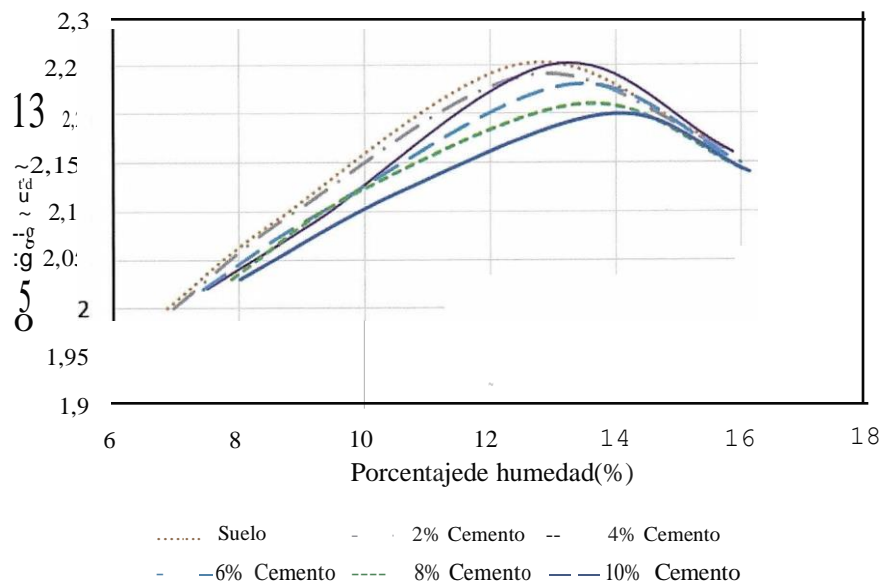
Contenido de cemento	0% (Suelo)	2%	4%	6%	8%	10%
Densidad seca li/cm ³)	2.25	2.24	2.25	2.23	2.21	2.20
Humedad óptima (%)	12.51	12.80	13.01	13.41	13.66	13.95

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En el Cuadro N°1 se puede apreciar que los suelos con adición de cemento requieren mayor contenido de agua que el suelo sin estabilizante (0%), esto se debe principalmente al reemplazo del suelo por cemento que tiene mayor área específica.

A manera de ejemplificar los resultados del ensayo de compactación estándar Proctor en las mezclas, la Figura N°5 presenta los resultados para el suelo con los respectivos porcentajes de cemento. Como se ha observado, a medida que aumenta la adición de cemento, las curvas de compactación se desplazan hacia la derecha y abajo, indicando mayores humedades óptimas y menores densidades secas máximas, resultantes de la incorporación de los finos del cemento.

Figura N° 5. Ensayo Proctor para el suelo con los diferentes porcentajes de cemento



Fuente: Elaboración propia, 2018.

El cemento utilizado fue COBOCE IP-30, el correspondiente análisis químico y físico se presenta en los Cuadros 2 y 3, respectivamente.

Cuadro N°2. Análisis químico del cemento utilizado

Parámetro	Unidad	Cemento IP-30
PPI	%	2.33
SiO ₂	%	32.83
Al ₂ O ₃	%	4.53
Fe ₂ O ₃	%	2.32
CaO	%	50.77
MgO	%	4.55
SO ₃	%	2.10

Fuente: Datos proporcionados por el fabricante, 2018.

Cuadro N°3. Análisis físico del cemento utilizado

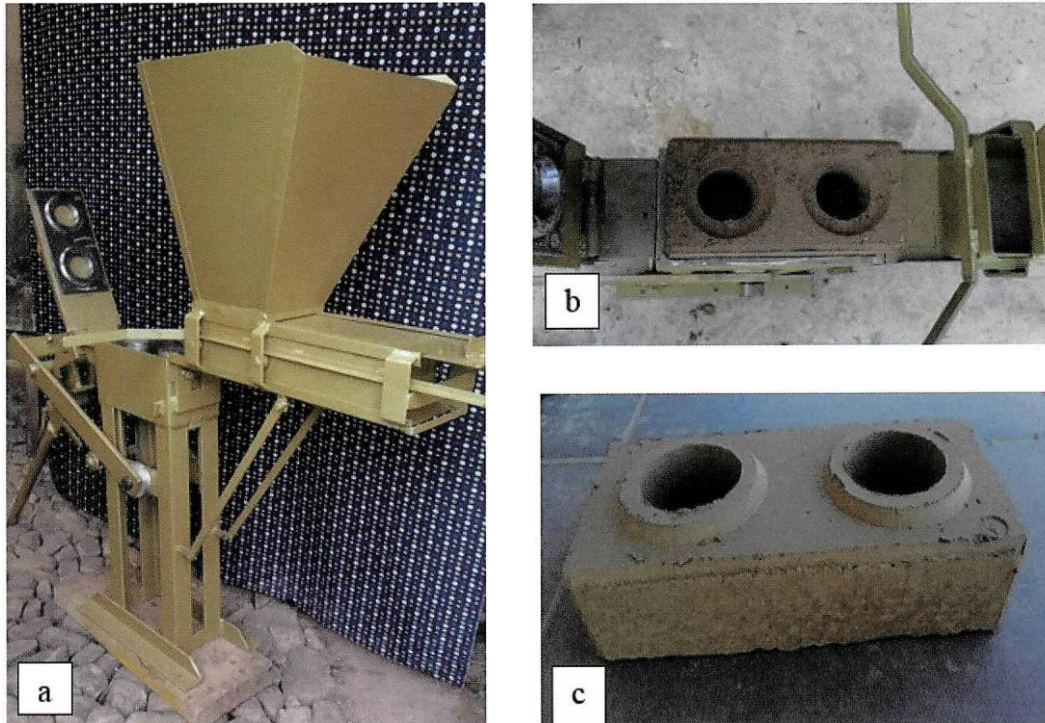
Parámetro	Unidad	Cemento IP-30
Blaine	cm ² /gr	4.48
Residuo T325	%	5.34
Densidad real	g/cm ³	2.98
Densidad aparente	g/cm ³	1.05
Inicio fraguado	h	2.32
Final fraguado	h	4.65
Exp. Le Chatelier	Mm	1.22
Resistencia 3 Días	MPa	19.19
Resistencia 7 Días	MPa	24.90
Resistencia 28 Días	MPa	30.63

Fuente: Datos proporcionados por el fabricante. 2018.

La mezcla del cemento, suelo y agua fue realizada a través de una mezcladora mecánica con el objetivo de obtener una mezcla homogénea. Para la compactación de los bloques fue utilizada una máquina compresora con matriz de dos huecos, tipo Lego, que tiene una capacidad de compresión de 2 MPa (Figura N°6).

Una vez elaborados los bloques necesarios para los ensayos, los mismos pasaron por un proceso de curado y secado de 28 días en un ambiente que no permitía el contacto directo con el sol y la lluvia. Los bloques fueron regados durante los primeros 5 días y, para evitar la pérdida rápida de humedad, fue colocado un plástico evitando el contacto directo con el suelo según recomendaciones de Choque Ruelas y Huaman Meza (2009) y Gatani (2000).

Figura N°6. a) Máquina compresora b) Proceso de compactación e) Bloque obtenido



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Ensayos realizados

El ensayo de resistencia a la compresión fue realizado para las edades de 7, 14 y 28 días con el propósito de observar el aumento de la resistencia a la compresión en relación con la edad del bloque y el contenido de cemento, utilizando la media de tres bloques para cada caso (Figura N°2). Para este ensayo se consideró como base la norma NBR 8492 (ABNT, 2012).

Para el ensayo de absorción de agua se utilizó igualmente la norma NBR 8492 (ABNT, 2012). El ensayo consiste en el secado de los bloques en un horno entre a 105°(y 110°C, hasta alcanzar una consistencia de masa uniforme, obteniendo de esta forma la masa del bloque seco en gramos (M1). Posteriormente, se obtiene la masa del bloque saturado en gramos (M2), sumergiéndolo en agua durante 24 horas y secado superficialmente con un paño húmedo antes de los tres minutos de su retiro del agua.

La Ecuación N°1 define el cálculo de la absorción en porcentaje (A). El ensayo fue realizado para cada porcentaje de cemento propuesto (2%, 4%, 6%, 8% y 10%) a los 7, 14 y 28 días; de igual forma se utilizó el promedio de tres bloques para la identificación de la absorción media, ensayando un total de 45 bloques, según se indica en la Figura N°2.

Ecuación N°1

$$A(o/o) - \frac{M2 - M1}{M1} \times 100$$

Fuente: ABNT, 2012.

En el ensayo de durabilidad se utilizó la norma NBR 13554 (ABNT, 2012), que consiste en la determinación de la pérdida de masa por diferentes ciclos de humedecimiento y secado. Se realizó una adaptación de la norma en el cepillado considerando que los bloques ensayados tenían forma paralelepípeda de acuerdo con las especificaciones proporcionadas por Carvalho et al. (2016).

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Antes de la realización de los ensayos previstos, se registraron las dimensiones de los 105 bloques fabricados para verificar el cumplimiento con las tolerancias indicadas en la norma boliviana NB 1211003 (Bolivia, 2009), si bien esta norma especifica características para ladrillos cerámicos (arcilla cocida), la presente investigación pretende realizar una comparación entre bloques de suelo-cemento y ladrillos de arcilla cocida en sus principales características.

El Cuadro N°4 presenta las dimensiones y el desvío padrón de los bloques fabricados. Adicionalmente se presenta la tolerancia en (cm) y(%) según la norma NB 1211003 (Bolivia, 2009).

Cuadro N°4. Dimensiones de los bloques elaborados

Características geométricas		Desvío padrón	Tolerancia NB 1211003	Cumple
Dimensiones nominales	Largo	0.00 cm	0.75 cm(3%)	Sí
	Alto	0.28 cm	0.30 cm (4%)	Sí
	Ancho	0.00 cm	0.38 cm (3%)	Sí

Fuente: NB 1211003 (BOLIVIA, 2009).

Todos los bloques cumplieron con este requerimiento. En el caso del largo y ancho el desvío padrón presentó un valor de 0 cm, esto se debe al molde, donde estas dimensiones están definidas; sin embargo, se tiene un desvío padrón cercano al permitido en el alto de los bloques, el cual es variable, ya que depende de la cantidad de material colocado en el fabricado y de la presión de compactado.

Resistencia a la compresión

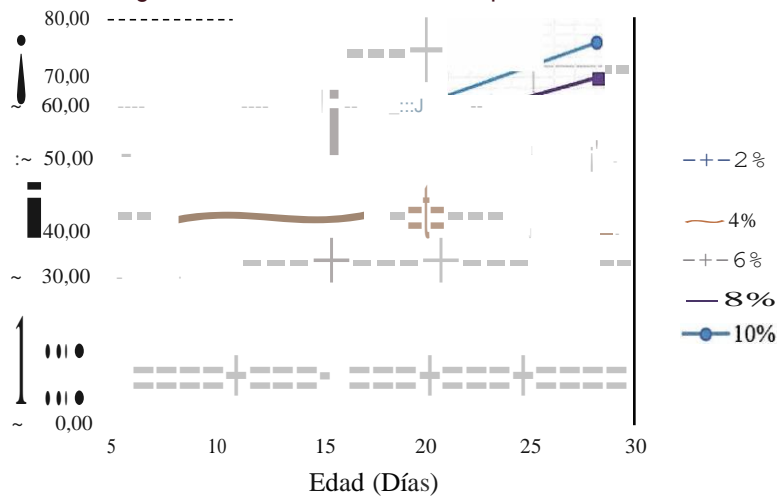
El Cuadro N°5 y la Figura N°7 presentan los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de los bloques de suelo-cemento para los cinco porcentajes propuestos a los 7, 14 y 28 días.

Cuadro N°5. Resistencia a la compresión de los bloques

Contenido de cemento (%)	Días	Resistencia media (kg/cm ²)	Variación con relación a los 7 días(%)	Variación con relación a los bloques de 2% de cemento(%)
2	7	22.12	-	-
	14	24.71	11.71	-
	28	29.68	30.59	-
4	7	31.72	-	43.40
	14	35.27	11.19	42.74
	28	41.05	26.45	38.31
6	7	33.01	-	49.23
	14	37.84	14.63	53.14
	28	52.87	52.48	78.13
8	7	42.05	-	90.10
	14	51.79	23.16	109.59
	28	68.02	50.14	129.18
10	7	44.87	-	102.85
	14	54.61	21.71	121.00
	28	74.52	54.29	151.08

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Figura N°7. Resistencia a la compresión vs Edad



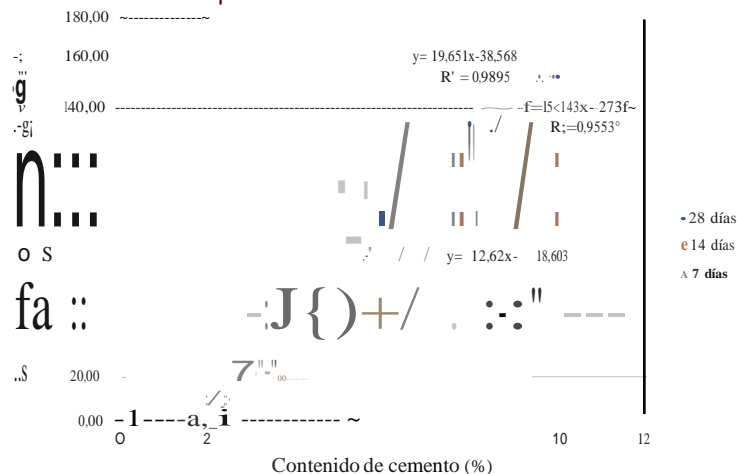
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Los resultados presentados en el Cuadro N°5 permiten observar que la resistencia a la compresión de los bloques incrementa de acuerdo con el día del ensayo y al porcentaje de cemento añadido. Los bloques con 2% y 4% de cemento presentan los menores valores en comparación con los otros porcentajes, el máximo valor se produce a los 28 días con 29,63 kg/cm² y 41,05 kg/cm², respectivamente, en ambos casos la variación de resistencia está en torno de 30% en relación con la resistencia a los 7 días. De igual forma los bloques con 6%, 8% y 10% de cemento presentan la máxima resistencia a la compresión a los 28 días, pero el incremento en comparación con la resistencia a los 7 días está en torno de 50%. Esto indica que los bloques de suelo-cemento desarrollan entre el 50 al 70% de su resistencia a la compresión durante los primeros 7 días, mayores porcentajes de cemento tienen mayor incremento de resistencia a la compresión hasta los 28 días.

En la Figura N°7 se puede observar que cuanto mayor es la cantidad de cemento en los bloques mayor es la resistencia a la compresión. Para los porcentajes de 2% y 4% la pendiente de crecimiento no es muy notoria, pero para los otros porcentajes la pendiente es más pronunciada.

Para analizar de forma detallada la influencia del porcentaje del cemento en la resistencia a la compresión, la Figura N°8 presenta el crecimiento porcentual de la resistencia a compresión en los bloques por día (7, 14 y 28) comparados con los bloques de menor porcentaje de cemento (2%).

Figura N°8. Incremento porcentual de la resistencia vs contenido de cemento



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Por medio de la Figura N°8 se puede percibir que, en todos los casos, las rectas que mejor se ajustan a los puntos muestra un coeficiente de correlación mayor al 0,95, indicando una relación lineal y directa, lo que implica una determinación casi absoluta entre el porcentaje de cemento y el porcentaje de incremento de la resistencia a la compresión.

Dentro del análisis de los resultados, también es importante verificar si los valores de la resistencia a la compresión de los bloques cumplen los requerimientos necesarios. Si bien no existe una norma nacional respecto a estos valores, la recomendación de la Comisión de Desarrollo y Aplicación de Suelos Estabilizados (CODASE, 1991) indica que los bloques tienen que tener una resistencia a la compresión de 2MPa (20 kg/cm2) a los 7 días, lo cual es verificado en todos resultados obtenidos (Cuadro N°5).

Sin embargo, es necesaria la comparación con los ladrillos tradicionales de arcilla cocida, puesto que se requiere presentar los bloques de suelo-cemento como una alternativa frente a estos. Bonett Díaz (2003) señala que resistencia a la compresión de los ladrillos de arcilla debe estar entre 50 y 200 kg/cm2 para su uso como mampostería. En este caso, los bloques de suelo-cemento de 2% y 4% no cumplen esta recomendación; los bloques de 6%, 8% y 10% cumplen esta especificación a los 28 días y solo los de 8% y 10% a los 14 días.

Dentro de las normativas nacionales, la norma NB 1211003 (Bolivia, 2009) indica características mínimas sobre la resistencia a la compresión de los ladrillos cerámicos (arcilla) de acuerdo con una clasificación alfabética, la cual se presenta en los Cuadros N°6 y N°7.

Cuadro N°6. Clasificación la clase de ladrillo de acuerdo con su resistencia a la compresión

Clase	Resistencia mínima a la compresión Área bruta en Ml'a (kg/cm2)
A	20 (203.9)
B	12 (122.4)
e	4 (40.8)
D	1.5 (15.3)

Fuente: NB 1211003(BOLIVIA,2009).

Cuadro N°7. Propiedades y usos de acuerdo con la clase de ladrillo

Clase	Propiedades y usos
A	Resistencia y durabilidad muy altas. Apto para construcciones que requieren condiciones de servicio muy rigurosas
B	Resistencia y durabilidad altas. Apto para construcciones que requieren condiciones de servicio rizurossas.
e	Resistencia y durabilidad media. Apto para construcciones de uso general.
D	Resistencia y durabilidad bajas. Apto para construcciones en condiciones de servicio moderadas.

Fuente: NB 1211003(BOLIVIA,2009).

Todos los bloques de suelo-cemento están dentro y/o superan una clasificación D. Los bloques de 2% se encuadran en la clase D, siendo aptos para construcciones en condiciones de servicio moderadas según se describe en el Cuadro 7. Los bloques con 4% y 6% de cemento son clasificados como clase Ca los 28 días, mientras que los bloques de 8% y 10% de cemento entran a esta clase a partir de los 7

días. La clase C, como es descrita en el Cuadro N°7, se utiliza para construcciones de uso general, en las cuales se incluyen viviendas de uso doméstico. Por otro lado, los bloques de 8% y 10% ya podrían ser utilizados a partir de los 7 días del momento de su elaboración, mientras que los bloques de 4% y 6% pueden ser considerados para este propósito a partir de los 28 días.

Según varias investigaciones en el área, el contenido óptimo de arcilla y limo no debe superar el 30% (GATANI, 2000; AROOZy HALWATURA, 2018), pero este contenido en el suelo utilizado está en torno del 40% (Figura 4); no obstante, se presentaron resultados positivos, que cumplen con varias recomendaciones. Es importante señalar que el suelo de la zona estudiado {Champa Rancho} es apto para la fabricación de bloques de suelo-cemento, aunque se obtendrían mejores resultados si parte de las arcillas y limos es reemplazada por arena, aproximadamente entre el 10 y 15%.

Absorción de agua

El Cuadro N°8 presenta los resultados del ensayo de absorción de agua para los porcentajes de cemento propuestos a los 7, 14 y 28 días, además del porcentaje de variación con relación al valor obtenido a los 7 días.

Cuadro N°8. Absorción de agua

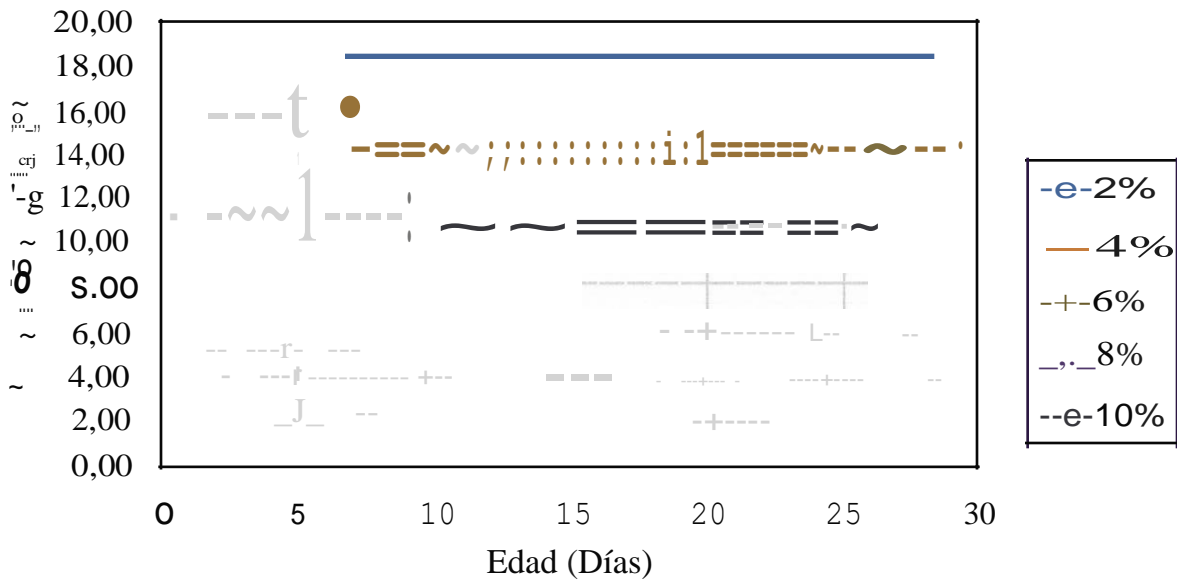
Contenido de cemento (‰)	Días	Absorción media (‰)	Variación con relación a los 7 días(%)
2	7	18.61	
	14	18.71	0.52
	28	17.98	-3.38
4	7	14.67	
	14	14.01	-4.51
	28	14.21	-3.28
6	7	14.87	
	14	14.71	-1.08
	28	14.08	-5.40
8	7	12.14	
	14	10.60	-12.65
	28	10.41	-16.31
10	7	12.41	
	14	9.98	-19.58
	28	9.90	-25.15

Fuente: Elaboración propia, 2018.

De acuerdo con el Cuadro N°8, se observa que cuanto mayor es el porcentaje de cemento, menor es la absorción y, de igual forma, este último valor disminuye de acuerdo con el día del ensayo, siendo los mayores valores a los 7 días y los menores valores a los 28 días.

La Figura N°9 presenta de manera gráfica el comportamiento de la absorción con relación a la edad de los bloques de suelo-cemento.

Figura N°9. Absorción media vs Edad



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Las especificaciones de la norma NBR 8491 (ABNT, 2012) establece que la media de la absorción de agua no debe ser superior a 20% y la absorción individual no debe ser superior a 22%, y como se observa en los resultados, todos los bloques ensayados cumplen con esta especificación, teniendo los mejores resultados los bloques de 8% y 10%, mientras que los de 2% lo que están más cerca al límite permisible

Incluso estos valores de absorción están dentro de los límites cuando se comparan con los ladrillos cerámicos, que según la norma NB 1211003 (Bolivia, 2009), la absorción de agua no debe ser menor a 8% ni mayor a 20%.

Durabilidad

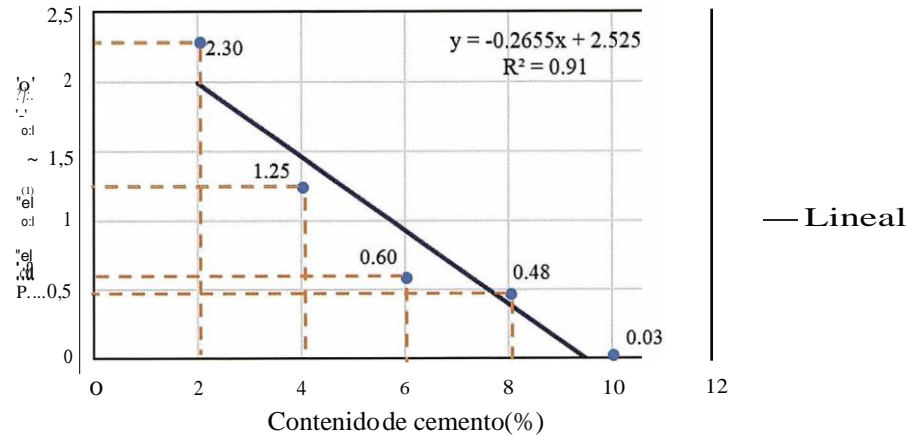
Los resultados referentes a la pérdida de masa (durabilidad) son presentados en el Cuadro N°9 y la Figura N°10.

Cuadro N°9. Pérdida de masa de los bloques

Cemento (‰)	2	4	6	8	10
Pérdida de masa (o/o)	2.30	1.25	0.60	0.48	0.03

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Figura N°10. Pérdida de masa vs contenido de cemento



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se observa que los bloques con 2% y 4% de contenido de cemento presentan una mayor pérdida de masa, especialmente el de menor porcentaje, teniendo una pérdida mayor al 2%. Los bloques con 6% y 8% de cemento presentan mejores resultados, donde el porcentaje de pérdida de masa es menor al 1%. Ya los bloques con 10% de contenido de cemento presentaron una mínima pérdida de masa (cercana al 0%), estos resultados son comparables a los encontrados por Carvalho et al. (2016), donde los autores no reportaron pérdida de masa para bloques de suelo fabricados con 20% de cemento.

Mediante los resultados presentados se puede observar una influencia directa del cemento en la pérdida de masa de los bloques, a mayor contenido de cemento mayor durabilidad se presenta en los bloques, debido a la mejora de sus propiedades mecánicas con la adición de este aglomerante.

En la Figura N°10, adicionalmente, se presenta la recta ajustada de datos analizados, la cual permite mostrar la relación lineal entre estas variables, contenido de cemento y porcentaje de pérdida de masa, con un coeficiente de correlación de 0,91. Es importante resaltar que esta relación solo contempla el rango del contenido de cemento analizado, 2% a 10%.

Los resultados encontrados durante el programa experimental son parecidos a los obtenidos por otros autores Carvalho et al. (2016), Tarqui et al. (2012) y Valle (2001), donde la mayor resistencia a la compresión, menor de absorción de agua y menor pérdida de masa se presentó en mezclas de suelo con alto porcentaje de cemento.

CONCLUSIONES

En el presente estudio fue desarrollada una investigación experimental, donde fueron elaborados 105 bloques de suelo-cemento con diferentes porcentajes de cemento, en los cuales se realizaron diferentes ensayos para estudiar sus principales características en comparación con los ladrillos tradicionales cerámicos (arcilla cocida).

Los bloques de suelo-cemento presentan una resistencia a la compresión parecida a los cerámicos; sin embargo, para su utilización debe ser considerado el periodo de cura y endurecimiento. Los bloques con 4% y 6% de cemento pueden ser utilizados a partir de los 28 días desde su elaboración, entretanto los bloques de 8% y 10% ya pueden ser utilizados a partir de los 7 días, una vez que se desarrollan las resistencias recomendadas.

En cuanto a la absorción de agua, todos los bloques cumplen las especificaciones recomendadas para los ladrillos de arcilla. En el ensayo de durabilidad, se demostró que los bloques de 10% pierden una masa despreciable después del procedimiento; no obstante, los bloques de 6% y 8% también presentan pequeñas pérdidas.

Si bien los bloques con 8% y 10% de cemento cumplen todos los requerimientos de manera óptima, los bloques de 4% y 6% también podrían ser utilizados, tomando en cuenta sus características de resistencia en función del tiempo.

Es importante que los fabricantes artesanales de ladrillos de arcilla, cambien su forma de producción, buscando opciones más sustentables en el tiempo. En este sentido, el presente estudio presenta una alternativa para este propósito, bloques de suelo-cemento, que además de tener las mismas especificaciones que los ladrillos tradicionales no contaminan durante su proceso de elaboración y consumen el material más abundante (suelo).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO-American Association of State Highway and Transportation Officials (2017). M 145-91: Standard Specification for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. American Association of State and Highway Transportation Officials, Washington.
- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). NBR 13554: Solo cimento - Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem - Método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro.
- ABNT (2012). NBR8491: Tijolo de solo-cimento - Requisitos. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro.
- ABNT (2012). NBR 8492: Tijolo de solo cimento -Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro.
- Antico F.C., Wiener M.J., Araya-Letelier G. y Gonzalez Retamal, R. (2017). Eco-bricks: a sustainable substitute for construction materials. *Revista de la Construcción*, 16: 518-526. <https://doi.org/10.7764/RDLC.16.3.518>
- Arooz F.R. y Halwatura R.U. (2018). Mud-concrete block (MCB): mix design & durability characteristics. *Case Studies in Construction Materials* 8:39-50. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.12.004>
- ASTM-American Society for Testing and Materials (2017a). D4318-17e1: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM(2007). D422-63: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM (2012). D698: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)). ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM(2017b). D2487-17: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). ASTM International, West Conshohocken.
- Bolivia (1992). Ley del Medio Ambiente N° 1333, promulgada el 27 de abril de 1992. de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (MDSMA).
- Bolivia (2009). NB 1211003: Ladrillos cerámicos- Ladrillos macizos - Requisitos (Segunda revisión).
- Bonett Diaz R.L. (2003). Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios, aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada, Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Carvalho M., Ramos F., Zegarra J. y Pereira C. (2016). Evaluación a lo largo del tiempo de las propiedades mecánicas de los bloques de suelo-cemento utilizados en pavimentos semipermeables. *Rev. ing. constr.*, 31: 61-70. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732016000100006>
- Choque Ruelas G.E. y Huaman Meza J. (2009) Adobes Comprimidos Suelo-Cemento Una Alternativa Ecológica. Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG), XVII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, CONEIC, Chiclayo.
- CODASE (1991). IT-07-91: Ladrillos macizos de suelo cemento. Comisión de Desarrollo y Aplicación de Suelos

Estabilizado (CODASE), La Habana.

Franca B.R., Azevedo A.R.G., Monteiro S.N., Garcia Filho F.C., Marvila M.T., Alexandre J. y Zanelato, E. B. (2018). Durability of Soil-cement Blocks with the Incorporation of Limestone Residues from the Processing of Marble. *Materials Research*, 21, supl. I. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2017-1118>

Gaggino R. y Arguello R.G. (2010). Procedure for Making a Cement Mixture with Recycled Plastics Applicable to the Manufacture of Building Elements. *Recent Patents on Materials Science*, 3: 167-177.

Gatani M.P. (2000). Ladrillos de suelo-cemento: mampuesto tradicional en base a un material sostenible. *Informes de la Construcción*, 51: 35-47.

Heath A., Walker P., Fburie C. y Lawrence M. (2009). Compressive strength of extruded unfired clay masonry units. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Construction Materials*, 162: 105-112.

<https://doi.org/10.1680/coma.2009.162.3.105>

Koltun P. (2010). Materials and sustainable development. *Progress in Natural Science: Materials International*, 20: 16-29. [https://doi.org/10.1016/S1002-0071\(12\)60002-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0071(12)60002-1)

Kuhn S.J. (2015). EcoBricks exchange progress report. Disponible en: https://ecobrickexchange.org/includes/ebe_report.pdf (Último acceso: 17 de diciembre de 2018)

Los Tiempos (2018). Demuelen 18 ladrilleras en la zona sur de la ciudad. Disponible en: <http://www.lostiempos.com/actualidad/cochabamba/20180119/demuelen-18-ladrilleras-zona-sur-ciudad> (Último acceso: 03 de marzo de 2018)

Magalhães R.F., Danilevicz A.M.F. y Saurin, T.A. (2017). Reducing construction waste: A study of urban infrastructure projects. *Waste Management*, 67: 265-277. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.025>

Naik T.R. (2008). Sustainability of Concrete Construction. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 13:2 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0680\(2008\)13:2\(98\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0680(2008)13:2(98))

Oti J.E., Kinuthia J.M. y Bai J. (2009). Engineering properties of unfired clay masonry bricks. *Engineering Geology*, 107: 130-139. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.05.002>

Página 7 (2017). 76 ladrilleras causan el 12% de la contaminación de Cochabamba. Disponible en: <https://www.paginasiete.bo/sociedad/2017/7/16/ladrilleras-causan-contaminacion-cochabamba-144835.html> (Último acceso: 03 de marzo de 2018)

Sruthi S.G. (2013). Mud architecture. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2: 47-52.

Taaffe J., O'Sullivan S., Rahman M.E. y Pakrashi, V. (2014). Experimental characterization of Polyethylene Terephthalate (PET) bottle Eco-bricks. *Materials & Design*, 60: 50-56.

<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.03.045>

Tarqui J.L.Z., Carvalho M.F. y Brandão C.P. (2012). Avaliação da resistência a compressão de misturas de solo-cimento para aplicação em pavimentos de tráfego leve. XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - COBRAMSEG. Porto de Galinhas: ABMS.

Valle C.A. (2001). Durabilidad de ladrillos prensados de suelo-cemento. *Materiales de Construcción*, 242:15-22.

Venkatarama Reddy B.V. y Gupta A. (2008). Influence of sand grading on the characteristics of mortars and soil-cement block masonry. *Construction Building Materials*, 22 1614-1623.

Walker P.J. (1995). Strength, durability and shrinkage characteristics of cement stabilized soil blocks. *Cement and Concrete Composites*, 17: 301-310. [https://doi.org/10.1016/0958-9465\(95\)00019-9](https://doi.org/10.1016/0958-9465(95)00019-9)

Walker P.J. (2004). Strength and erosion characteristics of earth blocks and earth block masonry. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16: 497-506. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2004\)16:5\(497\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2004)16:5(497))

WHO - World Health Organization (2016). WHO Global Urban Ambient Air Pollution Database. Disponible en: <https://www.who.int/phe/health-topics/outdoorair/databases/cities/en/> (Último acceso: 17 de diciembre de 2018)

Wu Z., Yu A.T.W. y Shen, L. (2017). Investigating the determinants of contractor's construction and demolition waste management behavior in Mainland China. *Waste Management*, 60: 290-300.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.001>

Fuentes de financiamiento: Esta investigación fue financiada con fondos de los autores. **Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de interés.

Copyright (c) 2019 Joaquin Humberto Aquino Rocha; Nataly Andrea Zapata Ampuero; Marialaura Herrera Rosas; Willam Murillo Borda; Giovani Galindo Añez



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)