

# EVALUACIÓN DE ENSAYOS DE EROSIÓN ACELERADA APLICADOS A BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA

Jesús Manuel Meza López

Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú, [jesusmeza.ecoperu@gmail.com](mailto:jesusmeza.ecoperu@gmail.com)

**Palabras clave:** erosión, durabilidad, BTC, suelo-cemento, pulverizado de agua a presión.

## Resumen

El objetivo principal de la presente investigación es evaluar los resultados de tres grupos de ensayos de erosión acelerada, aplicados a bloques de tierra comprimida estabilizados con menos de 20% de cemento, para garantizar la durabilidad de muros a construirse en zonas de climas lluviosos como los de la ciudad de Huancayo. El primer grupo de ensayos evaluados fue el de absorción de agua, cuyos resultados se compararon con los criterios de evaluación de normas internacionales (IS 1725 y SLS 1382) y la norma peruana NTP 399.613, encontrándose que las unidades ensayadas se consideran como “aceptables”, pues los resultados son inferiores a los porcentajes máximos permisibles; el segundo grupo de ensayos fue el de erosión por caída de agua, donde se analizaron los métodos Geelong y SAET; las muestras ensayadas no aportaron ningún indicador de erosión observable, y por lo tanto se llegó a la conclusión que el ensayo de caída de agua no es adecuado para el control de calidad de BTC estabilizados; el tercer grupo de ensayos fue el de erosión por pulverizado de agua a presión; las muestras se ensayaron de acuerdo al procedimiento de las normas IS 1725, SLS 1382 y NZS 4298, de los cuales si se obtuvieron indicadores de erosión medibles y cuantificables. Luego, de entre los 3 tipos de ensayos evaluados, solo el ensayo de absorción de agua y el ensayo de pulverizado de agua a presión, se consideran aptos para el correcto control de calidad a BTC estabilizados.

## 1. INTRODUCCIÓN

El principal mecanismo que causa la erosión en los muros de tierra según Heathcote (1995), es la liberación de energía cinética asociada a las gotas de lluvia que afectan la superficie.

Los bloques de tierra comprimida<sup>1</sup> (BTC) son unidades de albañilería fabricadas a base de tierra, comprimidas en máquinas manuales o hidráulicas. No requieren de quemado en horno de cocción, puesto que la resistencia y la durabilidad la adquieren por el proceso de compresión estática y por el fraguado del estabilizante. Si bien, el material de base lo constituye la tierra, el mismo admite la incorporación de estabilizantes como la cal o el cemento, que permitan mejorar las características físicas del bloque, ya sea aumentando su resistencia a la compresión, al intemperismo o reduciendo las fisuras provocadas por la retracción arcillas (Roux, 2010). Por un lado, fabricar BTC con altos porcentajes de estabilización (20% de cemento o más), asegura de sobremanera la resistencia y la durabilidad de los bloques, pero por otro, no son recomendables económicamente, debido al alto costo de producción que demandan.

La presente investigación se encarga de estudiar tres grupos de ensayos de erosión acelerada aplicados a BTC estabilizados con porcentajes menores al 20% de cemento, para determinar cuales son los más indicados para evaluar el fenómeno de erosión para así garantizar la durabilidad de muros a construirse en una lugares de climas lluviosos como los de Huancayo, una de las ciudades más importantes de la sierra central del Perú, ubicada al sur del Valle del Mantaro, en el departamento de Junín. Posee un clima lluvioso y frío, con precipitaciones máximas de 33 mm y pluviosidad media anual de 517 mm.

---

<sup>1</sup> Técnicamente denominados en Perú, como ladrillos de tierra comprimida (LTC), de acuerdo a la norma E.070 (2006): Se denomina “ladrillo” a aquella unidad cuya dimensión y peso permite que sea manipulada con una sola mano y se denomina “bloque” a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de dos manos para su manipuleo.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Evaluar los resultados de los ensayos de erosión acelerada aplicados a BTC estabilizados con cemento, para garantizar la durabilidad de muros a construirse en climas lluviosos.

### 2.2 Objetivos específicos

- Comparar los resultados del ensayo de inmersión total en agua aplicados a BTC estabilizados con 7%, 11%, 15% y 20% de cemento, para garantizar la durabilidad de muros a construirse en climas lluviosos.
- Analizar los resultados de los ensayos de erosión por caída de agua aplicados a BTC estabilizados con 7%, 11%, 15% y 20% de cemento, para garantizar la durabilidad de muros a construirse en climas lluviosos.
- Interpretar los resultados de los ensayos de erosión por pulverizado de agua a presión, aplicados a BTC estabilizados con 7%, 11%, 15% y 20% de cemento, para garantizar la durabilidad de muros a construirse en climas lluviosos.

## 3. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Para realizar la presente investigación se siguió la siguiente secuencia:

- Caracterización de las muestras
- Caracterización de los ensayos
- Ensamblaje de las máquinas de ensayos
- Ensayo de las muestras

### 3.1 Caracterización de las muestras

- Dimensiones: 25 cm de largo, 12,5 cm de ancho, y 7cm de altura, con alveolos de 6 cm (Figura 1).
- Tipo de suelo: arena arcillosa SC (según SUCS), o arena limosa arcillosa A-2 (según AASTHO)
- Método de fabricación estándar: máquina hidráulica, con fuerza hidráulica de 6 ton (Figura 2).

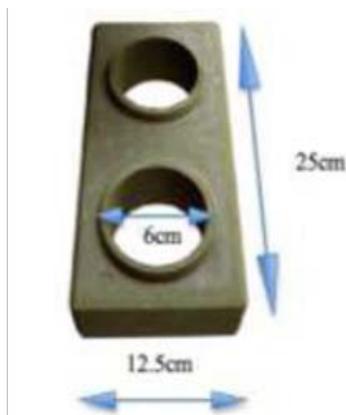


Figura 1. Dimensiones del BTC en centímetros



Figura 2. Máquina hidráulica ECO BRAVA

- Identificación de las muestras: se adoptaron porcentajes de estabilización con cemento basado en las recomendaciones de Rocha Pitta (2002) (tabla 1) y de acuerdo con Fuente (1995) que indica que la cantidad de cemento a utilizarse para la estabilización de suelos

puede variar entre el 2% y 25% del peso seco de la mezcla, pero se recomienda un promedio de 11% y se procura que no pase del 15%, por razones económicas (tabla 2).

Tabla 1. Rango usual de cemento requerido para distintos tipos de suelos (Rocha Pitta, 2002)

Clasificación de suelo según AASTHO	Cantidad de cemento en peso (%)
A1-a	5
A1-b	6
A2	7
A3	9
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

Tabla 2. Identificación de las muestras

Identificación	Cantidad de cemento en peso (%)	Referencia
BTC 7	7	Rocha Pitta (2002)
BTC 11	11	Fuente (1995)
BTC 15	15	Fuente (1995)
BTC 20	20	Rojas y Vidal (2014)

e. Cantidad de muestras requeridas para cada tipo de ensayo: de acuerdo con la tabla 3.

Tabla 3: Cantidades de muestras utilizadas

Ensayo	Identificación de las muestras			
	BTC 7	BTC 11	BTC 15	BTC 20
Absorción	3	3	3	3
Geelong	3	3	3	3
SAET	3	3	3	3
SLS 1382	3	3	3	3
NZS 4208	3	3	3	3
IS 1725	3	3	3	3
Cantidad de muestra	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>

### 3.2 Caracterización de los ensayos

#### a) Absorción de agua

El ensayo de absorción de agua para BTC y adobe estabilizados se define dentro de las normas internacionales IS 1725 y SLS 1382 (Cid Falceto, 2012), mientras que en Perú, el procedimiento del ensayo de absorción se describe dentro de la NTP 399.613. Los criterios de evaluación se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Criterios de evaluación de la absorción de agua

Procedimientos de ensayo	Absorción del agua
IS 1725	≤ 15%
SLS 1382	< 15%
NTP 399.613	≤ 22%

b) Ensayo de erosión por caída de agua

Cid Falceto (2012) menciona los procedimientos comunmente usados para realizar este tipo de ensayo: por un lado, el método Geelong, de la norma SAZS 724 (2001); y por otro, el método SAET (*Swinburne accelerated erosion test*) propuesto por la norma española UNE 41410 (2008). Los resultados se evalúan de acuerdo a la profundidad de erosión, que son medidas con una varilla de 3 mm de diámetro. Una muestra ensayada se clasifica como “apto” si la profundidad de erosión se encuentra entre 0-10mm; mientras que si la profundidad supera los 10 mm el bloque se considera “no apto”.

b1) Método de Geelong

Consiste en dejar caer agua por goteo a través de un paño-esponja de 16 mm de ancho colocada unos 6 cm por debajo del nivel inicial del agua, desde una altura de 40 cm hacia una muestra inclinada 27° respecto de la horizontal. Se controla un volumen de 100 ml de agua en el vaso de precipitación (figura 3).

b2) Método SAET

Consiste en liberar una corriente de agua a través de un tubo de 5 mm de diámetro por un período de 10 minutos desde un depósito cuyo nivel se mantiene constante a 150 cm de altura respecto a una muestra inclinada 27° (figura 4).

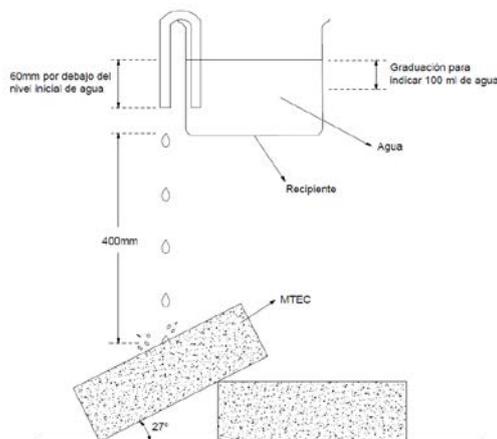


Figura 3. Esquema del ensayo Geelong (Cid Falceto, 2012)

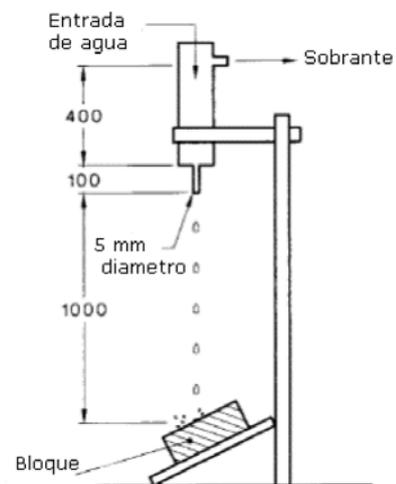


Figura 4. Esquema del ensayo SAET (Cid Falceto, 2012)

c) Ensayo de pulverizado de agua a presión

Consiste en someter la muestra a la acción del impacto del agua, a una determinada presión y a una determinada distancia, para luego observar los daños causados (figura 5). En todos los casos el tiempo de pulverizado es de 60 min o hasta traspasar las muestras. Las perforaciones no deben ser superiores a 10 mm de diámetro, 10 mm de profundidad, y tampoco se debe superar una pérdida en peso mayor al 5%.

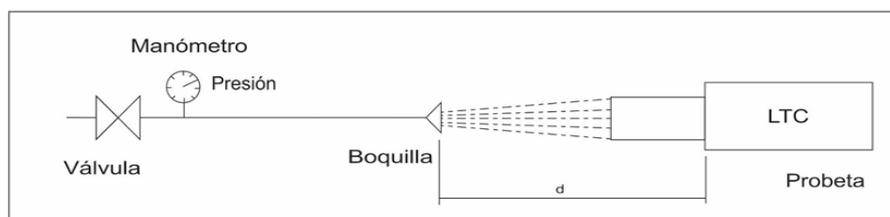


Figura 5. Esquema del ensayo de pulverizado de agua.  
(basado en Cid Falceto, 2012)

Los procedimientos utilizados para este tipo de ensayo fueron los referentes a las normas IS 1725, NZS 4298 y SLS 1382. Los parámetros de cada procedimiento se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros de los principales procedimientos de ensayo

Parámetro	IS 1725	NZS 4298	SLS 1382
Presión (bar)	1,5	0,5	0,5
Distancia (m)	0,18	0,47	0,50
Tiempo (min)	60	60	60

Los criterios de evaluación se interpretan de acuerdo a los siguientes indicadores de erosionabilidad:

- Diámetro máximo observable: medido con varillas lisas circulares con borde plano de diámetros de 3, 5, 8 y 10 milímetros.
- Profundidad máxima de erosión: se mide la profundidad de penetración con una varilla lisa de 3 mm de diámetro marcada milimétricamente, y o nivel con ayuda de una escuadra.
- Pérdida de peso: se calcula la pérdida porcentual de peso de la muestra antes y después de los ensayos, ambos secados durante 24 horas en un horno de laboratorio a 110°C.

### 3.3 Ensamblaje de la máquina de ensayo de pulverizado de agua

Se tomó como base el prototipo de máquina de ensayos de erosión acelerada del modelo-UPM SET desarrollado por Cid Falceto (2012), el cual propone una serie de características adecuadas a los parámetros de los principales procedimientos ensayados.

Para el sistema de pulverizado, se utilizó boquilla de ángulo estrecho<sup>2</sup> propuesta por Heathcote (2002), debido al sistema de rotación interna que posee, el cual hace posible que se reproduzcan gotas de tamaños de gota similares a las de una lluvia (1-3 mm de diámetro).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados de los ensayos de absorción de agua

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6. Las muestras se consideran aceptables, pues los resultados promedio de los ensayos son inferiores a los límites máximos permisibles estipulados por las normas NTP 339.613, IS 1725 y SLS 1382.

Se procedió a comparar los resultados, por un lado, con el antecedente nacional, Holgado y Prado (2015), en donde se utilizó una máquina prensadora de tipo manual, y por otro, con el antecedente de la investigación de Roux (2010) en la cual se utilizó una máquina de compresión de tipo hidráulica.

<sup>2</sup> de serie "fulljet" GG-1550, de la empresa Spray Systems Co, <http://www.spray.com>

Tabla 6. Resultados promedio de absorción de agua

Muestra	Absorción de agua (%)	Criterio de las normas IS 1725 y SLS 1382 (%)	Criterio de la norma NTP 339.613 (%)	Evaluación
BTC 7	11,0	<15	<22	Aceptable
BTC 11	9,5	<15	<22	Aceptable
BTC 15	11,1	<15	<22	Aceptable
BTC 20	13,2	<15	<22	Aceptable

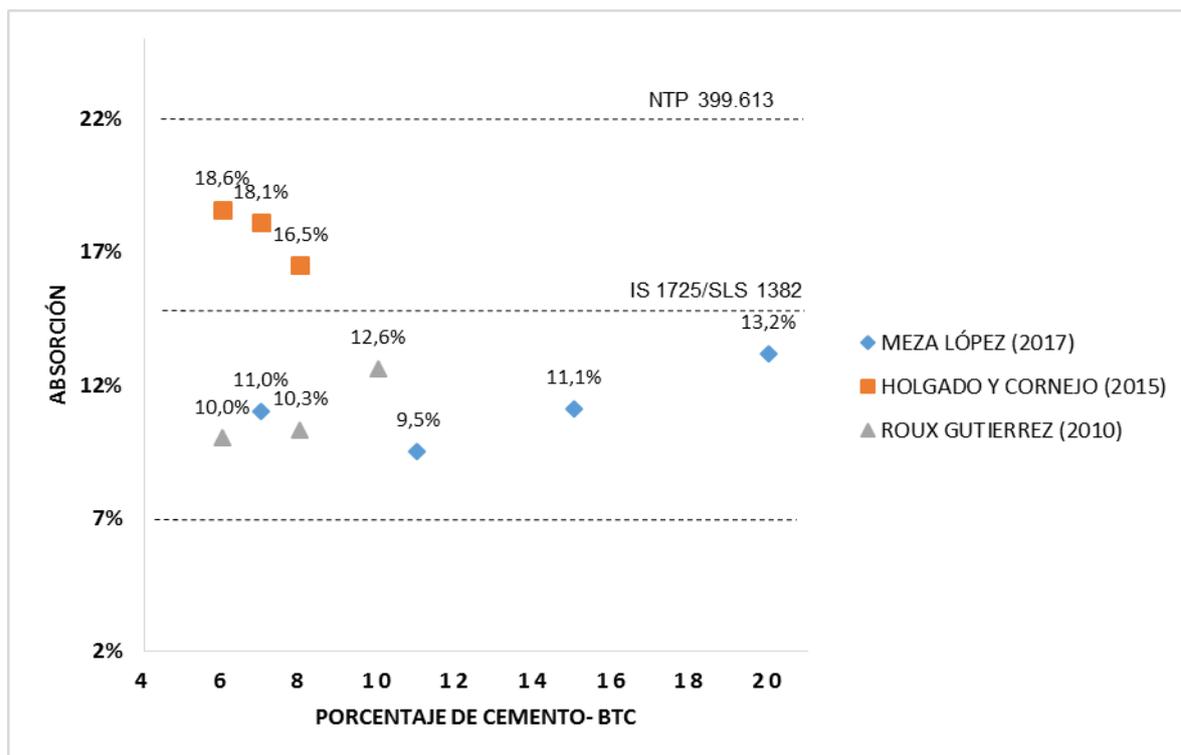


Figura 7. Comparación de resultados de absorción de agua con los obtenidos en los antecedentes

Se infiere que los resultados obtenidos son relativamente cercanos a los obtenidos por Roux (2010) probablemente debido al tipo de maquinaria utilizada, de fuerza 6 ton y de tipo hidráulico.

#### 4.2 Resultados de los ensayos de erosión por caída de agua

Tanto para el método Geelong (figura 8), como para el método SAET (figura 9), para las muestras ensayadas se obtuvieron resultados de 0 mm de profundidad de erosión, 0 mm de diámetro máximo observable y 0% de pérdida de peso, para todos los casos. Se compararon los resultados con el antecedente nacional de Holgado y Prado (2015), donde se obtuvieron resultados similares (tabla 7)

Tabla 7. Resultados del ensayo de caída de agua aplicados a BTC estabilizados

Resultado	Método		Holgado y Prado (2015)
	Geelong	SAET	
Diámetro máximo observable (mm)	0	0	0
Profundidad máxima de erosión (mm)	0	0	0
Pérdida de peso (%)	0	0	0



Figura 8. Ensayo de caída de agua, método Geelong



Figura 9. Ensayo de caída de agua, método SAET

Weisz y Nataatmadju (1995) hacen referencia al ensayo de caída de agua y mencionan que el principal problema de realizar el ensayo es la dificultad para visualizar el daño causado en las muestras. Cid Falceto (2012) consideró el ensayo de caída de agua como un procedimiento válido para cuantificar la erosión de materiales de tierra sin estabilizar. Por lo tanto, se puede concluir que el ensayo de caída de agua no es un método adecuado para evaluar la durabilidad de BTC estabilizados con cemento, debido a que no se pueden visualizar, cuantificar, ni evaluar los indicadores de erosión.

#### 4.3 Resultados de los ensayos de pulverizado de agua a presión

##### a) Resultados de las muestras ensayadas de BTC 7 y BTC 11

Las muestras de BTC resultantes donde mejor se puede apreciar el impacto de erosión, fueron los resultantes del procedimiento del ensayo IS 1725 que se muestran en las imágenes presentadas en la tabla 8. El resumen de los resultados máximos observables de las muestras de BTC 7 y BTC 11 se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados de los ensayos de pulverizado de agua de BTC 7 y BTC 11

Procedimiento	Profund. máxima (mm)	Ø máx (mm)	Pérdida de peso (%)	Muestras ensayadas
BTC 7				
IS 1725	10	4	0,48	
NSZ 4298	5	3	0,26	
SLS 1382	5	3	0,23	

BTC 7 ensayadas por el procedimiento IS 1725

BTC 11			
IS 1725	5	3	0,31
NSZ 4298	3	1	0,13
SLS 1382	3	1	0,13



BTC 11 ensayadas por el procedimiento IS 1725

De acuerdo a los parámetros de evaluación de los procedimientos IS 1725, NZS 4298 y SLS 1382, siendo los indicadores de erosionabilidad menores a 10 mm en diámetro de erosión, 10 mm en profundidad máxima de erosión y menor a 5% de pérdida en peso, las muestras ensayadas identificadas como BTC 7 y BTC 11 se consideran “aptos”.

Sin embargo habiéndose llegado a los 10 mm de diámetro de erosión en la muestra BTC 7 (ensayada por el método IS 1725), y siendo este el máximo resultado permisible, se recomendará revocar o impermeabilizar los muros a construirse con este tipo de bloques.

#### b) Resultados de las muestras ensayadas de BTC 15 y BTC 20

Los resultados del procedimiento IS 1725, NZS 4298 y SLS 1382, aplicados a las muestras de BTC 15 y BTC 20, que se muestran en la tabla 9, fueron de: 0 mm de diámetro máximo de erosión, 0 mm de profundidad máxima de erosión y 0.00% de pérdida de peso, para todos los casos. De acuerdo a los parámetros de evaluación de los procedimientos IS 1725, NZS 4298 y SLS 1382 siendo los indicadores de erosionabilidad menores a 10mm en diámetro de erosión, 10mm en profundidad máxima de erosión y menor a 5% de pérdida en peso, las muestras ensayadas de BTC 15 y BTC 20, se consideran como “aptos”.

Tabla 9. Resultados de los ensayos de pulverizado de agua de BTC 15 y 20

Procedimiento	Profund. Máxima (mm)	Ø máx (mm)	Pérdida de peso (%)	Muestras ensayadas
BTC 15				 <p>BTC 7 ensayadas por el procedimiento IS 1725</p>
IS 1725	0	0	0	
NSZ 4298	0	0	0	
SLS 1382	0	0	0	
BTC 20				 <p>BTC 11 ensayadas por el procedimiento IS 1725</p>
IS 1725	0	0	0	
NSZ 4298	0	0	0	
SLS 1382	0	0	0	

Los indicadores de erosionabilidad de las muestras identificadas como BTC 15 son prácticamente nulos, motivo por el cual y a razón de la presente investigación, se recomendará el BTC 15 para su uso en regiones de clima lluvioso.

Se concluye finalmente, que los ensayos de pulverizado de agua a presión son los más adecuados para realizar un correcto control de calidad a BTC estabilizados, y con los cuales se podrá llevar un adecuado control de calidad, a su vez garantizar la durabilidad de muros construidos con BTC en zonas de climas lluviosos.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se evaluaron los resultados de los ensayos de erosión acelerada aplicados a BTC estabilizados con 7%, 11%, 15% y 20% de cemento, y se concluye el ensayo de absorción y el ensayo de pulverizado de agua son los más adecuados para el control de calidad a BTC y con los cuales se podrán garantizar la durabilidad de muros a construirse con este material en zonas de clima lluvioso.
- Se compararon los resultados del ensayo de absorción de agua, por un lado con el máximo porcentaje de absorción aceptable para ladrillos cerámicos de la norma peruana E.070 (22%), y por otro, con el criterio de evaluación de las normas internacionales IS 1725 y SLS 1382 ( $\leq 15\%$ ), hallándose que las unidades ensayadas se consideran como "aceptables", porque los resultados obtenidos son inferiores a los porcentajes máximos permisibles de las normas en mención. Finalmente se concluye que son ensayos con los cuales se podrá realizar un adecuado control de calidad y a su vez garantizar la durabilidad de muros a construirse con BTC en zonas de clima lluvioso.
- Se analizaron los resultados de los ensayos de erosión por caída de agua por el método Geelong y por el método SAET, observándose que no producen ningún indicador de erosión observable en BTC, y por lo tanto se concluye que no son ensayos adecuados para el control de calidad de BTC.
- Se interpretaron los indicadores del ensayo de erosión por pulverizado de agua a presión aplicados a BTC con 7%, 11%, 15% y 20% de cemento, encontrándose que son "aptos" los BTC estabilizados con 11%, 15% y 20 % de cemento, y que los BTC estabilizados con 7% de cemento solo deberán de usarse en exposiciones leves o moderadas. Finalmente se concluye que son ensayos adecuados para el control de calidad a BTC estabilizados y con los cuales se podrán garantizar la durabilidad de muros a construirse con este material en zonas de clima lluvioso.
- Luego se recomienda, para la construcción de muros con BTC en climas lluviosos con esta tierra, el uso 15% de cemento, puesto que los índices de erosionabilidad resultantes de los ensayos son prácticamente nulos; por lo cual, se asegura una buena durabilidad de los mismos. Además, la resistencia a la compresión de este tipo de bloque, 5,2 MPa, es equivalente al mínimo de 5 MPa exigido por la norma E.070 (2006).
- Si bien es cierto, no se han reportado casos documentados de fisuras producidas por acción de arcillas expansivas, reacción de sílice-alcalis, ni tampoco por acción de hielo y deshielo; se recomienda revisar las normas referentes a las pruebas de humedecimiento y secado (ASTM D559, 2015), ensayo acelerado de reacción de sílice alcali (ASTM C1260, 2014) y pruebas de fisuración por hielo y deshielo (ASTM D560, 2016), las cuales son normas dirigidas para el control de calidad de concreto y suelos estabilizados en carreteras, pero que pueden ser aplicadas al control de calidad de especímenes compactados de suelo-cemento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM C1260 (2014). Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method). USA: ASTM International

- ASTM D559 (2015). Standard test methods for wetting and drying compacted soil-cement mixtures. USA: ASTM International
- ASTM D560 (2016). Standard test methods for freezing and thawing compacted soil-cement mixtures. USA: ASTM International
- Cid Falceto, J. (2012). Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción. Tesis doctoral. España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Fuente Lavalle, E. de la (1995). Suelo Cemento: sus usos, propiedades y aplicaciones. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto
- Heathcote, K. A. (1995). Durability of earth wall buildings. *Construction and Building Materials* 9(3):185-189.
- Holgado Cornejo, M. I.; Prado Salinas, R. (2015). Diseño, elaboración y control de ladrillos suelo-cemento para albañilería no estructural como alternativa para la construcción. Tesis de título. Arequipa, Perú: Universidad Católica de Santa María-UCSM.
- IS 1725 (1982). Specifications for soil used in general building construction. India: Bureau of India Standards
- Norma E.070 (2006). Albañilería. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
- NTP 399.613 (2017). Unidades de albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería. Perú: Instituto Nacional de Calidad.
- NZS 4298 (1998). Materials and workmanship for earth buildings [Building Code Compliance Document E2 (AS2)]. Nueva Zelanda: Standards New Zealand
- Rojas Vargas, J.; Vidal Toche, R.A. (2014). Comportamiento sísmico de un módulo de dos pisos reforzado y construido con ladrillos ecológicos prensados. Tesis de título. Lima, Perú: PUCP.
- Roux Gutiérrez, R. (2010). Los bloques de tierra comprimida (BTC) en zonas húmedas. México: Plaza y Valdés S.A.
- SAZS 724 (2001). Zimbabwe standard rammed earth structures. Zimbabwe: Standards Association of Zimbabwe.
- SLS 1382 (2009). Specifications for compressed stabilized earth blocks. Srilanka: National Engineering Research and Development Center
- UNE 41410 (2008). Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. España: Asociación Española de Normalización.
- Weisz, C.; Nataatmadju A. (1995). Durability of mudbrick. Comparison of three test methods. Proceedings of the 4th Australasian Masonry Conference, Sydney.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Arq. Adolfo Santos Rodríguez, Sr. Alfonso Gálvez Vallenás, Mg. Ing. Richard Reymundo Gamarra, Dr. Ing. Alberto Muñiz Paucarmayta, Ing. Javier Chávez Peña y a todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil, UNCP, por todas las enseñanzas y conocimientos brindados.

## **AUTOR**

Jesús Manuel Meza López, Ingeniero Civil egresado de la Universidad Nacional del Centro del Perú, autodidacta especializado en unidades de albañilería de suelo cemento, a sus 25 años de edad, ha participado como ponente en el XII Congreso Nacional de Ingeniería Ambiental CONEIA-2017, el II Encuentro: Jóvenes Unidos por el Planeta, MOCICC, y en la II Feria de Producción Ecológica, organizado por la Gerencia Regional de Gestión del Medio Ambiente. Sus aportes de investigación han recibido el reconocimiento del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional del Centro del Perú, por la tesis titulada: "Evaluación de ensayos de erosión acelerada aplicados a ladrillos de tierra comprimida, para la construcción de muros perimétricos en Huancayo."