



Received: 21-10-2020  
Accepted: 05-11-2020

Anales de Edificación  
Vol. 7, Nº 1, 30-40 (2021)  
ISSN: 2444-1309  
Doi: 10.20868/ade.2021.4768

## Estabilización de bloques de tierra comprimida (BTC) por adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) y óxido de calcio recuperado de conchas marinas.

## Stabilization of compressed earth bricks (CEB) by adding (SBA) sugarcane bagasse ash and CaO recovered from seashells Risk assessment for watermills.

José Luis Galarza Viera<sup>a</sup>. Francisco Hernández-Olivares<sup>b</sup> & Gustavo Arcones-Pascual<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Dpto. Construcción y Tecnologías Arquitectónicas (Loja, Ecuador: jlgalarza@utpl.edu.ec, Madrid, España: jose.galarza.viera@alumnos.upm.es)

<sup>b</sup> Dpto. Construcción y Tecnologías Arquitectónicas (Madrid, España: f.hernandez@upm.es)

<sup>c</sup> Dpto. de Arquitectura y Artes. Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador)

**Resumen**— La estabilización de bloques de tierra comprimida (BTC) es un proceso fundamental para incentivar el uso de la tierra como material de construcción e implica acciones químicas, físicas y mecánicas. Así se dispone de “estabilizadores químicos” del tipo aceites naturales, cal viva o apagada, silicatos de sosa y orina, resinas acrílicas, yema de huevo, productos puzolánicos, cementos, yesos, otras resinas, entre otros; y además la estabilización física que implica la mezcla de suelos y el uso de fibras de refuerzo. Se toman aquí como base las arcillas que forman parte de la tierra como material constructivo por excelencia por su fácil manejo y disponibilidad que admite el uso de materiales reciclables que por sus características y propiedades físicas y mecánicas puedan incluirse en bloques de tierra tanto moldeada como comprimida. En el presente estudio se realiza la caracterización de material arcilloso que luego se mezcla con áridos finos y con cementantes, además de incluir la ceniza de bagazo de caña de azúcar calcinada (CBCA) para activarla como puzolana natural. Tanto el bagazo como la ceniza son recuperados de un ingenio azucarero, y de manera paralela la recuperación del carbonato de calcio que mediante un proceso de calcinación se consigue una cantidad alta de óxido de calcio de conchas marinas (CaCO<sub>3</sub>) pulverizadas como posible refuerzo de cementantes. Se observó un porcentaje de activación puzolánica en la muestra de ceniza CBCA07 en un 72.16% y una pérdida por ignición del 0.63%. Se compara el comportamiento a la compresión, flexión, abrasión, capilaridad y erosión de los especímenes en combinaciones de cementantes, arcillas, CBCA y CaCO. Los resultados muestran un aumento de la resistencia a la compresión de hasta 4.26 MPa, en las probetas con 6% de CBCA con el 14% de cal. En los especímenes con 70% de ceniza de CBCA un 30% de CaCO a los 28 días de curado se obtiene 1.32 MPa.

**Palabras Clave**— Adobe; Bloques de tierra comprimida, activación puzolánica; Ceniza de bagazo de caña de azúcar

José Luis Galarza Viera pertenece al Departamento de Arquitectura y Artes, Universidad Técnica Particular de Loja (San Cayetano Alto, Loja (Ecuador) and with the Construction & Building Technology Department, Universidad Politécnica de Madrid. Avda. Juan de Herrera 4. 28040 Madrid (Spain) (Ecuador: jlgalarza@utpl.edu.ec, España: jose.galarza.viera@alumnos.upm.es)

F. Hernández-Olivares pertenece al departamento de Tecnología y construcción, Universidad Politécnica de Madrid. Avda. Juan de Herrera 4. 28040 Madrid (Spain) (e-mail: f.hernandez@upm.es).

Gustavo Arcones-Pascual pertenece al departamento de Enseñanzas técnicas, European University Miguel de Cervantes, C. Padre Julio Chevalier, 2, 47012 Valladolid, Spain. garcones@uemc.es.

**Abstract.** - The stabilization of compressed earth blocks (BTC) is a fundamental process to encourage the use of land as a construction material and involves chemical, physical, and mechanical actions. Thus, "chemical stabilizers" are available such as natural oils, quick or slaked lime, soda and urine silicates, acrylic resins, egg yolk, pozzolanic products, cements, plasters, other resins, among others; and, the physical stabilization that implies the mixing of soils and the use of reinforcing fibers. The clays that are part of the earth are taken as a basis here as a construction material par excellence due to its easy handling and availability that allows the use of recyclable materials that, due to their characteristics and physical and mechanical properties, can be included in blocks of both molded and compressed earth. In the present study, the characterization of clay material is carried out, which is then mixed with fine aggregates and cementitious agents, in addition to including calcined sugarcane bagasse ash (CBCA) to activate it as natural pozzolana. Both the bagasse and the ash are recovered from a sugar mill, and in parallel the recovery of calcium carbonate, which through a calcination process achieves a high amount of calcium oxide from pulverized seashells (CaCO<sub>3</sub>) as a possible reinforcement of cementitious materials. A percentage of pozzolanic activation was observed in the CBCA07 ash sample of 72.16% and a loss on ignition of 0.63%. The compression, bending, abrasion, capillarity, and erosion behavior of the specimens is compared in combinations of cementitious, clays, CBCA and CaCO. The results show an increase in compressive strength of up to 4.26 MPa, in the test tubes with 6% CBCA with 14% lime. In the specimens with 70% CBCA ash, 30% CaCO at 28 days of curing, 1.32 MPa is obtained.

*Index Terms*—Adobe; Compressed Earth Blocks, Pozzolanic activation; Sugarcane Bagasse Ash.

## I. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente en la producción de adobes —así como tierra comprimida de los tapiales— se ha utilizado arcillas propias del lugar conjuntamente con estabilizantes naturales producto de la experiencia propia local. En la actualidad se propone también incorporar otros materiales que aun siendo adecuados terminan actualmente su vida útil en vertederos.

En las cercanías del cantón Saraguro, provincia de Loja (Ecuador) se produce desde hace muchos años el adobe tradicional, y se ha tomado la compresión de tierra como una alternativa para la prefabricación de bloques de menor dimensión y mejor trabajabilidad. Estos bloques de tierra comprimida (BTC) son eficientemente fabricados con un 14% de arcilla, 22% de limo y 64% de arena y, que en caso de no cumplir con estos porcentajes podría alternarse la adición de arcillas o arenas para lograr este equilibrio [9]. Los principales estabilizadores son la cal y el cemento que por el alto consumo energético de su fabricación han impulsado el interés de investigadores en la búsqueda en materiales alternativos [1]. Del mismo modo se buscan nuevos refuerzos fibrosos a partir de residuos reciclados y disponibles en el medio como el bagazo de caña de azúcar que se encuentra en dos estados residuales: como fibra exprimida residual y como ceniza resultante de la quema de dicha fibra en los Ingenios Azucareros de la zona como el Ingenio Azucarero Monterrey (Ciudad de Catamayo) a razón de 25 kg por tonelada [3].

El presente estudio se divide en dos fases, la primera que trata de la caracterización de arcilla y ceniza de bagazo de caña de azúcar hacia su inserción como refuerzos en BTC basado en su calcinación para activarla como puzolana natural [2]; y la segunda fase es la recuperación de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) de conchas marinas desechadas, con el fin de reforzar y complementar el cementante en un BTC. Finalmente se someten especímenes y bloques fabricados a ensayos de resistencia que justifiquen su uso adecuación para el uso constructivo y durabilidad.

## II. MÉTODOS Y PROCESOS

### A. Arcillas para el Bloque de Tierra Comprimida (BTC)

Se realiza un estudio de las ubicaciones próximas de suelo arcilloso que formará parte de las muestras para BTC y se seleccionan dos dentro de la ciudad, se extrajeron muestras de suelo a una profundidad de cota igual -60cm [10] para evitar el arrastre de materia orgánica.

Se procede a realizar un análisis granulométrico de la tierra con un tamiz malla 1 ½, así como el ensayo de sedimentación para determinar porcentajes de arena, limo y arcillas. Basado en la norma ASTM D-2216 y C566 también se determina el contenido de humedad usando un recipiente de acero inoxidable, se pesan 40 g en una balanza de precisión ± 2 mg para luego ingresar el crisol al horno de secado regulable <tipo estufa> de 110± 5°C durante un periodo de tiempo de 24 horas, para así obtener una muestra seca que se vuelve a pesar para determinar la cantidad de agua evaporada (1).

$$C.H. (\%) = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \quad (1)$$

Dónde: CH = equivale al contenido porcentual de humedad;  
Ph = peso húmedo g; Ps = peso seco g

Límite de Atterberg (2):

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (2)$$

Dónde: W = porcentaje de humedad en el espécimen;  
W<sub>w</sub> = peso del espécimen húmedo; W<sub>s</sub> = peso del espécimen seco.

Además, se realiza el ensayo de contenido de humedad óptima de Proctor modificado AASTO T 180-01, ASTM D 1557, para determinar la relación entre contenido de humedad y la densidad de los suelos compactados. La fórmula aplicada (3):

$$W(\%) = \frac{A-B}{B-C} \times 100 \quad (3)$$

Dónde: W= porcentaje de humedad en el espécimen;

A = peso del recipiente + suelo húmedo

B = peso del recipiente + suelo seco

C = peso del recipiente

Se han pulverizado las muestras en la máquina de abrasión UTA0600 con giros de 700 rpm durante 3 minutos para reducir las partículas y se las pueda someter a dos pruebas de análisis químico, la Fluorescencia de rayos X (FRX) por medio del equipo Portátil Bruker Turbo S1 con muestras de 2 y 3 g. Luego se somete a Difracción de rayos X (DFRX) en el difractor D8 Advance con el mismo gramaje de las muestras para FRX.

### B. Proceso de calcinación hacia la activación puzolánica: Ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) y Arcillas

El bagazo se somete a condiciones de limpieza, secado, quema controlada, triturado y finalmente su caracterización para comprobar la activación [4][5]. Se usa un Horno Bouvier 081-833414, crisoles de contención del material, molino de bolas, un mortero de ágata, estufa eléctrica #8, equipo portátil de Fluorescencia de Rayos X FRX Bruker Turbo S1.

La ceniza usada proviene de una quema no controlada desde los hornos de un ingenio azucarero y fue almacenada por varios días en costales de plástico. Por ello se aplica una limpieza de la materia orgánica por medio de peróxido de hidrógeno H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [agua oxigenada] durante 72 horas. Luego se procedió a tamizar con vibración para desprender la materia orgánica aún presente. Se usan los crisoles para ingresar las 6 muestras al horno Bouvier durante 24 horas a 105 °C para finalmente recoger 10 g de CBCA.

La arcilla llevada a activación puzolánica se obtuvo de dos canteras ubicadas en la parroquia El Valle, sector El Paraíso con referencia a las coordenadas: 3°58.8'25"S, 79°11'40.73" y 3°58.0'81"S, 79°11'45.37" O.

Se realizaron las pruebas de granulometría con tamices 60,120,200 y 325 (ASTM E-11-70); de las cuales se redujo el tamaño de partícula a un aproximado de 45µm. Así mismo, como resultado del ensayo de contenido de humedad se obtuvo un 0.93% que estaría acorde a la norma ASTM 618.03 que indica no exceder el máximo de 3% de humedad para poder considerarse como puzolana tipo C.

### C. Proceso de Calcinación aplicado a CBCA y Arcillas

Para seleccionar el material y comparar sus características se realiza un proceso hacia la activación puzolánica de la CBCA, primero usando ceniza encontrada en el ingenio azucarero, y segundo se obtiene ceniza procedente de laboratorio quemando el bagazo. Así, se muestran los pasos realizados empezando por la ceniza recuperada.

#### a) Paso 1: Limpieza y secado.

Se usa la ceniza recogida del Ingenio ubicado en la ciudad de Catamayo, y se trata de un material negro algo pastoso. Por ello se realiza una limpieza mediante un lavado con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dejando la ceniza sumergida durante 72 horas. Se realiza un primer tamizado para desprender materia orgánica aún

presente, luego se seca a la intemperie durante 24 horas para posteriormente llevar al horno durante 24 horas más a 105°C, se recogen 10 g y se lleva a prueba de fluorescencia de rayos X.

#### b) Paso 2: Primera calcinación

El bagazo de caña de azúcar (BCA) se dejó a intemperie para secar, luego se separan las partículas para obtener un espesor de +- 5 mm y una longitud de 50mm para facilitar la quema. Se usa una estufa eléctrica donde por medio de un recipiente cerámico se revuelve el bagazo cada 5 minutos para homogenizar –la quema dura 90 minutos. Luego se usó un mortero de ágata para moler. Se hornea a 700°C por otros 90 minutos, se deja enfriar la ceniza durante 30 minutos; para llevar a un nuevo análisis de fluorescencia de rayos X.

#### c) Paso 3: Limpieza del BCA con Ca (OH)<sub>2</sub>

Durante 7 días se dejó secar el bagazo a la intemperie, luego se lavó con Ca(OH)<sub>2</sub> –cal apagada- durante otros 7 días y luego se escurrió en un cernidor metálico. Se llevó al horno para un primer secado durante 24 horas a 105°C. Se redujeron las partículas a espesor 5mm con 50 mm de longitud. Se realiza entonces la quema controlada a 400°C por un lapso de 90 minutos. Se pulveriza manualmente con mortero por 5 minutos. Nuevamente se lleva a horno por 60 minutos, pero ahora a 500°C. Se pulveriza manualmente con mortero durante 15 minutos. Finalmente, se prepara la ceniza para fluorescencia de rayos X.

#### d) Paso 4: Segunda Calcinación

Se realiza el mismo procedimiento de la primera calcinación, aunque esta vez se usa un horno Bouvier de altas temperaturas, con una primera calcinación durante 20 minutos a 500°C, se enfría durante 20 minutos, se muele durante 5 minutos manualmente con mortero, se tamiza para obtener partículas de 250 µm. Una segunda calcinación a 700°C por 10 minutos, se deja enfriar la muestra durante 10 minutos y se muele manualmente por otros 10 minutos. Se prepara la muestra para llevar a fluorescencia de rayos X.

#### e) Paso 5: Proceso de optimización

Tomando como premisa la molienda como principal aplicación de cambio hacia la activación de la CBCA como puzolana, por controlar la distribución de tamaño de partícula y la mitigación del efecto negativo de los compuestos cristalinos en su reactividad.

TABLA I  
PROCESO DE CALCINACIÓN DE LA CBCA

Especimen	Tiempo de quema	Temperatura (°C)	Tiempo Molienda	Actividad Puzolánica (min)	Molienda Final
	inicial (min)		Inicial (min)		
CBCA01	15	Estufa	5	90	-
CBCA02	25	550	5	90	10
CBCA03	20	500	5	90	10
CBCA04	90	400	5	60	15
CBCA05	90	400	5	60	15
CBCA06	120	400	5	60	15

CBCA01 y CBCA02 se secaron al sol por 4 días, CBCA04 curado con cal durante 7 días, CBCA05 horneado durante 1 día (24 horas); CBCA06 secado al sol durante 7 días.

En este caso, la muestra se muele hasta pulverizar en la máquina de anillos Restch Model RS 200 durante 1 minutos a 700 rpm hasta conseguir una ceniza que mediante tamiz N° 325 (45µm) pase un porcentaje aproximado de 80%.

Finalmente se prepara la muestra y se lleva a Fluorescencia de rayos X.

#### f) Paso 6: Secado sin Horno

Se realiza el secado del bagazo BCA a la intemperie durante 192 horas (8 días), se reduce las fibras a espesor 5 mm y longitud 150 mm, se realiza la primera quema en el horno Bouvier a 400°C por 120 minutos, se deja enfriar 30

TABLA II  
ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA POR IGNICIÓN EN LA ACTIVACIÓN  
PUZOLÁNICA

Elemento Químico	CBCA 01	CBCA 02	CBCA 03	CBCA 04	CBCA 05	CBCA 06
MgO	10.6	10.8	11.9	2.18	4.50	0.88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.46	4.37	3.52	1.10	3.09	2.89
SiO <sub>2</sub>	41.3	42.5	44.2	5.84	53.7	68.1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6.26	6.15	5.81	1.93	5.38	4.29
S	6.11	5.74	5.77	0.47	1.05	0.80
K <sub>2</sub> O	22.4	23.1	20.8	0.92	23.6	15.2
CaO	4.87	3.94	5.38	52.9	4.84	3.71
TiO <sub>2</sub>	0.15	0.04	0.04	0.01	0.08	0.19
MnO	0.12	0.11	0.12	0.08	0.20	1.08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.04	0.42	0.56	0.53	0.59	1.17
SnO <sub>2</sub>	2.77	2.21	1.14	1.08	2.36	1.08
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	45.80	47.29	48.28	7.47	57.38	72.16
Pérdida Ignición	25%	70.97%	57.25%	2.25%	22.49%	0.63%

minutos para pulverizar mediante molino de bolas de acero por 15 minutos. Luego se calcina a 500°C por 60 minutos [7], se enfría durante 30 minutos para empezar la segunda pulverización con el mismo molino de bolas de acero durante 15 minutos, y se evidencia el color de las partículas que cambió a gris claro y la finura se denota mayor. Finalmente se prepara la muestra para llevar a fluorescencia de rayos X.

Finalmente, se realiza el cálculo de la pérdida por ignición.

#### D. Límite Líquido y Límite Plástico

Desde la obtención de la tierra a utilizar, se ha realizado la granulometría y ahora se la prepara agregando 14% de arcilla y 4% de arena en correspondencia a lo especificado por Minke [9] Luego, se pesaron 300g de la preparación para agregar agua destilada y proceder a amasar hasta obtener homogeneidad de material, se coloca en la cuchara de Casagrande con el ranurador se separa y se gira la manivela a razón de dos golpes por segundo hasta cerrar la ranura en 17 golpes. El resultante se coloca en una bolsa plástica durante 24 horas para saturar, luego se ensayó con cuatro puntos con cierre de ranura en un número de golpes 15-20, 20-25, 25-30 y 30-35. Recogiéndose una muestra de cada punto para proceder a secarla y llevarla al horno.

El límite líquido es 30.60% y el límite plástico 28.27%; con un índice plástico de 2.33%.

#### E. Plan de ensayos/Dosificaciones

Para el planteamiento de la dosificación a aplicar se tomó en consideración los porcentajes establecidos por Gernot Minke, así como la construcción de probetas testigo, relación

agua cemento –en este caso de 0.70 por trabajabilidad- la cantidad de cal y ceniza tratada. Luego se pudo diseñar y

TABLA III  
LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO

Número de golpes	Peso (g)	Contenido peso+ Masa húmeda (g)	Peso+ Peso Húmedo (g)	Contenido de Agua (g)	Peso Seco (g)	Contenido de Humedad (%)	Contenido de Humedad 25 golpes (%)
18	71.41	90.66	86.17	4.49	14.76	30.42	30.60
24	67.39	83.83	80.05	3.78	12.66	29.86	30.60
30	70.08	86.67	82.40	4.27	12.32	34.66	30.60
34	51.71	70.53	66.31	4.22	14.60	28.90	30.60
Límite Plástico							
	63.65	64.30	64.15	0.15	0.50	30.00	28.27
	69.68	70.30	70.17	0.13	0.49	26.53	28.27

construir un recipiente metálico como molde de compresión para dimensiones de 50mmx50mmx50mm. Se preparó el material para mezclarlo por 15 minutos hasta obtener una masa seca homogénea, se procede a comprimir en una prensa hidráulica de marca URREA con una presión de 100Kg/cm2 con itinerancia de 20 apisonamientos por cada capa de material, en un total de 4 capas hasta bordear el molde.

El desmolde fue mediante desacople de las caras perpendiculares de este con la ayuda de una capa fina de aceite industrial aplicado a sus caras interiores.

#### F. Caracterización de los componentes del material preparado

Se usaron dos muestras del material con la tierra recogida (PR01) y otra con el añadido de arcilla y arena (PR02), secados en el horno Bouvier hasta conseguir peso constante en masa 14 horas a 105°C se vuelve a triturar y se rolea el material, se aplica la técnica de cuarteo para volver a pulverizar durante 3 minutos (700rpm). Se lleva a fluorescencia de rayos X (Tabla IV).

El material fue sometido al mismo proceso de preparación realizado en la fluorescencia de rayos X antes de llevar la muestra al difractorómetro.

TABLA IV  
DOSIFICACIONES BASE COMPUESTO CBCA

Especimen	Arcilla %	Agua %	Cemento %	CBCA %
CBCA 100	100	15	20	-
CBCA 70-30	100	15	14	6
CBCA 60-40	100	15	12	8
CBCA 50-50	100	15	10	10

TABLA V  
DIFRACTOMETRÍA RAYOS X

Minerales	FÓRMULA QUÍMICA	%
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	12.16
Plagioclasa (albita)	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	3.21
Ortoclasa	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	1.16
Dolomita	CaMgO <sub>6</sub>	55.06
Illita	Al <sub>4</sub> KO <sub>12</sub> Si <sub>2</sub>	17.74
Montmorillonita	Al <sub>2</sub> CaO <sub>5</sub> O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>	3.61
Biotita	Al <sub>1.2</sub> *8Fe1.392KMg1.161*12Si2.792Ti(0.276	11.39
Clorita	Al0.865Fe0.255H4Mg2.292O9Si1.588	1.06

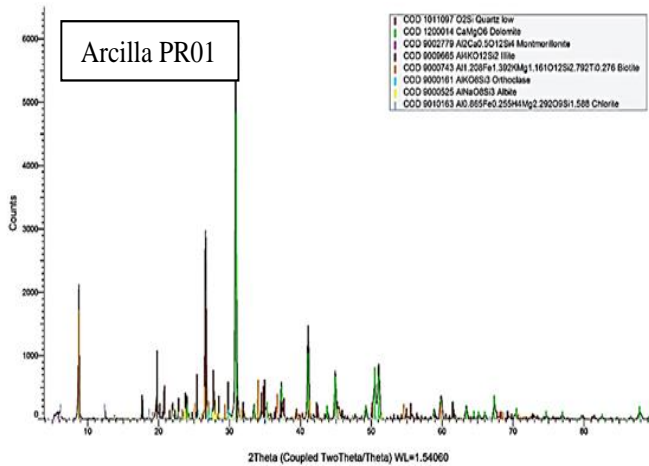


Fig. 1. Espectrograma DFRX de muestra PR01

TABLE VI  
DIFRACTOMETRÍA RAYOS X  
(ARCILLA PR2)

Minerales	FÓRMULA QUÍMICA	%
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	35.7
Plagioclasa (albita)	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	35.7
Ortoclase	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	4.1
Caolinita	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	1.17
Illita	(K,H <sub>3</sub> O)(Al,Mg,Fe) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> [(OH) <sub>2</sub> ,(H <sub>2</sub> O)]	6.66
Faujasita-Na	(Na <sub>2</sub> ,Ca,Mg)3-5[Al <sub>7</sub> Si <sub>17</sub> O <sub>48</sub> ]	3.97
Riebetikita	(Na <sub>2</sub> , (Fe <sub>5</sub> )Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	11.39
Silvita	KCl	1.06
Jurabanita/ Hidroxi sulfato	Al(SO <sub>4</sub> )(OH)	<1

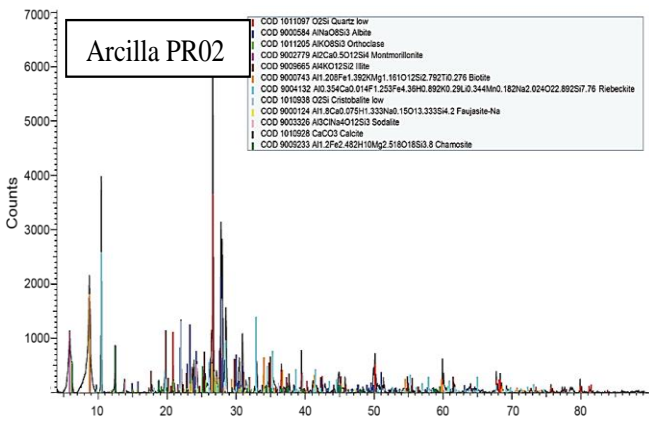


Fig. 2. Espectrograma DFRX de muestra PR02

TABLE VII  
FLUORESCENCIA RAYOS X  
(ARCILLAS PR01 Y PR02)

Elem. Quím.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	
Arcilla PR01	50.6	9.03	4.15	13.7	11.7	
Arcilla PR02	43.5	9.82	7.39	19	9.6	
	K <sub>2</sub> O	SnO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Actividad Puzolánica

TABLE VIII  
FLUORESCENCIA RAYOS X  
(CBCA COMPUESTO PREPARADO)

Especimen	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
CBCA70-30	36.70	6.44	1.05	6.72	10.80	11.00
CBCA60-40	44.20	5.14	1.01	5.43	7.16	7.71
CBCA50-50	50.70	4.94	1.88	4.16	5.52	4.96
	K <sub>2</sub> O	SnO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	S	TiO <sub>2</sub>
CBCA70-30	21.20	2.89	0.15	0.19	2.11	0.15
CBCA60-40	24.50	2.29	0.13	0.18	1.59	0.13
CBCA50-50	19.30	1.57	0.09	0.22	4.11	0.09
	Actividad Puzolánica / Pérdida por Ignición					
CBCA70-30				9.82%		
CBCA60-40				4.97%		
CBCA50-50				4.88%		

TABLE IX  
DIFRACTOMETRÍA RAYOS X  
(CBCA)

Minerales	FÓRMULA QUÍMICA	%
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	13.60
Albita	Al <sub>0.502</sub> Na <sub>0.498</sub> Si <sub>1.497</sub>	13.51
Ortoclase	AlK <sub>0.8</sub> Si <sub>3</sub>	10.80
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	3.21
Illita	Al <sub>4</sub> K <sub>0.12</sub> Si <sub>2</sub>	40.41
Cristobalita	O <sub>2</sub> Si	9.25
Laumontita	AlCaH <sub>7.920</sub> 16.96Si <sub>4</sub>	7.84
	Fe <sub>2.75</sub> Na <sub>0.10</sub> Si <sub>3</sub>	0.51
Wilkinsonite		
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.88

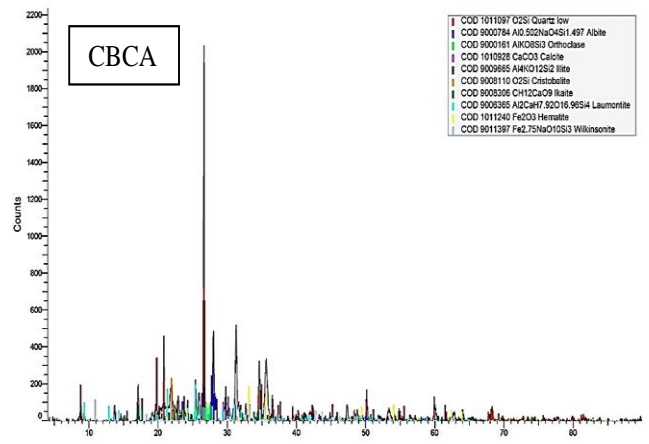


Fig. 3. Espectrograma DFRX de muestra CBCA

G. Resistencia a la compresión

Se ensayaron las muestras a 7, 14 y 28 días luego de su fabricación con una tolerancia admisible de ±3,6MPa y 12 horas respectivamente, acorde a la norma E.080 Construcción con Tierra (Perú), que además indica el procedimiento para romper cubos de 10 cm de arista que para fabricación se ha reducido a 5 cm de arista. Luego, indica que se deben escoger cuatro de las seis mejores muestras; que en este caso fueron solamente tres las mejores CBCA01(CBCA70-30); CBCA02 (CBCA60-40); CBCA03 (CBCA50-50).

Se aplicó carga constante a una presión de 0.80 MPa/s y se calculó la resistencia (4):

$$f_m = \frac{P}{A} \tag{4}$$

TABLA X  
DIFRACTOMETRÍA RAYOS X  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa) CEM100CBCA00

Especimen	7 días	14 días	28 días
CBCA01	5.52	12.20	12.55
CBCA02	4.22	11.96	12.20
CBCA03	6.39	10.56	11.65

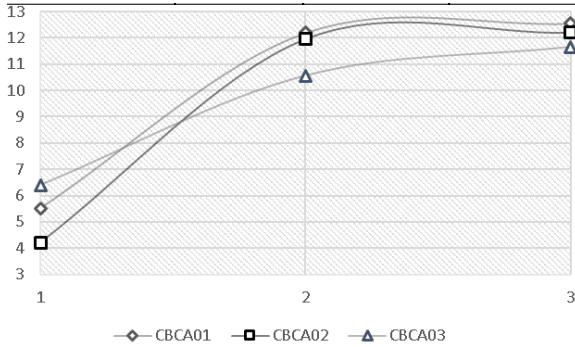


Fig. 4. Resultados compresión de CEM100+CBCA0 7-14-21 días

TABLA XI  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)  
CEM70CBCA30

Especimen	7 días	14 días	28 días
CBCA01	2.17	3.76	4.26
CBCA02	1.23	3.77	4.19
CBCA03	3.88	2.28	4.08

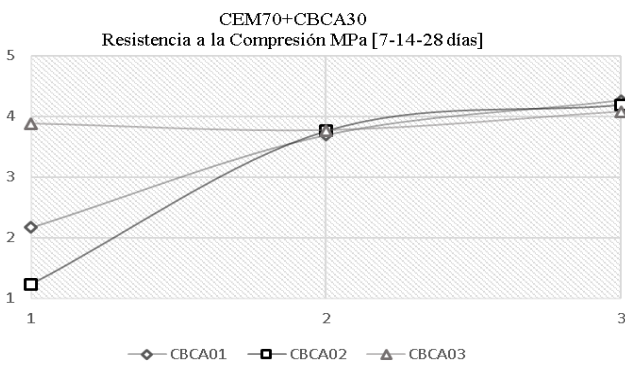


Fig. 5. Resultados compresión de CEM70+CBCA30

TABLA XII  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)  
CEM60CBCA40

Especimen	7 días	14 días	28 días
CBCA01	2.17	3.76	4.26
CBCA02	1.23	3.77	4.19
CBCA03	3.88	2.28	4.08

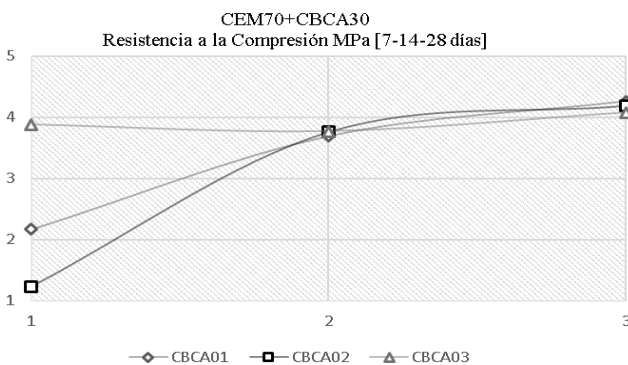


Fig. 6. Resultados compresión de CEM70+CBCA30

TABLA XIII  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)  
CEM50CBCA50

Especimen	7 días	14 días	28 días
CBCA01	1.81	2.84	2.82
CBCA02	1.67	3.11	2.33
CBCA03	1.93	2.90	3.22

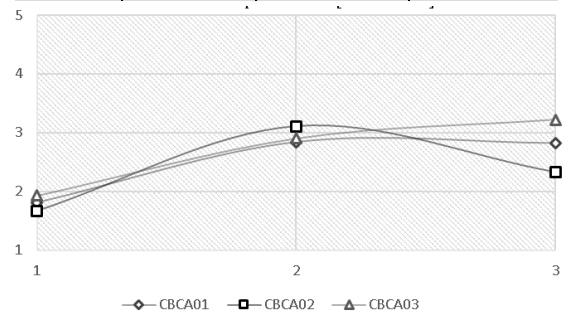


Fig. 7. Resultados compresión de CEM50+CBCA50

Dónde:  $f_m$  representa la resistencia a la compresión en MPa,  $P$  = carga máxima en MPa y  $A$  = el área de la sección en  $cm^2$

H. Resistencia a la Abrasión (Norma Colombiana)

Acorde a norma colombiana NTC 5324 el procedimiento permitido indica conservar los bloques durante 24 horas en un lugar cerrado sin humedad, se pesan y numeran los bloques empezando por el liviano o más ligero hasta el más pesado, se coloca el bloque de modo horizontal –bien nivelado- y se empieza a desplazar con movimientos “ida y vuelta” en el mismo eje, usando un cepillo de cerdas metálicas durante 60 segundos; y procurando no ejercer fuerza vertical. Luego de esto el espécimen debe ser limpiado suavemente y pesado, para proceder a calcular la resistencia (5).

$$S = \frac{L}{e} \tag{5}$$

Donde: S indica la superficie en  $cm^2$ , L el largo de la superficie cepillada en cm y e el ancho del cepillo.

Coefficiente de Abrasión (6):

$$C_a = \frac{S}{M_0 - M_1} \tag{6}$$

TABLA XIV  
RESISTENCIA A LA ABRASIÓN  
CEM50CBCA50

Especimen	Peso inicial (g)	Peso Final (g)	Sección de desgaste ( $cm^2$ )	Tiempo de ensayo (min)	Coefficiente de abrasión ( $cm^2/g$ )
CBCA01	263.11	258.61	15.00	10.00	4.29
CBCA02	265.39	252.39	15.00	10.00	1.15
CBCA03	266.25	259.99	15.00	10.00	2.40
Media					2.61

Donde:  $C_a$ : representa el coeficiente de abrasión, S la superficie de desprendimiento en  $cm^2$ ,  $M_0$  el peso inicial en g y  $M_1$  el peso final g.

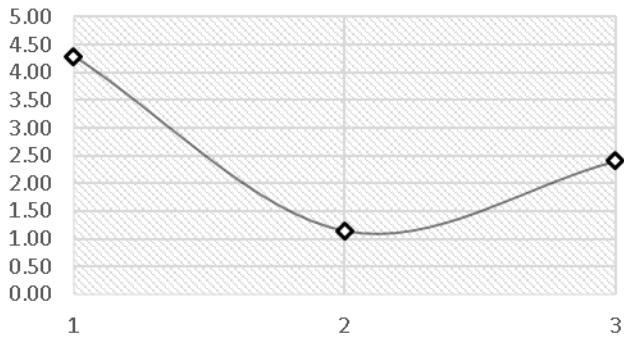


Fig. 8. Resultado coeficiente de resistencia a la abrasión

Los rangos de resistencia según la norma NTC 5324 establece valores para la compresión de 2,4 MPa y 6 MPa para encasillarse en los códigos BTC20, BTC40 y BTC60 respectivamente. Para coeficientes de abrasión desde 2, 5 y 7 cm<sup>2</sup>/g con los mismos códigos indicados en compresión.

I. Erosión Acelerada (Swinburne SAET)

El apartado 8.4 de la norma UNE 41410:2008 se describe la prueba, para lo cual se armó el soporte con la muestra en base inclinada 27° y se dejaron caer gotas de agua durante 10 minutos a una altura de 100 cm(Tabla XV). El cálculo de desgaste considera la relación entre peso inicial y peso final de la muestra desgastada (7):

$$W = W_n - W_f \tag{7}$$

TABLA XV  
EROSIÓN ACELERADA CON AGUA

Especimen	A:Peso Inicial (g)	B: Peso Seco (g)	Desgaste Total A-B (g)	Relación Desgaste en %
CEM70CBCA30	267.07	260.70	6.37	97.61
CEM60CBCA40	267.20	261.26	5.94	97.78
CEM50CBCA50	244.50	239.85	4.65	98.10

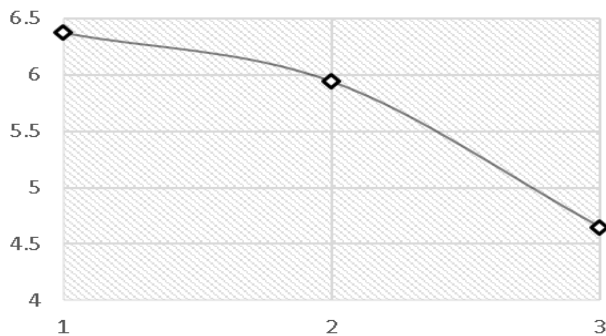


Fig. 9. Resultado erosión prueba con agua.

Donde: W indica el desgaste en g, Wo el peso inicial de la probeta en g y Wf el peso final de la probeta desgastada en g.

J. Erosión por Aire

Se utilizaron 3 probetas colocadas de forma horizontal en una superficie rígida y fueron sometidas a aire comprimido durante un periodo de 30 minutos a una distancia de 10 cm (boquilla-superficie de muestra). El cálculo es la misma relación que por erosión acelerada.

TABLA XVI  
EROSIÓN ACELERADA CON AIRE

Especimen	A:Peso Inicial (g)	B: Peso Seco (g)	DesgasteTotal A-B (g)	Relación Desgaste en %
CEM70CBCA30	271.86	271.76	0.10	99.96
CEM60CBCA40	264.35	264.21	0.14	99.95
CEM50CBCA50	265.59	265.44	0.15	99.94

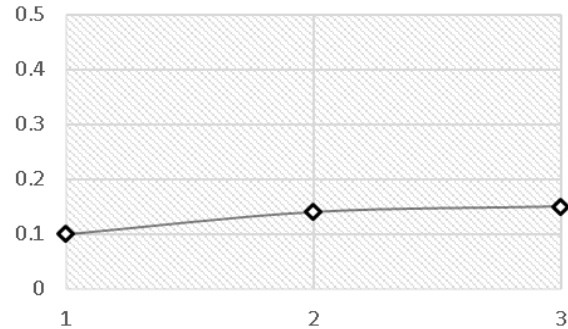


Fig. 10. Resultado erosión prueba con aire.

K. Erosión por Aire y Arena

Se utilizaron 3 probetas colocadas de forma horizontal en una superficie rígida y fueron sometidas a aire comprimido durante un periodo de 30 minutos a una distancia de 10 cm (boquilla de botella plástica-superficie de muestra). El cálculo es la misma relación que por erosión acelerada.

TABLA XVII  
EROSIÓN ACELERADA CON AIRE+AGUA

Especimen	A:Peso Inicial (g)	B: Peso Seco (g)	Desgaste Total A-B (g)	Relación Desgaste en %
CEM70CBCA30	274.03	255.57	18.46	93.26
CEM60CBCA40	259.72	248.62	11.10	95.73
CEM50CBCA50	271.04	259.18	11.86	95.62

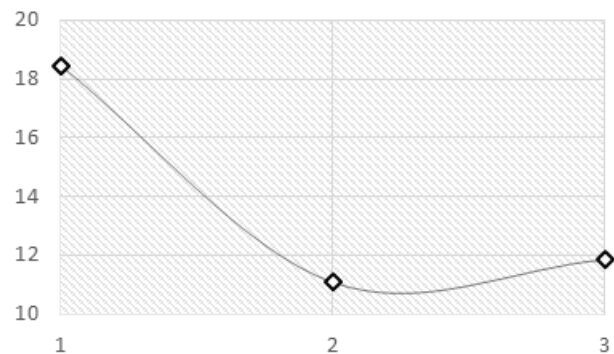


Fig. 11. Resultado erosión prueba aire con arena

L. Ensayo de absorción de agua por capilaridad.

Por medio de un recipiente con agua potable y luego de secar las probetas en una estufa ventilada con 70° C durante 6 horas con cambios entre ±3°C, posterior se dejaron reposar durante 24 horas para luego pesarlas. La sumersión fue de la cara lisa con 5mm por debajo del nivel del agua sobre cuñas de 1mm. Luego de 10 minutos se procedió a retirar el bloque y limpiar con un trapo húmedo para finalmente pesar las probetas (8).

$$C_b = \frac{100M}{s\sqrt{t}} = \frac{100(P_1 - P_0)}{s\sqrt{t}} \tag{8}$$

Donde: M representa la masa del agua en gramos absorbida por la probeta, s la superficie de la cara sumergida en cm<sup>2</sup> y t el tiempo de duración de inmersión de la probeta en minutos.

TABLA XVIII  
ENSAYO DE CAPILARIDAD

Especimen	A: Peso Inicial (g)	B: Peso Seco (g)	Superficie (cm <sup>2</sup> )	Tiempo (min)	Capilaridad (g/cm <sup>2</sup> xmin <sup>1/2</sup> )
CEM70CBCA30	274.03	255.57	26.52	5.00	3.46
CEM60CBCA40	259.72	248.62	27.03	5.00	5.12
CEM50CBCA50	271.04	259.18	27.03	5.00	7.26

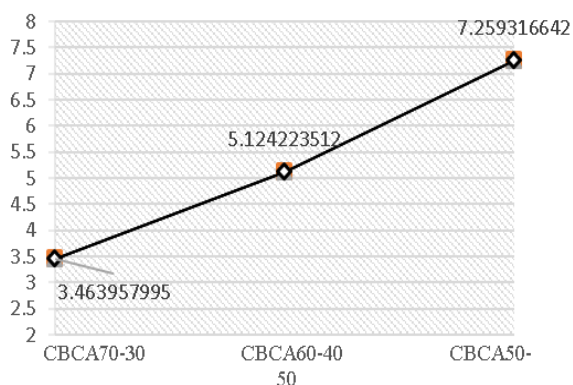


Fig. 12. Resultados ensayo de absorción de agua por capilaridad

M. Recuperación del CaCO<sub>3</sub> de las Conchas Marinas

Una vez realizado el reciclaje de las conchas marinas, se procedió a limpiarlas para eliminar restos de materia orgánica en tres fases, la primera con agua + hipoclorito de sodio – cloro- en un 2% (100 g) del contenido de agua de 5000 g para sumergir 50 g en peso de conchas marinas durante 24 horas hasta limpiar con agua sin cloro para una limpieza parcial, la segunda fase fue con una solución de sulfonato de alquilbenceno –base del detergente- en un porcentaje de 2% (100g) del contenido de agua de 5000 g para sumergir 500 g de peso en conchas durante 24 horas más, se procedió a enjuague con agua limpia y se dejó secar a la intemperie durante 8 horas.

La tercera fase consistió en disolver cal hidráulica en 5000 g de agua en un porcentaje del 2% (100g) del contenido de agua de 5000 g para sumergir 500 g de peso en conchas

durante 24 horas más, se procedió a enjuague con agua limpia y se dejó secar a la intemperie durante 8 horas más.

Posteriormente se aplicó una primera molienda y pulverización en una trituradora de mandíbulas marca Retsch, consiguiendo un tamaño de partícula de 3.18mm (1/8 pulg) al pasarlo por el tamiz de malla N° 6 dejando pasar el 100% aprox. Luego se procede a pesar la cantidad obtenida en una balanza digital para poder llevar las muestras a un molino giratorio de 18.5cm de diámetro y 24.5 cm de largo con 11 kg de bolas de acero (Fig. 13).

Y finalmente se llevó a calcinar en horno a temperaturas de 500°C, 750°C, 850°C y 1000°C con una velocidad de calentamiento de 10°C/ min, acorde a la tabla XIX.

TABLA XIX  
CALCINACIÓN DE LA MUESTRA RECUPERADA DEL BERBERECHO

Muestra	Peso Inicial A (g)	Peso del Crisol B (g)	Peso Muestra Calcina C (g)	Peso B+C	Pérdida por Ignición (%)	Tiempo de Calcina ción (min)	Tempera tura (°C)
CM01	50.00	178.65	40.50	219.15	9.50	120.00	500.00
CM02	50.00	181.63	36.57	218.20	13.43	180.00	500.00
CM03	50.00	182.17	31.83	214.00	18.17	120.00	750.00
CM04	50.00	175.35	29.95	205.30	20.05	180.00	750.00
CM05	50.00	182.52	26.44	208.96	23.56	120.00	850.00
CM06	50.00	175.45	23.28	198.73	26.72	180.00	850.00
CM07	50.00	180.26	25.96	206.22	24.04	120.00	1000.00
CM08	50.00	182.63	22.50	205.13	27.50	180.00	1000.00

En una siguiente fase se realizó la caracterización de los componentes de las conchas con alternancia de tamizaje para obtener un tamaño de partícula adecuado. Se usó la pistola de fluorescencia de rayos X: Bruker S1 Turbo SD con disparos a muestras crudas y calcinadas y un mínimo de tres lecturas por muestra para evitar errores. Además, se determina la densidad acorde a la norma ASTM C188-INEN 156 mediante el método del frasco volumétrico de Le Chatelier (9):

$$D_r = \frac{M(g)}{V(cm^3)} \tag{9}$$

Dónde: Dr indica la Densidad relativa (g/cm<sup>3</sup>), M la masa del material y V el volumen desplazado.

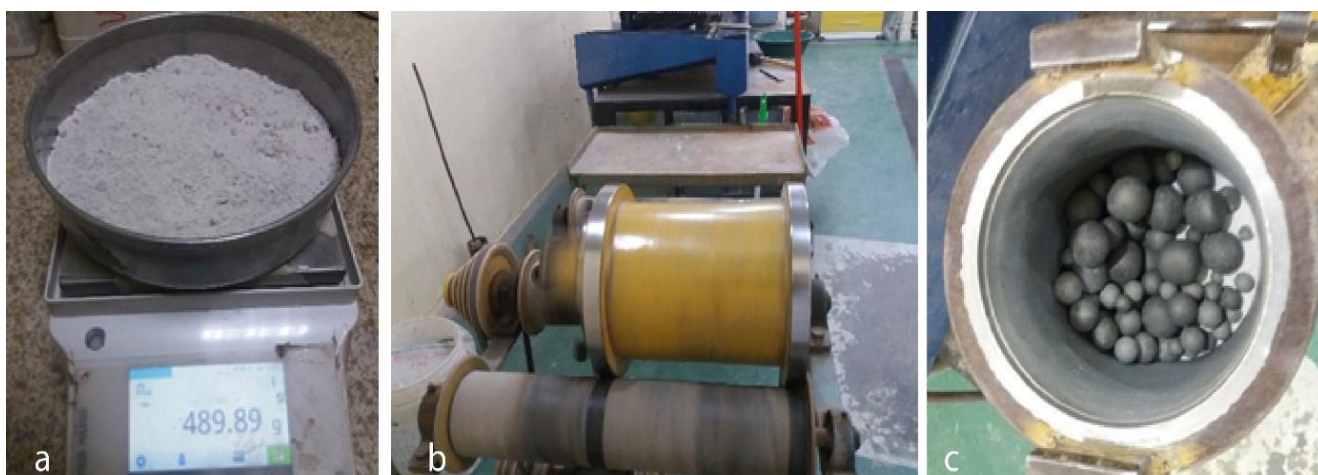


Fig. 13. Izquierda: Pesaje de material recuperado del berberecho. Centro y Derecha: Molino Giratorio.



Para el ensayo granulométrico se realizó un nuevo secado, para corroborar que el material no contenga agua en una mufla a temperaturas de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  durante 24 horas, se deja reposar por 60 minutos. Por medio de cuarteo se toma una cantidad de la muestra y se procede a pesar para llevar a los tamices (ASTM E-11-70) N° 200 de  $75\mu\text{m}$  y N° 325 de  $45\mu\text{m}$ . El contenido de humedad tuvo base en la norma ASTM C 566 bajo la fórmula (10):

$$P(\%) = \frac{W-D}{D} \times 100 \tag{10}$$

Donde: P indica el contenido de humedad de la muestra %, W la masa de la muestra original (g) y D la masa de la muestra (g).

TABLA XIX  
CALCINACIÓN DE LA MUESTRA RECUPERADA DEL BERBERECHO

Muestra	Peso Inicial A (g)	Peso del Crisol B (g)	Peso Muestra Calcinada C (g)	Peso B+C	Pérdida por Ignición (%)	Tiempo de Calcina ción (min)	Tempera tura ( $^\circ\text{C}$ )
M01	50.00	178.65	40.50	219.15	9.50	120.00	500.00
M02	50.00	181.63	36.57	218.20	13.43	180.00	500.00
M03	50.00	182.17	31.83	214.00	18.17	120.00	750.00
M04	50.00	175.35	29.95	205.30	20.05	180.00	750.00
M05	50.00	182.52	26.44	208.96	23.56	120.00	850.00
M06	50.00	175.45	23.28	198.73	26.72	180.00	850.00
M07	50.00	180.26	25.96	206.22	24.04	120.00	1000.00
M08	50.00	182.63	22.50	205.13	27.50	180.00	1000.00

N. Dosificaciones.

Se realizaron cinco combinaciones entre las muestras que obtuvieron mayor porcentaje de óxido de calcio (CaO) y una parte de CBCA. El criterio fue ir adicionando CaO desde un 30% hasta un 70%, y disminuir la CBCA desde el 70% hasta el 30%.

Antes de llevar las probetas a pruebas de resistencia, se las almacenó por medio de bolsas de plástico con cerrado hermético, procurando evitar el ingreso de aire para luego guardar en termos de poliestireno expandido (Tecnopor, Espumaflex) rellenos con carbón natural.

Una vez recuperado el CaO por medio de la calcinación, se inició la etapa de combinaciones con la ceniza de bagazo de caña de azúcar CBCA, resultando probetas de  $4\text{cm} \times 4\text{cm} \times 16\text{cm}$  con base en la norma INEN 198 que fueron sometidas a pruebas de resistencia a la abrasión y capilaridad y en dimensiones de  $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$  para resistencia a la compresión acorde norma INEN 488. El primer curado de estas probetas fue a las 48 horas pues se trata de un material sin cemento.

TABLA XX  
DOSIFICACIONES COMPUESTO CAO+CBCA

Especimen	CaO (g)	CBCA (g)	H <sub>2</sub> O (g)	Arena (g)	Fluidificante (2% CaO)
CAO30CBCA70	192.00	448.00	268.80	1760.00	12.80
CAO40CBCA60	256.00	384.00	268.80	1760.00	12.80
CAO50CBCA50	320.00	320.00	268.80	1760.00	12.80
CAO60CBCA40	384.00	256.00	268.80	1760.00	12.80
CAO70CBCA30	448.00	192.00	268.80	1760.00	12.80

O. Resistencia a la compresión (CaCO<sub>3</sub>)

Los especímenes tienen una dimensión de  $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 50\text{mm}$  ensayados a los 7, 14 y 28 días sometidos a compresión en el equipo Shimadzu Concrete 2000x, mediante una carga constante de 0.8 MPa/s. Fueron lijadas para eliminar posibles discontinuidades producidas por desmolde, luego se pesaron en una balanza de precisión y del mismo modo se procedió a medir todas las caras del espécimen.

TABLA XXI  
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MPA

Especimen	7 días	14 días	28 días
CAO30CBCA70	0.29	0.41	0.42
CAO40CBCA60	0.32	0.38	0.45
CAO50CBCA50	0.33	0.42	0.51
CAO60CBCA40	0.31	0.54	0.87
CAO70CBCA30	0.39	0.58	1.32

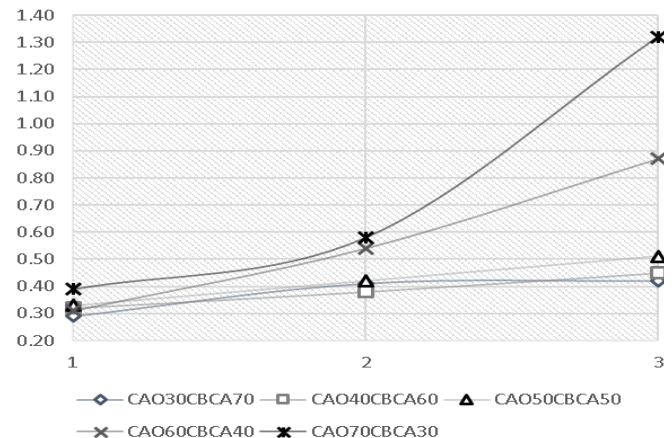


Fig. 14. Resultados Resistencia a la Compresión 7-21-28 días

P. Resistencia a la Abrasión (CaCO<sub>3</sub>)

Para esta prueba se procede acorde al literal 2.3.12 de la norma NTC 5324, donde se calcula la cantidad de material desprendido tras la fricción en un tiempo establecido. El ensayo se aplicó a dos probetas de  $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$  después de 7, 14 y 28 días. Se calcula el coeficiente de abrasión Ca (11):

$$Ca\left(\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}\right) = \frac{S}{m_0 - m_1} \tag{11}$$

TABLA XXII  
RESISTENCIA A LA ABRASIÓN (CM<sup>2</sup>/G) 7 DÍAS

Especimen	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Superficie de desgaste 16cmx3cm (cm <sup>2</sup> )	Tiempo (min)	Coef. Abrasión (cm <sup>2</sup> /g)	Media
CAO30CBCA70	458.26	367.70	48.00	60.00	0.53	0.51
	459.80	362.00	48.00	60.00	0.49	
CAO40CBCA60	442.75	370.00	48.00	60.00	0.66	0.63
	447.86	368.36	48.00	60.00	0.60	
CAO50CBCA50	462.15	427.16	48.00	60.00	1.37	1.17
	463.45	413.38	48.00	60.00	0.96	
CAO60CBCA40	460.23	434.59	48.00	60.00	1.87	1.62
	475.35	440.25	48.00	60.00	1.37	
CAO70CBCA30	482.77	479.58	48.00	60.00	1.50	1.17
	480.36	474.66	48.00	60.00	0.84	

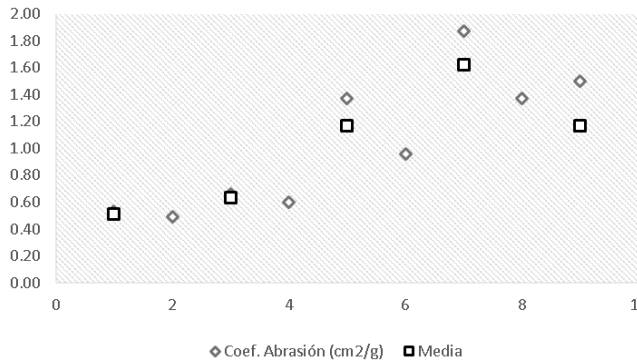


Fig. 15. Resultados Resistencia a la Abrasión 7 días.

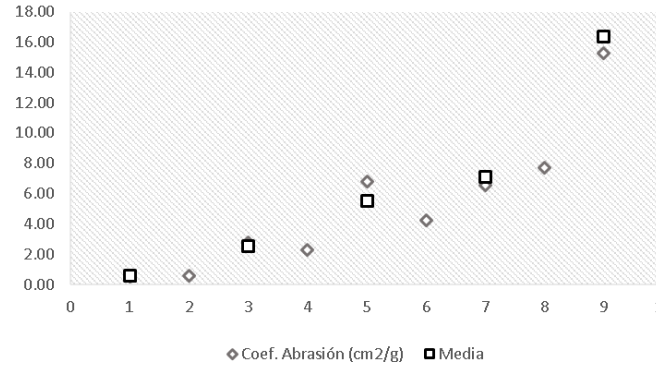


Fig. 17. Resultados Resistencia a la Abrasión 28 días.

TABLA XXIII

RESISTENCIA A LA ABRASIÓN (CM2/G) 14 DÍAS

Especimen	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Superficie de desgaste 16cmx3cm (cm <sup>2</sup> )	Tiempo (min)	Coef. Abrasión (cm <sup>2</sup> /g)	Media
CAO30CBCA70	457.52	399.14	48.00	60.00	0.82	0.89
	465.67	414.42	48.00	60.00	0.95	
CAO40CBCA60	449.70	403.82	48.00	60.00	1.37	1.48
	451.42	410.82	48.00	60.00	1.58	
CAO50CBCA50	485.00	450.57	48.00	60.00	6.46	6.18
	461.67	453.54	48.00	60.00	5.90	
CAO60CBCA40	456.48	447.85	48.00	60.00	5.56	6.73
	451.42	445.34	48.00	60.00	7.89	
CAO70CBCA30	468.20	460.20	48.00	60.00	6.62	8.99
	470.77	466.54	48.00	60.00	11.35	

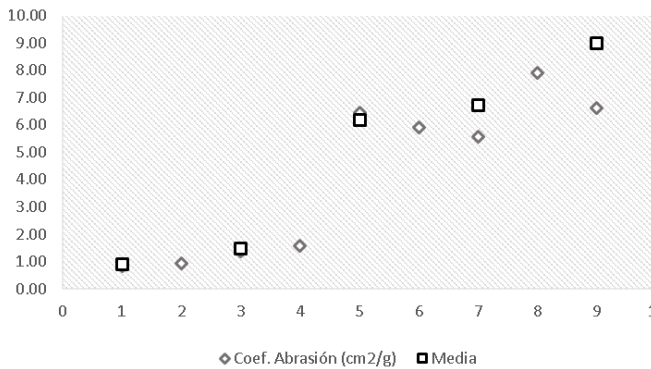


Fig. 16. Resultados Resistencia a la Abrasión 14 días.

TABLA XXIV

RESISTENCIA A LA ABRASIÓN (CM2/G) 28 DÍAS

Especimen	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Superficie de desgaste 16cmx3cm (cm <sup>2</sup> )	Tiempo (min)	Coef. Abrasión (cm <sup>2</sup> /g)	Media
CAO30CBCA70	429.07	353.72	48.00	60.00	0.54	0.56
	435.55	353.34	48.00	60.00	0.58	
CAO40CBCA60	432.62	415.15	48.00	60.00	2.75	2.52
	426.55	405.56	48.00	60.00	2.29	
CAO50CBCA50	435.26	428.22	48.00	60.00	6.82	5.52
	423.85	412.45	48.00	60.00	4.21	
CAO60CBCA40	442.12	434.80	48.00	60.00	6.56	7.13
	450.15	443.92	48.00	60.00	7.70	
CAO70CBCA30	428.97	425.82	48.00	60.00	15.24	16.35
	435.50	432.75	48.00	60.00	17.45	

Q. Absorción de Agua

Las probetas antes de llevar a medir se secaron en un horno por 24 horas a temperatura de 105°C, luego se dejaron reposar por 6 horas para posteriormente sumergirlas en agua durante 24 horas, luego se retiran y secan con una franela (12).

$$Absorción(\%) = \frac{M2-M1}{M1} \times 100 \tag{12}$$

TABLA XXV  
ABSORCIÓN DE AGUA (%) 7-14-28 DÍAS

Especimen	Absorción 7 días	Absorción 14 días	Absorción 28 días
CAO30CBCA70	12.15	10.80	10.42
CAO40CBCA60	10.94	9.43	9.07
CAO50CBCA50	8.58	8.04	6.99
CAO60CBCA40	8.42	7.88	6.66
CAO70CBCA30	7.82	6.34	4.35

III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A efecto de la primera quema y molienda en la pérdida por ignición. - Se observó que la muestra CBCA06 a menor temperatura de quema inicial 400 °C y mayor tiempo 60min las partículas fibrosas de carbono se queman en mayor porcentaje, logrando una pérdida por ignición del 0.63% que está por debajo del 6% NC 618-12a [8].

La activación en primera instancia se realizó a 700°C por 90 min, obteniendo resultados idóneos por causa de cristalización. La muestra CBCA06, calcinada a 500 °C en el horno (HH) por 60 minutos, obtuvo la mejor activación puzolánica 72.16%, por encima de la norma NC 618-12a (SiO<sub>2</sub>+ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ≥ 70 %), para clase F. Ver Tabla I. Se pone a consideración realizar una reproducción del ensayo para estudio de las condiciones tanto de especímenes como de laboratorio que permitió la activación.

Durante la primera calcinación hacia la activación puzolánica de las muestras de CBCA, se verificó la importancia de la segunda molienda, las muestras CBCA02, CBCA03 y CBCA04, se trituraron por 10 min obteniendo una actividad puzolánica máxima de 48.28%.

Debe considerarse que la activación puzolánica de la CBCA depende de la procedencia del bagazo de cada sector. Se determinó que entre más partículas finas obtenidas con pulverización se incluyan, tendrá mejor activación puzolánica debido a la eliminación de compuestos cristalinos en las partículas gruesas que posiblemente afecten su reactividad.

Otros resultados no despreciables se obtuvieron en la muestra CBCA03 (CBCA50-50) que se tamizo y pulverizo durante 15 minutos con una activación puzolánica de 57,52% y una pérdida de ignición de 4.88 % obteniendo una puzolana tipo C, según norma NC 618-12<sup>a</sup>, que puede ser utilizada con como material de refuerzo.

El espécimen CBCA02 (CBCA60-40), se recomienda su utilización en mampostería hasta dos niveles bajo especificación de la norma NTC 5324, concluyendo que el porcentaje agregado de 8% de CBCA y 12% de cemento, ejercen una mejor dureza y densidad al bloque, entre mayor densidad de compactación mejor resistencia.

Según los resultados la adición de 8% de CBCA en combinación con 12% de cal mejora significativamente las propiedades mecánicas y la durabilidad de los bloques de tierra comprimida.

El uso de la CBCA como estabilizante puede arrojar un material con un refuerzo puzolánico prometedor, ya que se hace uso de un residuo vegetal reduciendo la emisión del CO<sub>2</sub> al no usar el cemento portland.

En cuanto a la adición de CaCO<sub>3</sub> recuperado del berberecho, se obtuvo los mejores resultados en la combinación 70% de CaCO<sub>3</sub> y 30% de CBCA en probetas evaluadas a los 7, 14 y 28 días, que aumentaron su resistencia a la compresión –en este caso- mayor a los 0.5 MPa (norma ASTM C-270) para morteros de baja resistencia. Cabe recalcar que se observó al momento de ruptura de la probeta que ésta no estaba totalmente seca al interior. El resultado de la resistencia a la abrasión avala un mínimo desgaste.

#### REFERENCIAS

- Arif, E., Clark, M. W. and Lake, N. “Sugar cane bagasse ash from a high efficiency co-generation boiler: Applications in cement and mortar production,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 128, pp. 287–297, 2016.
- Astm, N. “El carbón y cenizas volantes crudo o calcinada puzolana natural para hormigón 1,” pp. 1–5, 2014.
- Bahurudeen, A., Marckson, A. V., Kishore, A. and Santhanam, M. “Development of sugarcane bagasse ash based Portland pozzolana cement and evaluation of compatibility with superplasticizers,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 68, pp. 465–475, 2014.
- de Soares, M. M., Garcia, D. C., Figueiredo, R. B., Aguilar, M. T. P., & Cetlin, P. R. (2016). Comparing the pozzolanic behavior of sugar cane bagasse ash to amorphous and crystalline SiO<sub>2</sub>. *Cement and Concrete Composites*, 71, 20-25.
- Gessa Perera, Ana; Sancha Dionisio, M<sup>a</sup> del Pilar. (2016). Alternativas de reducción de las emisiones de carbono en la producción de cemento. Propuesta de un modelo de evaluación. *Innovar*, [S.l.], v. 26, n. 60, p. 51-66.
- Lima, S. A., Varum, H., Sales, A. and Neto, V. F. “Analysis of the mechanical properties of compressed earth block masonry using the sugarcane bagasse ash,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 35, p. 829-837.
- Minke, G, *Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. 3rd ed. Editorial Fin de siglo. 2008.199.
- Sánchez. V.G, *Morteros de barro estabilizados con fibras de paja, esparto y sisal para su uso como revestimientos*. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, pp. 81. 2012.
- Setayesh Gar, P., Suresh, N. and Bindiganavile, V. “Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic admixture in concrete for resistance to sustained elevated temperatures,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 153, pp. 929–936, 2017.
- Vidal, D. et al., “Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: Estudio preliminar. Cane Bagasse Ash for Manufacture of Building Materials: Preliminary Study, Introducción,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 4, no. 48, pp. 641–646, 2014.



**Reconocimiento – NoComercial (by-nc):** Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.