

Bloques geopolimerizados empleando cenizas de bagazo de caña del Ingenio La Joya, Campeche

Ernesto García, Jorge Silva, Francisco Cutz, Carlos Buenfil, Manuel Reyes y Alberto Ramírez

Departamento de Ciencias de la Tierra

Instituto Tecnológico de Campeche

San Francisco de Campeche, Campeche, México

[ernesto.garcia, jorge.silva, francisco.cutz, carlos.buenfil, manuel.rodriguez]@itcampeche.edu.mx,
alberto_ches25@hotmail.com

Abstract— Existing Environmental conditions and sustainable natural resources use, gave rise to propose a formulation of geopolymer blocks, as a result of mixtures of diverse soils found in Campeche State. The mixture of sugarcane bagasse calcination ashes, diverse soils selected and an alkaline activator was made. These ashes are produced as a by-product of sugarcane bagasse used as a fuel. Two batches of geopolymer blocks was manufactured, twenty blocks for each one of them. The average resistance for compression for both batches was 25.072 Kg/cm². Although geopolymer blocks does not comply with the current regulations, NMX-C-404-ONNCCE-2005, these results could be considered as an acceptable standard in rural areas and it could be used to building houses in rural communities.

Keyword— *Geopolymers, ashes, blocks, sustainable use.*

Resumen— Las condiciones ambientales existentes y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, dio lugar a la formulación de bloques a base de geopolímeros, resultado de mezcla de diversos suelos existentes en el estado de Campeche. La mezcla se hizo con cenizas de bagazo de caña de azúcar, diversos suelos seleccionados y un activador alcalino. Estas cenizas se producen como un subproducto del bagazo de la caña utilizado como combustible. Se fabricaron dos lotes de geopolímeros, con veinte bloques cada uno de ellos. La resistencia promedio para la compresión fue de 25.072 Kg/cm². Aunque los bloques no cumplen con la normatividad actual, NMX-C-404-ONNCCE-2005, estos resultados podrían considerarse aceptables en áreas rurales y podrían utilizarse para la construcción de viviendas en las comunidades.

Palabras claves— *Geopolímeros, cenizas, bloques, aprovechamiento sustentable.*

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, en México se ha comenzado a revalorar el uso de procesos constructivos alternos, sustentables y naturales, más allá de la estética y la moda, como la utilización de bloques de suelo-cemento que por su proceso de elaboración contribuye al mejoramiento del medio ambiente al reducir la explotación de canteras para extraer el agregado que se requiere para la fabricación de los bloques tradicionales; sin embargo, el uso del cemento portland no es favorable dado que la energía térmica promedio que consume la industria cementera para producir una tonelada de Clinker, la materia prima procesada para producir cemento, es aproximadamente de 800,000 kilocalorías [1] razón por la que se consideren opciones para contar con alternativas de material cementante en la elaboración de mezclas. El uso de cenizas puzzolánicas son una opción por su alto contenido de sílice y aluminio, por lo que el presente trabajo pone a consideración el empleo de las cenizas del bagazo de caña de azúcar (CBCA), producto de la incineración del bagazo de caña de azúcar usado como combustible en las calderas de los ingenios azucareros reflejándose en un ahorro energético, ya que es casi nula la energía que se usa en la producción de cenizas por ser considerada un desperdicio. Con el uso de la CBCA como un cementante en la fabricación de bloques, como sustitución total o parcial del cemento, se estaría contribuyendo a la conservación del medio ambiente, obteniéndose beneficios tangibles en aspectos económicos, sociales y técnicos.

El Consejo Nacional de Organismos Estatales de Vivienda (CONOREVI), menciona que de acuerdo a la tasa de crecimiento del país, existirá en un periodo del 2010 al 2020 una necesidad de 775 mil viviendas

por año [2]; si tomamos como base la utilización de 2,000 piezas de block en promedio para la construcción de una vivienda de interés social (siendo las más demandadas por el sector de la población al cual va dirigido el alcance de este trabajo) equivaldría a 1,550 millones de piezas de block para la construcción de muros.

De acuerdo a datos del INEGI, en el año 2010 la distribución de la población rural y urbana en México se dividió en un 78% perteneciente a la zona urbana y un 22 % a la zona rural, de los cuales equivalen a 77.8 millones de habitantes y 22.2 millones de habitantes respectivamente [3]. Los habitantes de las zonas rurales se encuentran en pobreza y rezago habitacional (datos del banco mundial), surgiendo la necesidad de construir con materiales dignos una vivienda; éste sector de la población demanda el empleo en particular de muros hechos a base de bloques.

Por lo anterior, se planteó la hipótesis de darle un valor agregado a la ceniza que se obtiene directamente de las calderas del ingenio, ya que por su contenido de aluminosilicatos y en combinación de un activador alcalino daría como resultado un geopolímero, con características cementantes [4], viable de ser usado como reemplazo total en mezclas que demandan el empleo de un cemento portland dentro de su procedimientos constructivo, como lo es la técnica de suelo cemento.

Ante los antecedentes que han demostrado la viabilidad de usar éstas cenizas de manera exitosa en la elaboración de bloques, con una calcinación a temperaturas desde 600 hasta 1000 grados centígrados [5], el presente proyecto utiliza la ceniza en las condiciones térmicas a las que se expuso dentro de las calderas en temperaturas que oscilan entre los 400 y 600 grados centígrados; temperaturas que limitan el proceso de geopolimeración; sin embargo, se pretendió proporcionar una opción de uso para éstas cenizas en estas condiciones, sin proporcionarle ninguna calcinación adicional ya que se incrementaría el costo final de elaboración de los bloques.

II. MATERIALES Y METODOS

A. Área de Estudio

El proyecto se desarrolló en el Estado de Campeche, entidad enclavada en el sureste mexicano, se localiza entre los paralelos 17° 49' 01'' y 20° 51' 37'' de latitud norte y entre los meridianos 89° 05' 20'' y 92° 28' 21'' de longitud oeste, colinda al norte con el estado de Yucatán; al sur con Tabasco y la República de Guatemala; al este con Quintana Roo y Belice y al oeste con el Golfo de México y parte de Tabasco; goza de una posición estratégica en la parte occidental de la Península de Yucatán (Fig. 1).



Fig. 1. Estado de Campeche, México [6].

La ceniza proviene de las calderas del ingenio “Impulsora Azucarera del Trópico S.A. de C.V.

ubicado en La Joya, municipio de Champotón, Estado de Campeche, México y se localiza en el paralelo 19° 28' 55'' y en el meridiano 90° 40' 27'' donde se produce azúcar refinada, actualmente el rendimiento de campo es de 80 mil toneladas de caña por hectárea y cuenta con una superficie industrializada de 7,700 hectáreas (Fig. 2).

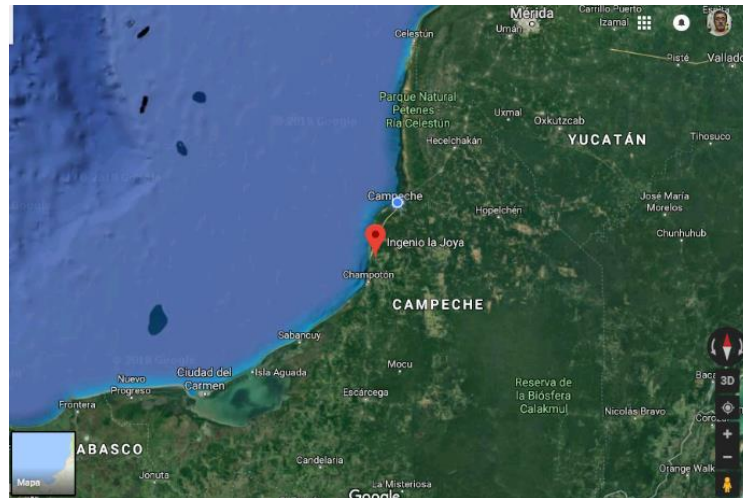


Fig. 2. Ubicación del Ingenio La Joya, Champotón [7].

B. Ceniza de bagazo de caña

Para la comunidad donde se encuentra ubicado el ingenio azucarero, la ceniza de bagazo de caña es solo un residuo contaminante y sin ningún uso específico, en ocasiones se usa como composta en terrenos cercanos.

El proceso de obtención de la ceniza inicia cuando el bagazo de caña procedente del proceso de molienda de la caña de azúcar es incinerado en el interior de las calderas obteniéndose un material con propiedades puzzolánicas, ricas en sílice y alúmina donde su estructura depende de la temperatura de combustión; sin embargo no posee propiedades cementantes por sí sola, precisa la presencia de activadores alcalinos que provocarán una reacción química para formar compuestos con propiedades cementantes (Fig. 3) [8].



Fig. 3. Proceso de generación de la ceniza.

La caracterización de la ceniza producto de la incineración en las calderas, de acuerdo con Zunza, Díaz, Tec, Mex y Garma [9], es presentada en las tablas 1 y 2; las mismas poseen las propiedades físicas y químicas requeridas para ser empleadas en un proceso de geopolimerización.

Según de acuerdo con el análisis granulométrico (Tabla 2), el mayor porcentaje retenido fue en las mallas No. 16 y No. 30 y el menor porcentaje en la malla No 50, con un módulo de finura de 0.88.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas de la ceniza.

Propiedades Físicas	
Densidad	2.1 gms/cm ³
Textura	Rugosa
Humedad	3.25%
Propiedades Químicas	
SiO ₂	67.77
Al ₂ O ₃	5.93
Fe ₂ O ₃	5.57
CaO	3.80
MgO	2.80
K ₂ O	3.87
Na ₂ O	1.07
Pérdida por ignición	7.73
Tamaño de partícula (µm)	59.20

Tabla 2. Análisis granulométrico de la ceniza.

Malla No.	Abertura mm	Peso suelo retenido Grs.	Por ciento retenido parcial %	Por ciento que pasa %
No. 4	4.75	-	-	100.00
8"	2.36	83	12.87	87.13
16"	1.18	109	16.90	70.23
30"	0.6	157.5	24.42	45.81
40"	0.425	78.5	12.17	33.64
50"	0.3	63.5	9.84	23.80
100"	0.149	75.5	11.71	12.09
200"	0.75	56	8.68	3.41
Recipiente	-	22	3.41	0.00
Total		645.00	100.00	

C. Material Inerte: Sascab

El sascab utilizado en la preparación de las diferentes mezclas fue extraído de San Agustín Ola, ubicado en el municipio de Campeche, paralelo 19° 42' 38" y meridiano 90° 31' 24" (Fig. 4).

Es un banco de materiales representativo del municipio de Campeche, Campeche, México y cuya caracterización física proporciona los parámetros señalados en las tablas 3, 4 y 5 así como en la figura 5:



Fig. 4. Ubicación de San Agustín Olá, Municipio de Campeche [10].

Tabla 3. Análisis granulométrico del material aglomerante (Sascab).

Malla No.	Abertura (mm)	Peso suelo retenido (g)	Por ciento retenido parcial	Por ciento que pasa	Malla No.	Abertura (mm)	Peso suelo retenido (g)	Por ciento retenido parcial	Por ciento que pasa
3"	71.10	-							
2"	50.80	-			10	2.000	94.50	9.45	83.10
1 1/2"	36.10	-			20	0.841	113.00	11.30	71.80
1"	25.40	-		100	40	0.420	112.50	11.25	60.55
3/4"	19.00	8.00	0.80	99.20	60	0.250	101.50	10.15	50.45
1/2"	12.70	7.00	0.70	98.50	100	0.149	100.00	10.00	40.40
3/8"	9.51	13.00	1.30	97.20	200	0.074	262.00	26.20	14.20
No. 4	4.76	47.00	4.70	92.50	Pasa 200		141.00	14.10	0.10
Pasa No. 4		925.00	92.50						
								Error	0.10= 0
Sumas		1000	100.00		Suma		924.50	92.45	

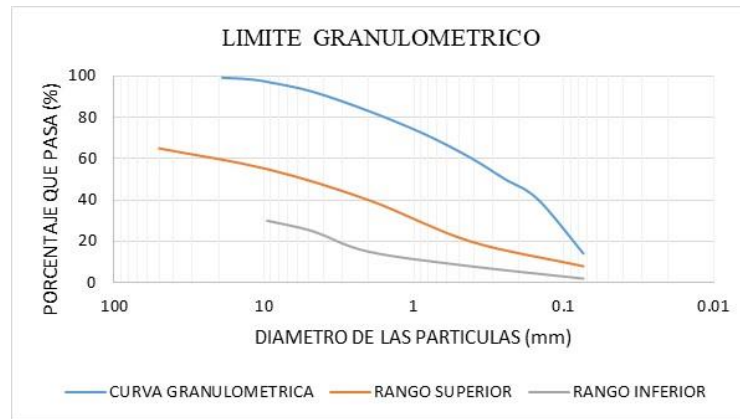


Fig. 5. Distribución granulométrica del material aglomerante (Sascab).

En la figura 5 se puede observar que la curva del estudio de la distribución granulométrica del sascab se sale de los límites, por lo tanto no cumple con los parámetros granulométricos.

Tabla 4. Límite líquido del material aglomerante (Sascab).

Limite liquido							
No. Tara	Peso tara	Tara + muestra húmeda	Tara + muestra seca	Peso del agua	Peso seco	Contenido de Humedad	No. de golpes
1	16	29	26.5	2.5	10.5	23.8	17
6	17.5	37.5	33	4.5	15.5	29.03	21
M-3	22	43	39	4	17	23.53	30
Promedio							

Tabla 5. Límite plástico del material aglomerante (Sascab).

Limite plástico						
No. Tara	Peso tara	Tara + muestra húmeda	Tara + muestra seca	Peso del agua	Peso seco	Contenido de humedad
vv-4	17.5	20.5	20	0.5	2.5	20
	18	21.7	21	0.6	2.7	21

$$\text{Limite liquido} = (23.53 + 29.03) / 2 = 26.28\%$$

$$\text{Limite plástico} = (20 + 21) / 2 = 20.5\%$$

$$\text{Índice de plasticidad} = (\text{limite liquido}) - (\text{limite plástico})$$

$$\text{Índice de plasticidad} = (26.28\%) - (20.5\%) = 5.78\%$$

Del resultado anterior podemos concluir que el material tiene como objeto una buena consistencia de plasticidad.

D. Activador alcalino: Hidróxido de Sodio (NaOH)

El hidróxido de sodio también conocido como soda cáustica o sosa cáustica, es un hidróxido cáustico usado en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel, tejidos y detergentes (Fig. 6). A nivel doméstico, son reconocidas sus utilidades para desbloquear tuberías de desagües y baños, entre otros.

La sosa cáustica se obtuvo de la Empresa Mar y Sol (productos químicos y limpieza en general). Los datos generales de dicha sustancia son provenientes de la empresa Mexichem Derivados, S.A. de C.V., Planta Coatzacoalcos. Utilizando este material industrial como activador alcalino en las pruebas a presentar, en las tablas 6 y 7 se muestran las características tanto físicas como químicas de la sosa cáustica.

A temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe la humedad del aire (hidroscópico). Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender materiales combustibles.



Fig. 6. Activador alcalino (hidróxido de sodio) en presentación de escamas.

Tabla 6. Caracterización del activador alcalino (hidróxido de sodio).

Identificación de la sustancia Química	
Nombre Químico	Hidroxido de Sodio
Nombre Comercial	Sosa Cáustica
Sinónimos	Sosa Grado Industrial, Lejía, Lejía Cáustica, Hidrato de Sodio, Pennvidral.
Fórmula Química y Molecular	NaOH
Grupo Químico	Base Fuerte
Peso Molecular	39.9971g/mol
Identificación	UN 1824, CAS 1310-73-2 EINEC 215-185-5, RTECS WB4900000

Tabla 7. Propiedades fisicoquímicas del activador alcalino (hidróxido de sodio).

Propiedades fisicoquímicas	
Estado físico	Líquido Viscoso
Color	Blanquecino
Olor	Sin olor
Temperatura de ebullición	145°C
Temperatura de cristalización	12°C
Densidad relativa (agua=1)	1.530 g/cc
Densidad del líquido	1.530 g/cc
Solubilidad en agua	100% soluble
Presión de vapor	6.3 mm Hg
Temperatura de composición	No aplica

E. Características del agua

El agua utilizada en la preparación de pastas y morteros es el agua de la red potable que suministra al Instituto Tecnológico de Campeche, el análisis promedio es el indicado en la tabla 8.

Tabla 8. Propiedades del Agua de mezclado

Cloruros (ppm)	Alcalinidad (ppm)	Sólidos disueltos totales (ppm)	Temperatura °C	pH
997	420	1450	28	7.18

F. Muestreo de cenizas de bagazo de caña

La ceniza se encuentra en los patios del ingenio siendo un desperdicio que causa problemas dentro de la planta, por lo que una vez que se acumula en la parte aledaña a las calderas es extraída a extensiones de terreno propiedad de la empresa, de modo que no interrumpan el flujo de actividades propias del ingenio. En una última instancia, las cenizas son donadas a quien lo necesite para algún uso particular como puede ser para composta.

Por lo anteriormente expuesto, la ceniza fue tomada del patio alojado dentro del ingenio y transportada hasta el laboratorio donde se le realizó, en primera instancia, la caracterización química y posteriormente ser empleada para la fabricación de bloques.

G. Muestreo del aglomerante

El aglomerante que se empleó para la elaboración de los bloques fue el material regional denominado sascab, obtenido directamente del banco de agregados, la extracción fue con el apoyo del personal de la comunidad de San Agustín Olá, Municipio de Campeche y todo el material que se requirió fue transportado hacia el laboratorio donde se le realizarían los ensayos correspondientes y ver su viabilidad de ser empleado en la técnica suelo cemento.

Determinación de la relación óptima geopolímero-aglomerante

El geopolímero se generó con una relación ceniza/solución hidróxido de sodio igual a 0.50 y a partir de éste parámetro se determinó cuál es la molaridad que mejora la respuesta a la propiedad física dureza tomando como referencia la escala de dureza de Mohs (Tabla 9).

Tabla 9. Escala de dureza de Mohs.

Dureza	Material
1	Talco (se puede rayar fácilmente con la uña)
2	Yeso (se puede rayar con la uña con más dificultad)
3	Calcita (se puede rayar con una moneda de cobre)
4	Fluorita (Se puede rayar con un cuchillo)
5	Apatita (Se puede rayar difícilmente con un cuchillo)
6	Feldespato (Se puede rayar con una cuchilla de acero)
7	Cuarzo (Raya el acero)
8	Topacio
9	Corindón (solo se raya mediante el diamante)
10	Diamante (el mineral más duro)

Se realizaron especímenes para poder buscar la relación óptima de molaridad, ensayándose molaridades de 8,10 y 12 (Fig. 7), combinándose con sascab, ceniza y agua en diversas proporciones (Tabla 10).

Tabla 10. Proporcionamiento de mezclas.

Geopolímero	Sascab	Agua	Grado de Dureza	<i>Observaciones</i>
<i>ml</i>	<i>ml</i>	<i>ml</i>	<i>Escala de Mohs</i>	
5.00	5.00	2.50	3	El geopolímero es a base de ceniza de bagazo de caña e hidroxido de sodio al 10 molar
5.00	10.00	3.75	2	
5.00	15.00	5.00	1	
5.00	25.00	8.75	1	
5.00	25.00	10.75	Disgregado	

Se realizaron un total de 22 mezclas precisándose como la molaridad óptima 10 molar con una consistencia plástica de un límite líquido, requerido para ser usado con la técnica suelo cemento, aproximado al 12%.



Fig. 7. Muestras para la determinación del proporcionamiento idóneo.

H. Elaboración y prueba de bloques

Para la realización del proyecto se consideraron bloques de 15x20x40 cm (Fig 8), siendo éstas las dimensiones comerciales con mayor demanda para la edificación de viviendas en el Sureste Mexicano así como cumplir las especificaciones acorde a la norma mexicana NMX-C-38-ONNCCE-2004 [11].

Se elaboraron dos lotes, de 20 bloques cada uno, con el proporcionamiento que mayor dureza obtuvo en la escala de Mohs, para ser evaluada su resistencia mecánica a la compresión (Fig. 9) así como el porcentaje de absorción que posee, empleándose para ello una prensa hidráulica con capacidad de 120 toneladas, una báscula granataria y un horno con capacidad para temperaturas por encima de los 100 grados centígrados.



Fig. 8. Elaboración de bloques.



Fig. 9. Ensayo de resistencia a la compresión.

El estudio se sustentó en la metodología planteada en la normatividad mexicana dirigida hacia el diseño y control de mamposterías [12] en general producidas por la “Industria de la Construcción - Concreto – Bloques, Ladrillos o Tabiques y Tabicónes” (NMX-C-404-ONNCCE-2005) en donde se especifica que la resistencia a la compresión simple debía de ser como mínimo para tabique de 75 Kg/cm^2 , en promedio de cinco piezas y de 60 Kg/cm^2 de forma individual.

El muestreo de las piezas a probar fue aleatorio, de acuerdo con lo que marca la norma habiéndose determinado elegir, 10 piezas de cada uno de los dos lotes para los ensayos de resistencia a la compresión. Para la determinación de agua absorbida, norma NMX-C-037-ONNCCE [13], los especímenes se secaron en el horno a temperatura entre 100°C y 110°C , siendo sacados periódicamente para ser pesados. El procedimiento se dio por concluido en el momento en que después de dos pesadas sucesivas, la diferencia en masa no fue mayor al 1%, lo que nos indicaba una presencia de agua que podría considerarse despreciable. Se registró el valor de la masa (M_s) y se tabuló como primer dato.

Posteriormente se registraron las masas de los especímenes ya secos y se sumergieron en agua a temperatura entre 17°C y 23°C , por un período de 24 horas; terminado este período se sacaron y se eliminó el agua superficial con un paño o papel absorbente, para volver a determinar su masa en estado saturado (M_{ss}).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Habiéndose determinado el proporcionamiento idóneo de la mezcla a usarse en la elaboración de los bloques, se obtuvieron los resultados de las resistencias a la compresión en los dos lotes de blocks de 20 piezas cada uno (Tablas 11 y 12).

Tabla 11. Resultados de ensayos a la compresión de bloques del lote No. 01.

<i>Edad de los especímenes al realizar la prueba: 15 días</i>			<i>Lote 1</i>
Especimen No.	Carga (Ton)	Área (cm²)	Resistencia (Kg/cm²)
1	15.16	617.675	24.55
2	11.13	630.03	17.67
3	13.54	611.50	22.14
4	17.68	623.85	28.34
5	15.86	611.50	25.94
6	19.76	636.21	31.06
7	18.16	630.03	28.83
8	16.39	617.68	26.54
9	12.52	630.03	19.87
10	16.19	642.38	25.21
Promedio			25.015

Tabla 12. Resultados de ensayos a la compresión de bloques del lote No. 02.

<i>Edad de los especímenes al realizar la prueba: 15 días</i>			<i>Lote 2</i>
Especimen (No.)	Carga (Ton)	Área (cm²)	Resistencia (Kg/cm²)
1	13.80	623.1	22.14
2	18.75	629.33	29.79
3	17.07	648.02	26.34
4	11.81	629.33	18.76
5	16.25	623.10	26.08
6	20.25	610.64	33.16
7	16.80	641.79	26.17
8	13.05	648.02	20.14
9	17.88	616.87	28.98
10	12.66	641.79	19.73
Promedio			25.129
Promedio Lotes		25.072 Kg/cm ²	

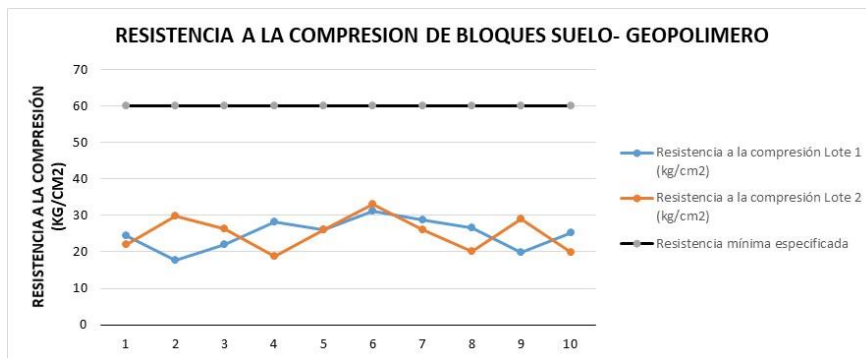


Fig. 10. Resistencia a la compresión de los bloques elaborados a base de suelo-geopolímero

El promedio de ambos lotes, 25.072 Kg/cm² (Fig. 10) dista de lo especificado en la norma NMX-C-404-ONNCCE-2005, 60 Kg/cm² de manera individual, lo cual puede inferirse por la temperatura a la cual se incinera el bagazo de caña en el interior de las calderas, misma que no es suficiente para que se generen los aluminosilicatos para optimizar el proceso de geopolimeración.

En la siguiente sección se exponen los resultados obtenidos al aplicar el ensaye de absorción de agua por capilaridad (Tablas 13 y 14). Se analiza lo señalado en la norma NMX-C-037-ONNCCE (2005) que especifica una absorción aceptable del 12% para bloques de concreto y de un 21% para tabiques de barro recocido (Fig. 11).

Tabla 13. Resultados de ensayos a la absorción de bloques del lote No. 01.

<i>Edad de los especímenes al realizar la prueba: 15 días</i>				<i>Lote 1</i>
Especimen (No.)	Masa seca (Kg)	Masa saturada (Kg)	Agua Absorbida (Kg)	Absorción (%)
1	3.126	3.599	0.473	15.12
2	4.064	4.899	0.835	20.54
3	2.563	2.895	0.332	12.96
4	3.282	3.827	0.545	16.59
5	2.688	3.054	0.365	13.59
6	3.032	3.497	0.465	15.33
7	2.938	3.375	0.436	14.85
8	2.688	3.054	0.365	13.59
9	3.470	4.078	0.609	17.54
10	2.813	3.213	0.400	14.22
Promedio				15.43

Tabla 14. Resultados de ensayos a la absorción de bloques del lote No. 02.

<i>Edad de los especímenes al realizar la prueba: 15 días</i>				<i>Lote 2</i>
Especimen (No.)	Masa seca (Kg)	Masa saturada (Kg)	Agua Absorbida (Kg)	Absorción (%)
1	3.126	3.643	0.517	16.54
2	3.220	3.793	0.573	17.80
3	3.470	4.136	0.666	19.19
4	3.657	4.397	0.740	20.22
5	2.563	2.927	0.363	14.17
6	3.376	4.006	0.630	18.67
7	3.689	4.441	0.752	20.40
8	3.063	3.582	0.519	16.94
9	2.751	3.169	0.418	15.21
10	3.751	4.529	0.778	20.74
Promedio				17.99
Promedio Lotes			16.71 Kg/cm ²	

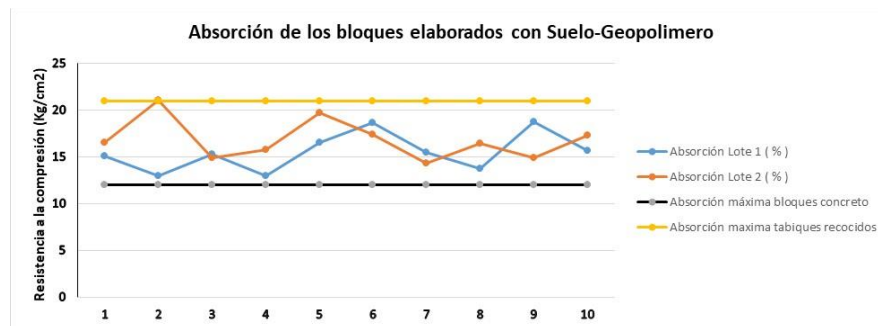


Fig. 11. Absorción de los bloques elaborados a base de suelo-geopolímero

Puede observarse que el promedio obtenido por ambos lotes es de 16.71% lo que puede interpretarse como un valor excedido con relación a los bloques de concreto, pero suficiente si se compara con los tabiques recocidos. Los bloques elaborados con la técnica suelo cemento se pueden comparar con los de tabique recocido por lo que serían aceptables desde ésta perspectiva.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proceso de geopolimeración se hace presente en la obtención de los bloques y aunque difieren de las especificaciones señaladas en las normas oficiales mexicanas, éstos pueden ser empleados en sectores cercanos a los ingenios ya que se aprovecharía la ceniza que se obtiene al incinerarse el bagazo de caña empleado como elemento comburente en las calderas. La actividad puzzolanica difiere de la obtenida en trabajos similares donde aplican una calcinación adicional a las cenizas lo que la incrementa de manera significativa al obtenerse resistencias de hasta 80 Kg/cm². Aunque es viable elegir otro activador

alcalino, en éste proyecto se empleó hidróxido de sodio ya que la relación costo/eficiencia del activador es más atractivo al considerar el costo de éste insumo respecto a los otros.

Las viviendas rurales pueden usar estos bloques considerando que, en promedio, las cargas impuestas oscilan a nivel de cadena de cimentación en 6,500 Kg/ml comparado con los 31,500 Kg/ml que soportan los bloques elaborados con las cenizas geopolimerizadas, lo que implicaría tener un factor de seguridad estructural de 4.80.

Se sugieren mayores estudios para evaluar la inclusión de otros activadores alcalinos sin modificar las condiciones en que se extraen las cenizas de las calderas para no incluir variables que propicien incrementos en los costos.

RECONOCIMIENTOS

Este proyecto fue realizado con el apoyo del Tecnológico Nacional de México a través del Apoyo a la Investigación Científica, Aplicada, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2016, clave 5710.16-P, con la administración del Instituto Tecnológico de Campeche así como la colaboración interinstitucional con la Facultad de Ciencias Químicas Biológicas de la Universidad Autónoma de Campeche.

REFERENCIAS

- [1] Pérez, C. C. C., Cala, E. L., Delgado, D. E. G., Cortiñas, E. R., Gutiérrez, J. L. P., & Rangel, D. F. Caracterización y clasificación de algunos residuales petrolizados para su posible utilización y aprovechamiento económico.
- [2] CONOREVI. (2011). La situación de la vivienda en México: síntesis de problemática y propuestas. México: Consejo Nacional de Organismos Estatales de Vivienda. Recuperado de: <http://www.conorevi.org.mx/pdf/Estad%C3%ADstica%20Vivienda%20en%20M%C3%A9xico.pdf>
- [3] CONAPO. (2007). Proyecciones de la Población de México 2005-2050. México: CONAPO.
- [4] Martínez, E. D. R., Bernabeu, J. P., & Balbuena, J. M. M. (2009). Eficiencia de activadores alcalinos basados en diferentes fuentes de sílice para la producción de sistemas geopoliméricos de ceniza volante. Trab. Investig, Universidad Politécnica de Valencia.
- [5] Tabares, J. O. C., Núñez, E. R., & Cotte, E. H. S. (2013). Materiales de construcción sostenibles. Comportamiento mecánico y durabilidad de morteros con cenizas volantes activadas alcalinamente. *Tecnura*, Vol 17, 79-89.
- [6] Britannica Online for Kids, (2012). Localización del Estado de Campeche. [Mapa] Consultado el día 18 de Abril del 2012 de la World Wide Web. Recuperado de: <http://kids.britannica.com/elementary/art-96147>.
- [7] Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), (1999). Mapa carretero del Estado de Campeche [Homepage]. Consultado el 19 de enero del 2010 de la World Wide Web: <http://www.mapacarreteras.org/e2540-campeche.html>.
- [8] Criado Sanz, M. (2007). Nuevos materiales cementantes basados en la activación alcalina de cenizas volantes: caracterización de geles NASH en función del contenido de sílice soluble: efecto del Na₂SO₄.
- [9] Zunza Careno, N.;Díaz Yam, C., Tec Ortiz, J., Mex Rafael y Garma Quen P. (2006). "Caracterización química y actividad puzzolánica de cenizas de bagazo de caña proveniente del Ingenio de la Joya, Municipio de Champotón, Campeche, México", Encuentro estudiantil de Investigaciones, FCQB de la Universidad Autónoma de Campeche.
- [10] Soy Mapas (2016). Mapa del Estado de Campeche. [Mapa] Consultado el día 12 de Noviembre del 2017 de la World Wide Web. Recuperado de: <http://soymapas.com/mapa-del-estado-de-campeche.html>.
- [11] NMX-C-038-ONNCCE (2005), "Industria de la construcción bloques, ladrillos o tabiques y tabicones-Determinacion de las dimensiones de ladrillos y bloques para la construccion", Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C

- [12] NMX-C-404-ONNCCE (2005), “Industria de la construcción bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural-Especificaciones y métodos de prueba”, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C.
- [13] NMX-C-037-ONNCCE (2005), “Industria de la construcción bloques, ladrillos o tabiques y tabicones-Determinación de la absorción de agua y absorción inicial de agua”, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C