

Influencia de la Ceniza de Madera de Pino en la Resistencia a la Compresión de un Concreto

Ing. María Isabel Nicolás Jiménez¹, Dr. Julio Cesar Cruz Arguello²,
Dr. Ysmael Verde Gómez³ y M.C. Alberto Yeladaqui Tello⁴

Resumen—Se analizó la ceniza de madera de pino mediante la técnica de difracción de rayos X; con el objeto de verificar la actividad puzolánica, lo cual evidenció la presencia de cristales de sílice y alúmina.

A partir de la caracterización de los materiales, se diseñaron las mezclas con el método del ACI y se ensayaron especímenes con sustitución de cemento por ceniza en 0%, 5%, 10% y 12%. A los 28 días de fraguado, los especímenes con un 5% de ceniza, alcanzaron una resistencia de 63% superior a la de diseño; los de 10% de ceniza, fue de 45%; y para 12% de ceniza, sólo el 36%.

Se verifica que esta ceniza puede sustituir al cemento hasta un 12%, sin comprometer la resistencia de diseño.

Palabras clave—Puzolana, Ceniza de madera, Cemento, Resistencia.

Introducción

La introducción de materiales sustitutos del cemento Portland como las puzolanas, brinda la posibilidad de utilizar productivamente un material de desecho que habitualmente es depositado al aire libre, como ocurre con las cenizas de madera de pino y reducir el consumo de cemento.

El cemento Portland es uno de los principales materiales de construcción, su producción implica un uso intensivo de materia prima (piedra caliza y arcilla) y energía, mientras que al mismo tiempo, libera grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmosfera, en la producción de 600 kilogramos de cemento aproximadamente 400 kg de dióxido de carbono se liberan [6].

En trabajos anteriores, se investigó la composición química de la ceniza de madera para ser utilizada como sustitución parcial del cemento por Abdullahi [1], quien determinó un total de óxidos ($Fe_2O_3 + Al_2O_3 + SiO_2$) de 62.14%. Esto es menor de 70% mínimo requerido para puzolana [4], lo cual reduce la actividad puzolánica de la ceniza de madera. Sin embargo, Elinwa EU, et al [8, 9, 20] detectaron cantidades significativas de sílice, lo que indica que puede ser utilizado como un sustituto del cemento. En cambio Elinwa, et al [8] evaluaron el índice de actividad puzolánica obteniendo un 75% y Augustine [5] obtuvo un 75.9%, lo que supera el mínimo de 70% fijado en la norma ASTM C 618 [4] para la clase N cenizas volantes y en cuestión de la resistencia a la compresión a los 28 días, un 20% de ceniza en la mezcla favoreció la mayor resistencia [7].

Chee Ban Cheah [6] concluyo en su estudio que el nivel óptimo de sustitución de cemento con ceniza de madera para alcanzar la máxima resistencia a la compresión es del 15% y Greene, et al [8, 10, 11, 20] muestran la viabilidad de la utilización de la ceniza como un material sustituto parcial del cemento hidráulico para la producción de concreto.

La ceniza de madera tiene una composición química que varía considerablemente dentro de las especies de árboles de los que proceda la biomasa de la madera, pero generalmente es rica en composición de cal y sílice [6], su calidad y cantidad va a depender de varios factores, los cuales son las temperaturas de combustión de la biomasa de madera, especies de madera de la que se deriva los combustibles de biomasa de madera y tipos de tecnología de combustión utilizados. Por lo tanto, la caracterización adecuada de la ceniza de madera es obligatoria antes de su aplicación como material constituyente en la producción de mezclas de concreto.

El objetivo general de este trabajo es demostrar que la ceniza de madera de pino, puede servir como sustitución parcial del cemento, en la producción de concreto.

¹Ing. María Isabel Nicolás Jiménez es alumna del Instituto Tecnológico de Chetumal, Chetumal Quintana Roo, México.
M08390145@itchetumal.edu.mx

²El Dr. Julio Cesar Cruz Arguello es Profesor del Instituto Tecnológico de Chetumal, Chetumal Quintana Roo, México.
jcca12345@hotmail.com

³ El Dr. Ysmael Verde Gómez es profesor del Instituto Tecnológico de Cancún, Cancún Quintana Roo, México.
ysmaelverde@yahoo.com

⁴El M.C. Alberto Yeladaqui Tello es Profesor del Instituto Tecnológico de Chetumal, Chetumal Quintana Roo, México.
ayeladaqui@itchetumal.edu.mx

Descripción del Método

A. Materiales

Los materiales utilizados en la elaboración de las probetas de concreto fueron: cemento Portland CPC, grava y arena de roca caliza triturada, agua y ceniza de madera de pino.

La ceniza de madera de pino fue obtenida a partir de la combustión de desechos de madera, posteriormente fue tamizada por medio de una tela de mosquetero para retirar algunos desechos de tamaño mayor, seguidamente se tamizó la ceniza por la malla No 200 por medio de un tamizador mecánico.

El análisis mineral de las muestras fue mediante la técnica de difracción de rayos X, con un equipo Bruker D8 Advance utilizando radiación CuK α a 40 kV y 40 mA, con una longitud de onda de 1.54060 Å y filtro de Niquel. Las mediciones fueron realizadas de 10° a 80° 2 θ con una velocidad de barrido de 2°/min en la escala 2 θ a temperatura ambiente. Se utilizaron la tarjetas de la ICDD (International Centre for Diffraction Data) para la identificación de las fases presentes en las muestras, con el objeto de identificar las fases cristalinas así como los tamaños promedios de partículas del material puzolánico mediante la ecuación de Debye-Scherrer, para lo cual se tomó una muestra de la ceniza. Así como también, se obtuvo la composición de los óxidos, para comprobar si cumple con lo requerido en la norma ASTM C618 [4] que caracteriza a una puzolana.

B. Característica de los materiales

La caracterización de los agregados fueron los siguientes: el tamaño máximo nominal de la grava fue de 3/4", con un módulo de finura de la arena de 2.88 [12, 14,18, 19]. La masa volumétrica [13] de la grava de 1,342.94 kg/m³. El porcentaje de humedad de la grava y arena fue de 7.5% y 7.3%. El porcentaje de absorción de agua de la grava fue de 4.3% y de la arena 1.42% [15, 16,17].

C. Diseño de mezclas de concreto

A partir de la caracterización de los materiales, se realizó el diseño de las mezclas de concreto de peso normal con base al método del ACI 211.1 [2] con una resistencia de diseño f'c de 250 kg/cm²; con sustitución de cemento en 0%, 5%, 10% y 12% por ceniza de madera de pino.

La elaboración y curado a los 3, 14 y 28 días de los especímenes, fue en el laboratorio con base a la norma NMX-C-159-ONNCCE y NMX-C-148-ONNCCE. Al término del curado, se evaluó la resistencia a la compresión axial simple de los especímenes elaborados con cada mezcla de concreto. Para ello se realizó el cabeceo con almohadillas de neopreno con base a la norma ASTM C1231, seguidamente se llevó a cabo la prueba de resistencia a la compresión con el equipo previamente calibrado Elvec, modelo F660-4C, con capacidad de 150,000 kg, con base a la norma NMX-C-083-ONNCCE.

Se evaluó el índice de actividad puzolánica de la ceniza de madera de pino con base a la norma ASTM C311 [3] que establece una comparativa entre la resistencia del concreto con adición y la del concreto sin adición.

Comentarios Finales

Resumen de resultados

A. Análisis de difracción de rayos X

El difractograma obtenido de la ceniza de madera de pino se presenta en la fig. 3.1, permite identificar la presencia de carbonato de calcio (CaCO₃), óxido de aluminio férrico (AlFe₂O₄), óxido de aluminio (Al₂O₃) y óxido de silicio (SiO₂). Los picos (2 θ = 39.4° y 48.5°) indican que la estructura de la ceniza tiene fases cristalinas de corundo (Al₂O₃) y cuarzo (SiO₂). Lo cual confirma de manera cualitativa que las cenizas contienen óxido de silicio y óxido de aluminio, en condiciones tales que no satisfacen las exigencias de la norma ASTM C618 para ceniza volante por la ausencia del óxido de hierro, como parte de los componentes que caracterizan a un material puzolánico. Sin embargo, actualmente no se encuentra normado el uso de cenizas orgánicas en el concreto.

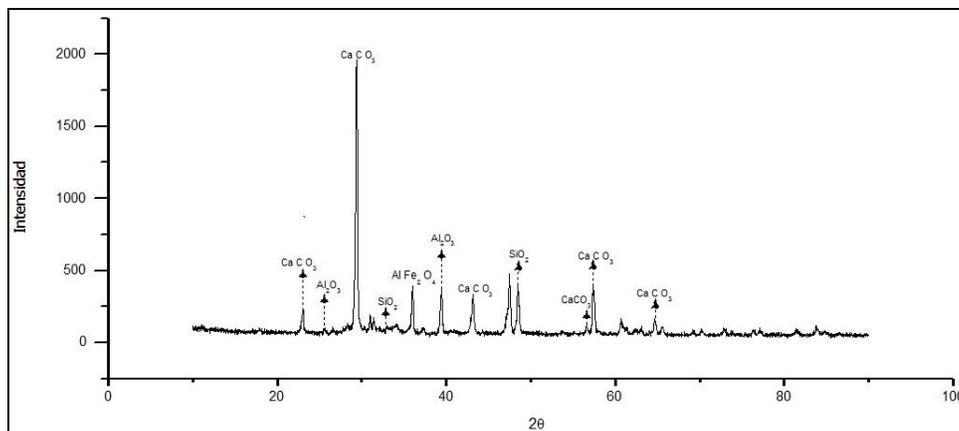


Fig. 1 Difracción de rayos X de la ceniza de madera de pino

Al término de la verificación de la actividad puzolánica en la ceniza de madera de pino, se obtuvo el tamaño promedio del grano cristalino mediante la ecuación de Debye-Scherrer:

$$d = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Donde:

d= tamaño promedio del grano cristalino o cristalita

k= es una constante que toma el valor de 0.9, (previamente calibrada en el equipo a partir de muestras patrón de tamaño de grano conocido)

λ= es la longitud de la onda de la radiación incidente

θ= es el ángulo de difracción para dicha intensidad

β= es la anchura del pico a la mitad de su intensidad máxima (en radianes)

El tamaño promedio de cristales de óxido de silicio (SiO₂) de 172.55 nm y óxido de aluminio (Al₂O₃) de 229.00 nm.

La calidad y cantidad de ceniza de madera va a depender de varios factores, como son: la temperatura, la especie de madera y los tipos de tecnología de combustión utilizados [6]. Lo cual se puede observar en este material.

B. Resistencia a la compresión

La tabla I indica los resultados obtenidos en la prueba de resistencia a la compresión de las diferentes mezclas de concreto elaboradas.

TABLA I
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tipos de mezclas	Resistencia en kg/cm ²		
	3 días	14 días	28 días
Diseño	250	250	250
Concreto patrón	341	414	423
Concreto con un 5% de ceniza	358	360	410
Concreto con un 10% de ceniza	296	338	363
Concreto con un 12% de ceniza	288	346	348

A los 28 días de fraguado, los especímenes elaborados con un 5% de ceniza, alcanzaron una resistencia a la compresión 63% superior a la de diseño; para los especímenes con 10% de ceniza fue de 45%; y para los

especímenes con 12% de ceniza sólo el 36%.

Comparados con la mezcla patrón, que a los 28 días registró un $f^c = 423.13 \text{ kg/cm}^2$, los especímenes alcanzaron el 97%, 86% y 82% de la resistencia a la compresión, para las mezclas con un 5%, 10% y 12% de ceniza respectivamente.

Se puede apreciar en la fig. 2, que conforme transcurren los días de hidratación, los especímenes van adquiriendo mayor resistencia, sin embargo, todas las resistencias alcanzaron valores superiores a la de diseño, la cual fue de 250 kg/cm^2 al transcurso de los 28 días.

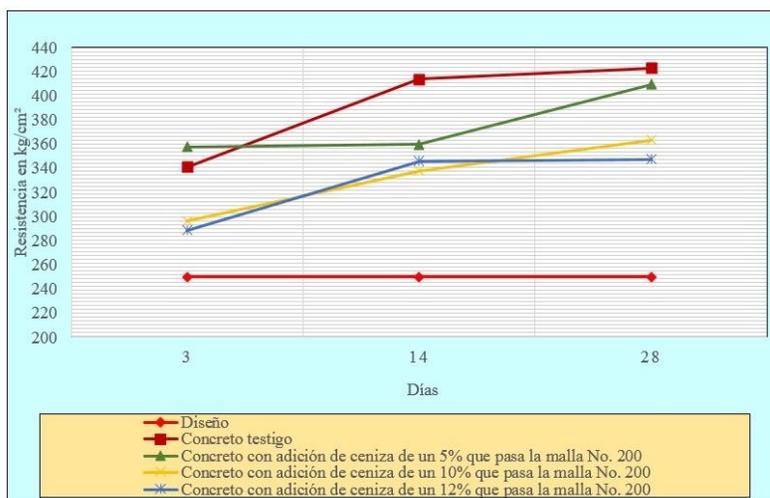


Fig. 2 Resistencia a la compresión en kg/cm^2

C. Índice de actividad puzolánica

Las mezclas de concreto preparadas para la evaluación del índice de actividad puzolánica (IAP), el cual se expresa como la relación entre la resistencia del concreto con adición y la del concreto sin adición, se realizaron siguiendo las indicaciones de la Norma ASTM C311, es decir se adicionó un 5% de la puzolana respecto al peso del cemento.

Los valores de IAP a 3, 14 y 28 días, presentados en la tabla II, confirman que la ceniza de madera de pino, si tiene propiedades para ser utilizada como adición puzolánica, ya que estos valores se encuentra por encima del 75%, valor límite definido en la Norma ASTM C311.

TABLA II
ÍNDICE DE ACTIVIDAD PUZOLÁNICA

Tipos de concretos	IAP= $R_{\text{concreto con adición}} / R_{\text{concreto sin adición}}$		
	3 días	14 días	28 días
Concreto testigo	-	-	-
Concreto con un 5% de ceniza	104.98	86.96	96.93
Concreto con un 10% de ceniza	86.80	81.64	85.82
Concreto con un 12% de ceniza	84.46	83.57	82.27

Se puede observar que los resultados que se muestran en la tabla II del índice de actividad puzolánica superan los obtenidos por Elinwa y Augustine que fueron de 75 y 75.9% [5,8].

Conclusiones

Mientras transcurren los días de hidratación las mezclas de concreto con adición de cenizas de madera de pino, van adquiriendo mayor resistencia, todas las mezclas alcanzaron valores superiores a la de diseño, la

cual fue de 250 kg/cm² al transcurso de los 28 días, pero menores a la del concreto testigo, lo cual indica que se puede llegar a sustituir hasta un 12% del cemento en un concreto sin afectar su resistencia a la compresión.

Mediante el análisis de XRD, se identificó de madera cualitativa que la ceniza de madera de pino contiene óxido de aluminio (Al₂O₃) en un promedio de cristales de 229.00 nm y óxido de silicio (SiO₂) de 172.55 nm, lo cual no cumple con las condiciones que indica la norma ASTM C618, que caracteriza a un material puzolánico. Cabe mencionar que esta norma es aplicable para cenizas volantes y en éste caso se está trabajando con ceniza orgánica, lo cual actualmente no se cuenta normado. Sin embargo, los concretos elaborados con los diferentes porcentajes de ceniza de madera de pino si cumplen con el índice de actividad puzolánica mínimo del 75% que establece la norma ASTM C311 comparado con la resistencia del concreto testigo.

Recomendaciones

Se propone realizar estudios cuantitativos de la composición química de la ceniza de madera de pino, para conocer si cumple con lo establecido en la norma ASTM C168 para las puzolanas, así como también, realizar análisis de la microestructura del concreto elaborado con ceniza y su porosidad.

Se recomienda tener un control de la temperatura de combustión de la biomasa de madera debido a que su calidad depende igual de este factor.

Referencias bibliográficas

- [1] Abdullahi M. Characteristics of wood ash/OPC concrete. Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies 2006; 8:9–16.
- [2] ACI.211.1. Proporciónamiento de mezclas. Primera edición. México: instituto mexicano del cemento y del concreto, 2004. Pág.: 21-28 isbn 968-464-142-7
- [3] ASTM C311. Standard test methods for sampling and testing fly ash or natural pozzolans for use in portland –cement concrete.
- [4] ASTM C618. Specifications for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as mineral admixture in concrete. In: Annual book of ASTM standards; 2008.
- [5] Augustine Uche Elinwa e Yukubu Abba Mahmood. "Ash from timber waste as cement replacement material"*Revista Elsevier Science*, 2002. Cement & Concrete Composites 24 (2002) 219–222. Dirección de internet: www.elsevier.com/locate/cemconcomp
- [6] Cheah Chee Ban, Mahyuddin Ramli. "The implementation of wood waste ash as a partial cement replacement material in the production of structural grade concrete and mortar: An overview", *Revista Elsevier Science*, 2011. Dirección de internet: www.elsevier.com/locate/resconrec
- [7] Demis, S., J.G. Tapali, and V.G. Papadakis. "An investigation of the effectiveness of the utilization of biomass ashes as pozzolanic material" *Construction and Building Materials* 15 Oct. 2014: 291+. Academic OneFile. Web. 22 Apr. 2015.
- [8] Elinwa EU, Ejeh SP. Effects of the incorporation of sawdust waste incineration fly ash in cement pastes and mortars. *J Asian Archit Build Eng* 2004; 3(1):1–7.
- [9] Elinwa AU, Mahmood YA. Ash from timber waste as cement replacement material. *Cem Concr Compos* 2002; 24:219–22.
- [10] Greene TW. Wood ash disposal and recycling source book. Prepared for the coalition of Northeast Governors by OMNI environmental sources. Beaverton, Oregon; 1988.
- [11] Naik TR, Kraus RN, Siddique R. CLSM containing mixtures of coal ash and a new pozzolanic material. *ACI Mater J* 2003; 100(3):208–15.
- [12] NMX C030. Building industry - aggregates – sampling.
- [13] NMX C073. Building industry - aggregate for concrete - volumetric mass -test method.
- [14] NMX C077. Building industry - aggregates for concrete -granulometric analysis -test method.
- [15] NMX C164. Building industry - aggregates - determination of the specific mass and water absorption of coarse aggregate.
- [16] NMX C65. Building industry - aggregates - determination of the specific mass and water absorption of fine aggregate test method.
- [17] NMX C166. Building industry - aggregates - water content by drying - test method.
- [18] NMX C170. Building industry - aggregates - reducing field samples of aggregates for testing size.
- [19] NMX C111. Building industry - aggregates for hydraulic concrete - specifications and test methods.
- [20] Udoeyo FF, Dashibil PU. Sawdust ash as concrete material. *J Mater Civil Eng* 2002; 14(2):173–6.