

ESTUDIO DE LA COMPATIBILIDAD DEL SISTEMA ADITIVOS QUÍMICOS-CEMENTO-CENIZA DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Rodrigo Isas Pedraza¹, Máximo Méndez¹, Daniel Anaya¹

¹ Laboratorio de Ensayo de Materiales, Dpto. de Construcciones y Obras Civiles, Facultad de Ciencias Exactas Tecnología, UNT. Avda Independencia 1800, SM de Tucumán, disapedraza@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

Las industrias tucumanas se han visto obligadas a cambiar la mirada frente a la gestión de los residuos que generan. Muchos de éstos pueden aprovecharse como reemplazo de materias primas naturales no renovables. Existen numerosos antecedentes en los que se incorporan el residuo industrial conformado por las cenizas del bagazo de la caña de azúcar (CBCA) como componentes de materiales de construcción para la elaboración de hormigones, morteros y estabilizados de suelo para bases y subbases de pavimentos y mampuestos, usando este residuo como adición mineral activa, que actúa con el cemento Portland y la cal. Por la característica de este residuo es necesario usar aditivos químicos plastificantes para garantizar la trabajabilidad de morteros y hormigones en estado fresco. Esto implica un estudio previo de la compatibilidad del aditivo con el sistema cemento-CBCA determinando la fluidez de pastas mediante el cono de Marsh. En este trabajo se usaron tres cenizas en estado natural y molidas con dos clases de cementos Portland y un aditivo químico. Los resultados permiten inferir las combinaciones de las dosis del aditivo en el sistema cemento-CBCA posibilitan el uso de este residuo.

Palabras claves: compatibilidad, cemento, residuo, aditivos, cenizas.

INTRODUCCIÓN

Los residuos agroindustriales como la ceniza del bagazo de la caña de azúcar (CBCA) y su deposición final, provocan un alto impacto ambiental. Este residuo es acopiado en terrenos al aire libre, algunas veces son mezclados con melaza y otras veces con agua que se vierte al río Salí causando serios problemas de contaminación.

Con la gestión de los residuos a nivel mundial, se busca reducirlos procurando el desarrollo de un modelo de consumo más sostenible que racionalice el uso de materias primas naturales no renovables, pretendiendo un reemplazo total o parcial por aquellos.

Estas CBCA, por su contenido de sílice en estado termodinámicamente inestable, pueden reaccionar con la cal libre, producto secundario de la hidratación del cemento, o con cal propiamente dicha produciendo una adición mineral activa.

A lo largo de estos años de investigación por parte del Laboratorio de Ensayos de Materiales de la UNT, se han logrado importantes avances en el conocimiento de las

propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad de nuevos materiales de construcción con este residuo [1, 2].

El uso de este residuo, como adición mineral en hormigones convencionales [3, 4], demostró la gran avidez por el agua que presentan las partículas de CBCA, por lo que fue necesario incorporar aditivos químicos (fluidificantes y superfluidificantes) para garantizar la plasticidad y consistencia de la mezcla de morteros y hormigones en su estado fresco, para mantener su trabajabilidad. La introducción de nuevos materiales componentes; entre los que se destacan la incorporación de adiciones minerales como parte del ligante y el uso de aditivo químico, que se hace necesario para optimizar los contenidos de cemento y la pasta [5], requiere el estudio de la compatibilidad entre estos tres elementos: aditivo – cemento – adición mineral.

Este trabajo pretende profundizar el estudio del empleo de aditivos químicos compatibles con el cemento – CBCA, que mejoren y amplíen las prestaciones de esta adición mineral, la cual se comporta como activa después de haber determinado su índice de puzolanicidad.

MATERIALES

En los últimos años, en donde la industria del azúcar es uno de los pilares de la economía de Tucumán, se ha intensificado el estudio de la CBCA aprovechando su propiedad como material puzolánico, para así poder usar este residuo, mejorar su calidad y emplearlo en la elaboración de los materiales de la construcción [1].

En términos generales, es factible la utilización de la CBCA de diferentes ingenios como adición en materiales de la construcción, siempre que se haga un análisis previo determinando sus características físicas y químicas, ya que cada muestra de ceniza varía según el lugar de extracción, calderas e incluso con respecto a la zafra en que sea extraída, puesto que el comportamiento del sistema se ve afectado por estas variables mencionadas [6].

En cementos con adiciones minerales, se ha comprobado que los aditivos no solo interaccionan con las partículas de cemento sino también con las adiciones minerales [5]. Consecuentemente, las propiedades fluidificantes de los aditivos sobre los cementos con adición dependen de la naturaleza de la adición mineral, obteniéndose los mayores descensos del esfuerzo umbral de cizalla.

En esta oportunidad se estudiaron 2 tipos de cementos distintos provenientes de la región NOA:

- Cemento pórtland puzolánico CPP40
- Cemento pórtland compuesto CPC40

En este trabajo se realizó el estudio de 3 cenizas provenientes de los siguientes ingenios:

- La Florida
- Trinidad
- Cruz Alta

Para lograr los niveles de fluidez óptimos y con gran versatilidad, se emplea un aditivo hiperplastificante de tipo policarboxilato que permita diferentes niveles de fluidez en función de las dosis empleadas. El aditivo fue provisto por el fabricante y elaborado en función de las muestras de CBCA provistas oportunamente, por lo que se trabaja con las dosis recomendadas de 2,5 a 4,0 % referidas al peso de cemento.

En Tabla 1 se presentan los resultados de caracterización física, densidad relativa según IRAM 1624 [7], densidad a granel según norma IRAM 1520 [8] y el contenido de material

orgánica que consiste en la pérdida por ignición que implica la destrucción climatizada de la materia orgánica presente en la CBCA. Se expone una masa conocida de ceniza durante 6 u 8 horas a una temperatura entre 400 a 500 °C y se pesa. El contenido de M.O. es el valor relativo entre la pérdida por ignición y el peso inicial de la muestra.

Los 3 tipos de cenizas fueron empleados bajo dos situaciones:

- Ceniza molida
- Ceniza sin moler

Esto se hizo para aumentar la puzolanidad del material.

Asimismo, se realizaron ensayos de difracción de rayos X y se determinó su índice de puzolanidad según norma IRAM 1654 [9, 10].

Tabla 1: Propiedades físicas de las cenizas.

Ingenio		La Florida		La Trinidad		Cruz Alta	
Estado		Sin Moler	Molida	Sin Moler	Molida	Sin Moler	Molida
Densidad relativa		1666		1923		2272	
Densidad a granel [kg/m ³]	Suelto	122	486	247	648	350	532
	Compactado	200	510	302	688	442	554
Módulo de Fineza		0,834	-	0,834	-	0,643	-
Índice de Fluidez [%]		41,83	28,85	58,65	27,40	65,87	31,25
Cargas de Rotura [MPa]	Flexión	4,40	7,00	5,70	7,60	5,60	6,80
	Compresión	17,00	43,60	20,70	40,90	20,40	41,10
Índice de Puzolanidad [%]		51,30	132,20	62,60	123,80	61,80	124,40
Contenido Orgánico [%]	Pasa tamiz N°16	28,47	-	19,60	-	16,98	-
	Pasa tamiz N°40	19,82	-	17,63	-	15,25	-
	Natural	28,94	-	20,08	-	16,74	-
Difractometría [Cualitativo]	Cuarzo	Contiene		Contiene		Contiene	
	Cristobalita	Contiene		Contiene		Contiene	
	Sílice Amorfa	Contiene - Alto		Contiene - Alto		Contiene - Alto	
	Feldespato Potásico	Contiene		Contiene		No contiene	

METODOLOGÍA

Una de las etapas más importantes en el diseño de hormigones, pasa por la elección de la mejor combinación ligante-aditivo que permita una gran reducción de agua sin afectar la trabajabilidad y el comportamiento reológico, posibilitando realizar las tareas de compactación y terminación sin provocar efectos colaterales negativos como demoras en el fraguado, segregación, etc. [6].

La introducción del aditivo implica un nuevo componente químico dentro de un complejo sistema de ligantes hidráulicos donde a su vez pueden existir otros agregados químicos (mejoradores de molienda, reductores o aceleradores de fraguado, incorporadores de aire, etc.). Si a esto se suma que las proporciones óptimas de cada aditivo, aún usado en forma aislada, dependen del ligante empleado, es evidente que las dosis recomendadas sólo constituyen una aproximación teórica.

Ya que la pasta de cemento tiene un peso determinante sobre la consistencia y fluidez del hormigón fresco, como así también sobre las propiedades mecánicas y la durabilidad, su optimización puede ser entonces un punto de partida para el diseño del hormigón. Ha sido probado que la trabajabilidad del hormigón se encuentra íntimamente relacionada con el volumen y la viscosidad de la pasta. A su vez, en la pasta se reúnen los componentes de mayor costo para la elaboración del hormigón y, por otro lado, sus características se vinculan en forma directa con algunas problemáticas del material, como la pérdida del asentamiento en el tiempo o los problemas de desarrollo excesivo de calor de hidratación. Un procedimiento rápido y sencillo para evaluar las características de cada tipo de pasta (agua+ligantes+aditivos) se basa en la medición del tiempo de pasaje a través de un cono de Marsh.

Los principales factores que gobiernan la trabajabilidad son el contenido de agua y la efectividad del aditivo. Para ello, se elaboraron pastas (1 dm^3) con relación $a/c=0,45$ y un porcentaje de reemplazo del 20 % de cemento por ceniza [4] midiendo en el cono de Marsh el tiempo de descarga de 200 ml de pasta elaborada. En la Figura 1 se presenta una imagen durante el ensayo.

Se generaron curvas que determinan las dosis óptimas de aditivos para cada sistema cemento-ceniza en ámbito de laboratorio.



Figura 1: Determinación de fluidez mediante el cono de Marsh.

Las dosis de aditivos empleadas fueron las necesarias para lograr distintos rangos de fluidez de los sistemas propuestos.

Las mediciones del tiempo de descarga se realizan en 2 instancias: al momento de elaborar la pasta (T0) y una vez transcurrido 60 minutos, habiendo dejado la pasta en reposo (T60)

RESULTADOS

Como se dijo más arriba, se utilizaron dos cementos con los tres residuos y se obtuvieron las curvas de tiempo de escurrimiento dosis de aditivo y los puntos de saturación. El aditivo superfluidificante, hecho a base de policarboxilato, no tiene un rango especificado de dosis mínimas y máximas porque es experimental. Según recomendaciones del asesor técnico y pruebas realizadas en este trabajo, los rangos debían rondar entre 2,5 y 4 % de la masa de cemento. Se estudió este rango, habiendo antes probado con un rango de dosis inferiores, llegándose a una pasta en donde la vena líquida no era continua y no se podían tomar buenas mediciones.

Resultados empleando cemento CPP

En las Figuras 2 a 7 se presentan las curvas resultantes y las dosis de aditivo para el cemento CPP40. El rango de dosis utilizado fue propuesto por el fabricante.

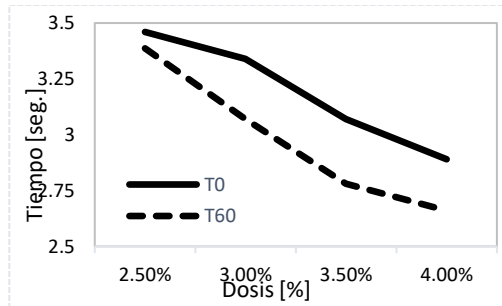


Figura 2: Tiempo de descarga en T0 y T60 con 0 % de CBCA (pasta cementicia CPP patrón).

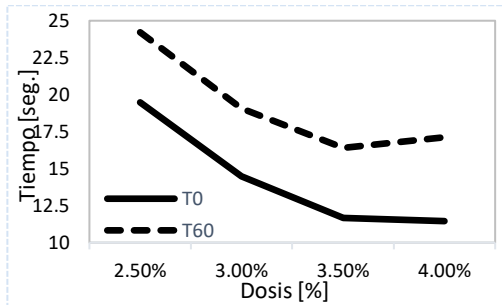


Figura 3: Tiempo de descarga en T0 y T60 con CBCA molido de Ingenio La Florida.

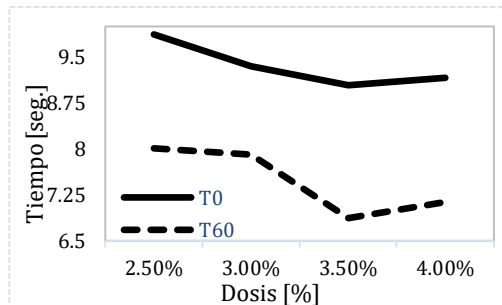


Figura 4: Tiempo de descarga en T0 y T60 con CBCA molido de Ingenio La Trinidad.

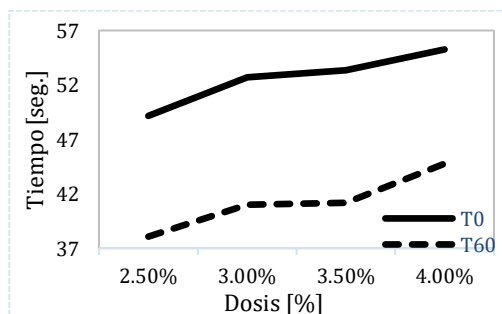


Figura 5: Tiempo de descarga en T0 y T60 con CBCA sin moler de Ingenio La Trinidad.

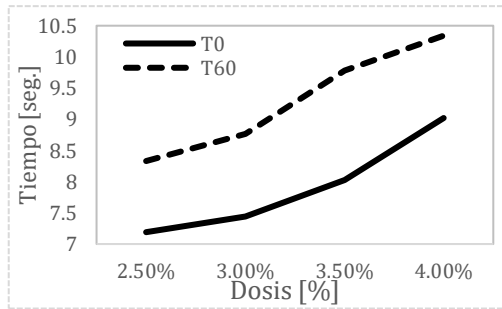


Figura 6: Tiempo de descarga en T0 y T60 con CBCA molida de Ingenio Cruz Alta.

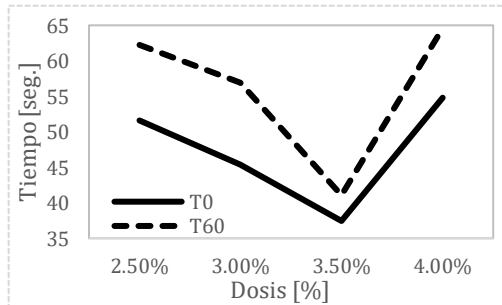


Figura 7: Tiempo de descarga en T0 y T60 con CBCA sin moler de Ingenio Cruz Alta.

Para el cemento CPP40 vemos que el punto de saturación sale del rango estudiado y con un tiempo de fluidez bajo. Sin embargo, el aditivo cuando se combina con el cemento y las cenizas molidas de La Florida, Trinidad y la de Cruz Alta sin moler, los puntos de saturación son similares, pero con tiempo de fluidez muchos mayores que la del cemento CPP solo.

Para la pasta de cemento con CBCA del Ingenio La Florida sin moler, se descartó dada la baja confiabilidad de los resultados obtenidos.

Para el tiempo T=60 min, en la pasta patrón y en la que tiene ceniza del ingenio La Trinidad, el aditivo actúa de manera más eficaz a los 60 minutos, es decir que las curvas de T0 están sobre las de T60. En cambio, para las pastas hechas con cenizas de Cruz Alta y La Florida, T0 es menor que T60, o sea que el aditivo trabaja mejor al inicio.

Resultados empleando cemento CPC

En las Figuras 8 a 12 se presentan las curvas resultantes y las dosis de aditivo para el cemento CPC40. El rango de dosis utilizado fue propuesto por el fabricante.

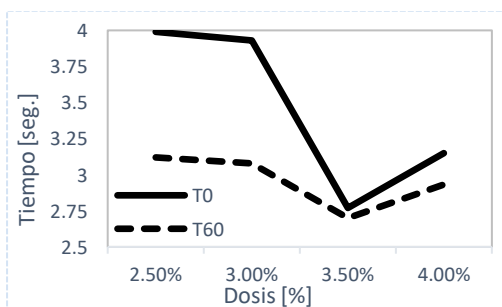


Figura 8: Tiempo de descarga en T0 y T60 con 0% de CBCA (pasta cementicia CPC patrón).

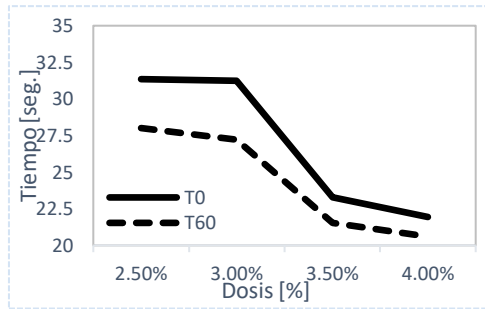


Figura 9: Tiempo de descarga en T0 y T60 con CBCA molida de Ingenio La Florida.

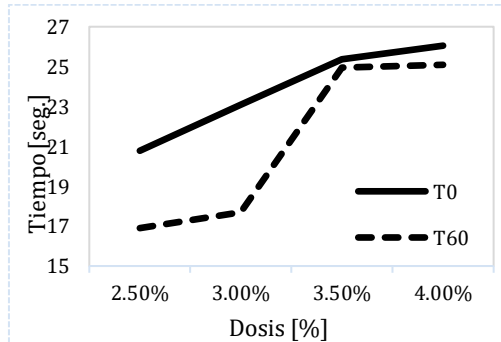


Figura 10: Tiempo de descarga en T0 y T60 con CBCA sin moler de Ingenio La Florida.

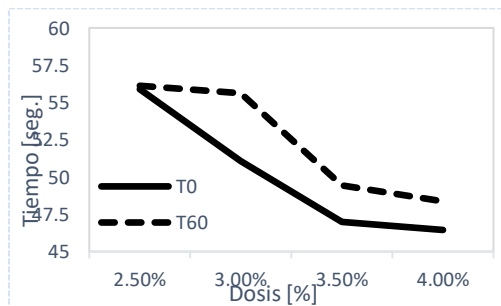


Figura 11: Tiempo de descarga en T0 y T60 con CBCA molida de Ingenio La Trinidad.

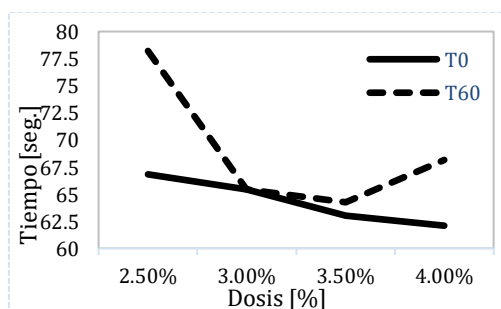


Figura 12: Tiempo de descarga en T0 y T60 con CBCA sin moler de Ingenio La Trinidad.

En las pastas realizada con el cemento CPC y sus combinaciones, se observa que todas las curvas están dentro del rango trabajado, los puntos de saturación son similares. El tiempo de fluidez de la pasta patrón es bajo, aumentando considerablemente cuando interviene el residuo.

A los 60 minutos, se observa que en la muestra patrón y en las muestras de cenizas molidas, el aditivo actúa y los tiempos de fluidez disminuyen. Lo contrario ocurre para las

pastas de CPC-CBCA sin moler, donde los tiempos de fluidez son mayores a los 60 minutos, es decir que el aditivo pierde efecto.

La pasta de cemento con CBCA molida del Ingenio Cruz Alta, se descartó dada la baja confiabilidad de los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES

- Las CBCA en estado molido de los ingenios La Florida, Cruz Alta y La Trinidad presentan características para ser consideradas como puzolanas ya que superan el IP establecido en la norma IRAM 1654
- El proceso de activación por molienda es sumamente necesario, tanto para lograr la puzolanidad que supere la exigida por norma, como para obtener la fluidez que se necesita en la pasta de CBCA-cemento-aditivo para lograr hormigones trabajables.
- Es totalmente factible la utilización de la CBCA con cemento y aditivo en hormigones, para reducir hasta un 20% el consumo del cemento Pórtland en la elaboración del hormigón, generando un beneficio económico y ambiental.
- La molienda también favorece la trabajabilidad y plasticidad de los morteros cuando se utiliza aditivo. Si bien, cuando se hacen pastas sin aditivo la consistencia sigue siendo seca, al incorporarlo, la diferencia entre los dos estados de ceniza es muy marcada, y se refleja en los tiempos que se obtuvieron al fluir a través del cono de Marsh.

REFERENCIAS

- [1] Isasmendi C, "Estudio del comportamiento de la CBCA en morteros", tesina de grado, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Univ. Nac. de Tucumán, Tucumán, Argentina, (2014), 122p.
- [2] Palazzi S, Gutierrez R, "Valoración de la CBCA como componente de un cemento romano", Proyecto Final, FACET, UNT, (2014).
- [3] Díaz Villaba M, Novotny M, Palazzi S, Anaya D, "Uso de la ceniza de bagazo de la caña de azúcar en hormigones convencionales", VII Congreso Internacional 21ª Reunión Técnica "Ing. Nélida del V. Castría", Salta, Argentina, (2016).
- [4] Ciotta G, Mattar A, "Comportamiento de la ceniza de bagazo de la caña de azúcar en hormigones convencionales con cementos filerizado y puzolánico", Tesis de grado, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, UNT, (2017).
- [5] Giaccio G, Zerbino R, "Elección del tipo y dosis de superfluidificante para el diseño de hormigones de alta performance", Revista Ciencia y Tecnología del Hormigón, N°8, (2000), 28-49.
- [6] González Billón AG, Las Heras AR, "Caracterización de las cenizas de bagazo de la caña de azúcar para ser usadas en materiales de la construcción", Tesis de grado, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, UNT, (2017).
- [7] Norma IRAM 1624, "Cemento. Método de ensayo para la determinación de la densidad", (2005).
- [8] Norma IRAM 1520, "Agregados finos. Métodos de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua", (2002).
- [9] Norma IRAM 1622, "Cemento pórtland. Determinación de resistencia mecánica", (2006).
- [10] Norma IRAM 1654, "Puzolanas y cenizas volantes silíceas. Parte 1 - Métodos de ensayo físicos", (2015).