

## CARACTERIZACIÓN DE LAS CENIZAS DE BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA SER USADAS EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

A. Gabriela González Billón<sup>1</sup>, Ana R. Las Heras<sup>1</sup>, H. Daniel Anaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Ensayo de Materiales, Dpto. de Construcciones y Obras Civiles, Facultad de Ciencias Exactas Tecnología, UNT. Avda independencia 1800, SM de Tucumán, danaya@herrera.unt.edu.ar

### RESUMEN

---

Se estudió del comportamiento de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar (CBCA), residuo de los ingenios tucumano, para ser usado como materiales de construcción y así reducir su alto impacto ambiental, consistió en evaluar sus propiedades físicas, químicas y la posibilidad de usarlas como adición mineral activa y considerar muchos de los factores que determinan el potencial de esta ceniza para reaccionar y formar compuestos cementicios, tales como su composición química, mineralógica, la estructura física de las partículas y el área superficial de dichos materiales y también su procedencia, lugar de extracción del residuo, variedad de caña procesada y tipo de caldera. El estudio se realizó en dos estados de la ceniza, natural y molidas a una finura parecida a la del cemento Pórtland. El estudio muestra que es factible la utilización de la CBCA mediante análisis previo de sus características físicas y químicas

**Palabras claves:** residuo, medio ambiente, CBCA, construcción, adición.

### INTRODUCCION

La ceniza del bagazo es un desecho de alta producción de la industria azucarera de los ingenios tucumanos que, hasta el momento, no se le dio una solución eficaz en su manejo que permita disminuir la contaminación ambiental.

La industria azucarera de la provincia de Tucumán produce aproximadamente 15.000.000 de toneladas de azúcar por año [1], de las cuales un 30 % es bagazo que se usa como combustible alternativo y es el responsable de generación de la ceniza de bagazo (CBCA) que representa un 4 % del bagazo. Actualmente la CBCA se mezcla con agua y se vierte al río Salí, causando serios problemas de contaminación.

En búsqueda de alternativas sustentables en el ámbito de la construcción se viene estudiando, en los últimos 10 años, en países como Brasil [2], Cuba [3], Colombia [4] y del sur asiático [5], Tailandia e India donde la industria del azúcar es uno de los pilares de sus economías, aprovechando su propiedad como material puzolánico, y de esta manera usar este residuo, mejorando su calidad y emplearlos en la elaboración de los materiales de la construcción, como otros residuos agroindustriales (cascarilla de arroz). Estos trabajos, que se realizaron y se siguen realizando, han permitido definir a la ceniza como una buena adición mineral activa para ser usada como material puzolánico en morteros y hormigones.

El Laboratorio de Ensayo de Materiales, con el Proyecto 26/E528 del CIUNT “Valoración de Residuos Industriales producidos en Tucumán como componentes de materiales “desde el 2013 se viene estudiando, para caracterizar y evaluar la aptitud de este residuo agroindustrial como adición material activa para ser usado como materiales de construcción y específicamente en reemplazo de un porcentaje del cemento pórtland.

En esta línea de investigación, se han estudiado diferentes morteros normalizados en el CIRSOC 501: Reglamento Argentino de Estructuras de Mampostería, para la ejecución de juntas horizontales y verticales entre los mampuestos e incluso en el 103- Parte III, para mampostería sismorresistente usando el residuo de CBCA como reemplazo de cemento en morteros cementicios y morteros de cal [6, 7], obteniéndose excelentes resultados. En el último trabajo se usó la CBCA para conformar un cemento romano (cal + puzolana) con propiedades similares a las del cemento Pórtland normal. Las cenizas que se usaron tuvieron la misma procedencia.

También se estudió en hormigones convencionales de uso estructural el empleo de la CBCA como adición mineral activa [8] con resultados aceptables. Otros trabajos fueron realizados [9] donde se evaluaron el comportamiento de cenizas como inhibidora de la reacción álcali-sílice en hormigones, como adición mineral activa en hormigones elaborados con distintos tipos de cementos e incluso como reemplazo de agregado fino. Una de las principales conclusiones fue que las cenizas de distintos ingenios tienen comportamientos diferentes, por lo que se hace necesario estudiar las características físicas, químicas y propiedades puzolánicas de la ceniza procedente de los distintos ingenios para intentar encontrar las similitudes o diferencias que afectan el comportamiento de los materiales de construcción en las que son usadas.

## **OBJETIVOS**

### **Generales**

Estudiar las propiedades físicas y el comportamiento puzolánico de las cenizas el bagazo de la caña de azúcar procedente de algunos ingenios azucareros tucumanos en dos estados, natural y molidas

### **Específicos**

- Caracterizar las CBCA en estado natural, a través, de ensayos físicos; comportamiento puzolánico con estudios físicos-mecánico con cemento y cal; químicos con el método de solubilidad de Frattini y difractométricos para evaluar su morfología.
- Caracteriza las CBCA molidas mediante un proceso industrializado, a través, de ensayos físicos; comportamiento puzolánico con estudios físicos-mecánico con cemento y cal; químicos con el método de solubilidad de Frattini y difractométricos para evaluar su morfología.
- Analizar cómo influye en la caracterización el proceso de molienda

## **RECOLECCION DE MATERIALES**

### **Ceniza de bagazo de caña de azúcar**

En base a los distintos proyectos de investigación que se fueron desarrollando en el laboratorio se pudo observar que existen diversos factores que influyen en el tipo y calidad de cenizas, por lo que se decidió realizar la caracterización de las cenizas de la mayor cantidad de los ingenios de la Provincia para poder determinar cuáles son aquellos

factores que inciden directamente en la calidad de las CBCA y así poder caracterizarla. Para esto, se contactó a diferentes entidades de cada uno de los ingenios de la provincia y se logró coordinar visitas a 7 de los 15 ingenios tucumanos: La Florida, Cruz Alta, San Juan, Concepción, Santa Rosa, Aguilares y Trinidad.

## **ANALISIS DE MUESTRAS**

### **Tratamiento previo a la caracterización de la CBCA**

Las muestras de CBCA fueron extraídas directamente de los depósitos de los diferentes ingenios. Estos depósitos se encuentran al aire libre y debido a que la extracción de la CBCA se realizó en una época de mucha lluvia, las muestra de CBCA tenían un alto contenido de humedad por lo que se determinó el contenido de humedad natural de cada una de las muestras y luego fue necesario realizarle un proceso de secado en estufa, de manera tal que todas las muestras de CBCA a utilizar se encontraran totalmente seca, sin contenido de humedad inicial.

### **Tamizado**

En estudios anteriores se utilizaron los tamices N°8 o N°16 para tamizar la muestra y no se le realizó ningún otro tipo de tratamiento a la CBCA. En este trabajo las muestras de ceniza de cada ingenio fueron secadas en estufa y luego se las pasó por el tamiz N°16 con el fin de descartar todo el material no deseado como las fibras de bagazo, suelo u otros desechos que pueda haberse mezclado con las cenizas en su deposición final. Durante el tamizado se destruyeron los terrones de ceniza para que de esta forma se obtuviera un material más homogéneo.

## **CARACTERIZACION DE LAS CBCA**

Para caracterizar la CBCA, se realizaron los siguientes ensayos:

- Determinación contenida de Humedad Natural
- Contenido de materia orgánica (M.O.)
- Granulometría
- Módulo de fineza
- Peso unitario
- Peso específico
- Índice de actividad puzolánica con cemento
- Índice de actividad puzolánica con Frattini – Ensayo químico

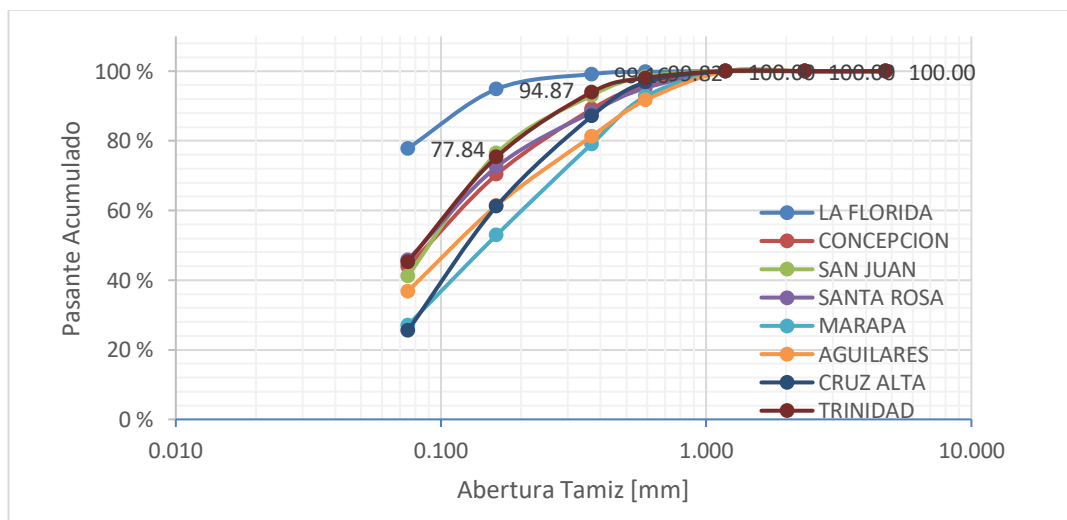
Se determinó la humedad natural en las cenizas entre el peso húmedo y el peso cuando se seca en estufa hasta peso constante y posteriormente se determinó el contenido de materia orgánica (M.O.), que consiste en la pérdida por ignición que implica la destrucción climatizada de la materia orgánica presente 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.

Para determinar si era necesario tamizar la ceniza por el tamiz N° 16, se realizó este ensayo en las dos situaciones, antes de tamizar y la ceniza tamizada. En función de los resultados se decide utilizar la ceniza que pasa el tamiz N° 16. En la Tabla 1 se muestra el resultado

**Tabla 1:** Contenido de materia orgánica.

Ingenio	Estado	Promedio de M.O. (%)
La Florida	S/T	5,33
	T#16	4,40
Concepción	S/T	28,48
	T#16	28,04
San Juan	S/T	18,78
	T#16	16,90
Santa Rosa	S/T	10,89
	T#16	12,93
Marapa	S/T	40,64
	T#16	32,68
Aguilares	S/T	29,70
	T#16	26,86
Cruz Alta	S/T	5,43
	T#16	3,55
Trinidad	T#16	6,28

Con la ceniza tamizada, que presenta un aspecto de arena fina, se procede a hacer un análisis granulométrico de cada ceniza y su distribución se muestra en la Figura 1, el gráfico de todas las curvas:



**Figura 1:** Curva Granulométrica de las muestras de CBCA según Ingenios.

Para completar la caracterización física de las cenizas, se determinaron el peso unitario en la condición de suelto (PUs) y compactado (PUc) [10] y la densidad absoluta [11]. Para la densidad absoluta de usó cómo líquido el kerosén para evitar mojar las partículas.

En la Tabla 2 se presenta el resultado del peso unitario suelto y compactado y el peso específico de las cenizas de los distintos ingenios y en las condiciones de cenizas en estado natural y cenizas molidas

**Tabla 2:** Pesos unitarios sueltos y compactados, peso específico de las cenizas.

Ingenios	Condición	Peso Unitario (g/cm <sup>3</sup> )		Peso Específico (Kg/m <sup>3</sup> )
		PU <sub>s</sub>	PU <sub>c</sub>	
La Florida	S/M	0,53	0,627	2326
	M	0,608	0,673	
Cruz Alta	S/M	0,453	0,535	2439
	M	0,623	0,658	
San Juan	S/M	0,223	0,279	2500
	M	0,577	0,628	
Santa Rosa	S/M	0,380	0,463	2069
	M	0,563	0,618	
Trinidad	S/M	0,440	0,590	2500
	M	0,677	0,743	
Concepción	S/M	0,208	0,268	1786
Marapa	S/M	0,123	0,163	2258
Aguilares	S/M	0,148	0,188	2105

### Activación de la ceniza de bagazo de caña de azúcar por molienda

Para evaluar la repuesta de la CBCA con la finura se sometió a un proceso de molienda en la fábrica de Loma Negra (Catamarca) donde se utilizó un molino de laboratorio, el cual genera una réplica de la curva granulométrica del cemento. Se determinó el tiempo de molienda más efectivo para dicho molino, que es aquel en el cual las cenizas ya no disminuían su tamaño de manera considerable. Y para la determinación de la curva granulométrica se utilizó un analizador de tamaño de partículas por difracción láser Mastersizer que proporciona distribuciones de tamaño de partículas rápidas y precisas, que mide gamas de tamaños de partículas desde nanométricas a milimétricas.

La tecnología de Difracción Láser calcula inicialmente una distribución basada en términos de volumen y define al parámetro D(4,3) como el Diámetro medio de la distribución considerada en volumen.

De los 7 Ingenios solo se molieron 5 de ellos: La Florida, San Juan, Santa Rosa, Cruz Alta y La Trinidad. En la tabla 4 se muestra el resultado de la finura que alcanza las cenizas molidas representadas como el por el parámetro D(4,3) como como el Diámetro medio en micrones ( $\mu$ ).

A las cenizas molidas se determinó el peso unitario (ver Tabla 2).

### EVALUACION DE LA REACTIVIDAD PUZOLANICA

Para el estudio de la puzolanidad se realizó el método químico del ensayo de Frattini [12] y el ensayo físico con cemento: Índice de actividad puzolánica (IP) con cemento pórtland (IRAM 1654) [15].

El método químico de Frattini representa, a través del coeficiente puzolánico (CP), la cantidad máxima de hidróxido de calcio con la que una puzolana se puede combinar. Los resultados de Frattini, se muestran en la Tabla 3

**Tabla 3:** Resultados ensayo Frattini.

Muestra	Estado	Alcalinidad	Oxido de Calcio	Coeficiente Puzolanico
		(mmol/dm3)	(mmol/dm3)	
La Florida	Sin Moler	52,6	4,7	0,491
	Molida	54,2	4,4	0,479
San Juan	Sin Moler	47,0	6,1	0,542
	Molida	49,0	5,7	0,538
Cruz Alta	Sin Moler	49,5	5,6	0,537
	Molida	54,6	4,8	0,528
Trinidad	Sin Moler	54,2	5,2	0,566
	Molida	58,4	4,5	0,542
Santa Rosa	Sin Moler	52,4	5,5	0,571
	Molida	53,6	4,4	0,472
Marapa	Sin Moler	48,2	5,6	0,516
Aguilares	Sin Moler	57,4	3,9	0,459
Concepción	Sin Moler	53,1	5,5	0,582

En la Tabla 4, se resumen por ingenio y en la condición sin moler (S/M) y molida (M), la integración de los resultados del índice de puzolanidad (IP), el coeficiente puzolánico (CP), la materia orgánica y el diámetro medio de las partículas de la ceniza molida

**Tabla 4:** Gráfica integral de parámetros de las CBCA.

Ingenios	Condic. C	Índice de puzolanidad (%)	Coeficiente puzolánico	M.O. (%)		Diámetro Medio ( $\mu$ )
				Tamiz.	s/tamiz.	
La Florida	S/M	52,06	0,491	5,33	4,40	-
	M	102,4	0,479	-	-	26,66
Cruz Alta	S/M	25,76	0,537	5,43	3,55	-
	M	95,30	0,528	-	-	30,24
San Juan	S/M	21,15	0,542	18,78	16,90	-
	M	67,53	0,538	-	-	37,95
Santa Rosa	S/M	53,38	0,571	12,93	10,86	-
	M	72,44	0,472	-	-	36,54
Trinidad	S/M	25,06	0,566	-	6,28	-
	M	99,08	0,542	-	-	31,26
Concepción	S/M	17,77	0,582	28,48	28,40	-
Marapa	S/M	9,70	0,516	40,64	32,68	-
Aguilares	S/M	9,79	0,459	29,70	26,86	-

El índice de puzolanidad está definido por la relación de resistencia entra el mortero patrón y la mezcla con la ceniza:

$$IP = \frac{R}{R_1} X 100$$

Donde:

Ip: índice de actividad puzolánica con cemento pórtland

R[MPa]: el promedio de la resistencia a la compresión de las probetas confeccionadas con las mezclas de ensayo

R1[MPa]: el promedio de la resistencia a la compresión de las probetas confeccionadas con la mezcla patrón

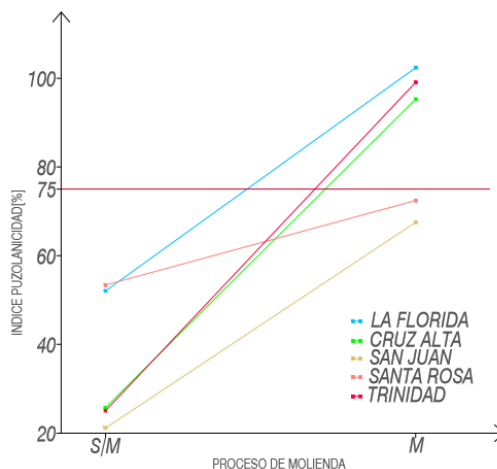
## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El ensayo de pérdida de materia orgánica por ignición fue realizado a muestras de ceniza de cada ingenio en dos etapas. Una muestra de ceniza natural y otra pasada por el tamiz número 16 para reducir sus impurezas. Comparando ambos resultados podemos observar que la diferencia es mínima, por lo que realizarle este tratamiento previo no representaría una mejora sustancial en los resultados obtenidos. Además, se puede observar en las cenizas molidas que aquellas que tienen un porcentaje de pérdida por ignición menor al 10 % son las que tuvieron un mejor comportamiento en cuanto a las resistencias mecánicas logradas, lo que se ve directamente reflejado en el Índice de Puzolanidad (IP). La norma IRAM 1654, establece que las adiciones cuyo IP sea mayor al 75 % se puede caracterizar como un material Puzolánico.

Por ejemplo, las cenizas provenientes del Ingenio La Florida, Cruz Alta y Trinidad, tienen un % M.O. del 4,40 %, 3,55 % y 6,28 %, cada una respectivamente y sus índices Puzolánicos son del 102,4 %, 95,30 % y 99,08 %.

En cuanto a las demás muestras de los otros ingenios superan el porcentaje de % M.O. del 10 % y sus IP se encuentran muy por debajo de este límite, como se puede observar en las gráficas.

Por otro lado, como se muestra en la Figura 2, podemos observar que el proceso de molienda tiene un efecto significativo en cuanto a las resistencias obtenidas antes y después de moler las cenizas, ya que se logra obtener una mayor superficie específica y como consecuencia se esperaría una mayor reactividad de estos materiales.



**Figura 2:** Grafica Variación del I.P. por activación física.

Por ejemplo, la ceniza del Ingenio Cruz Alta va de una resistencia de 10,61MPa a 39,26MP; análogamente en cuanto al IP pasa de 25,76 % a 95,30 % pasando de ser una ceniza sin cualidades para ser usada en materiales de construcción a ser considerada como una buena adición mineral activa.

## CONCLUSIONES

**Respecto al objetivo general:** Las CBCA molidas de los ingenios La Florida, Cruz Alta y Trinidad, presentan características físicas y químicas para ser considerado como una puzolana, coeficiente puzolánico  $CP < 1$  e IP mayor a 75 % se lo establece la norma IRAM 1656. Mientras que las CBCA de los demás ingenios, tanto en estado molido como en estado natural, si bien presentaron características químicas para ser consideradas

como puzolana natural, sus IP no superaron lo establecido en la norma IRAM 1651 para ser consideradas como tal.

**Respecto a los objetivos específicos:** Como se puede ver a lo largo de esta investigación, existen diferentes factores que determinan el potencial de los materiales para reaccionar y formar compuestos cementicios, la estructura física de las partículas y el área superficial de dichos materiales.

**Tamizado:** No es necesario ya que su disminución de % M.O. u otras mejoras no son representativas. Desde el punto de vista de las Industrias Cementeras, este tratamiento no sería realizado ya que genera un gasto de energía adicional, es decir, más caro.

**Ensayo característico:** En cuanto a todos los ensayos realizados para caracterizar las cenizas, se intentó determinar cuál sería uno de los factores determinantes para poder decir a priori si una ceniza puede o no ser utilizada como una adición mineral activa y se concluyó que uno de los más importantes es la determinación del contenido de materia orgánica por el método de pérdida por ignición. Sin embargo, esto no es suficiente para poder saber cómo será su comportamiento mecánico ni químico, pero sí para poder decir en una primera instancia si vale o no la pena continuar con su análisis.

Finalmente podemos concluir que 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.

## REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Desarrollo Productivo de la provincia de Tucumán, <http://www.producciontucuman.gob.ar>
- [2] Cordeiro GC, Toledo Filho RD, Tavares LM, Fairbairn EMR, "Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars", *Cement & Concrete Composites*, Vol. 30, (2008), 410-418.
- [3] Martirena F, "Una alternativa ambientalmente compatible para disminuir el consumo de aglomerantes de clínker de cemento Portland: el aglomerante cal-puzolana como adición mineral activa", resumen de tesis Doctoral, La Habana, Cuba, (2004).
- [4] Oliveira de Paula M, Ferreira Tinoco IF, de Souza Rodrigues C, Osorios Saraz JA, "Ceniza de bagazo de caña de azúcar como material de sustitución parcial del cemento portland", *Dyna*, revista de la Facultad de Minas, Univ. Nac. de Colombia, Vol. 77, Nº 163, (2010), 47-54.
- [5] Ganesan K, Rajagopal K, Thangavel K, "Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material", *Cement & Concrete Composites*, Vol. 29, (2007), 515-524.
- [6] Isasmendi C, Anaya D, Palazzi S, "Morteros para mampostería sismorresistentes con aglomerantes hidráulicos y cenizas de bagazo de la caña de azúcar", 23 Jornadas de Ingeniería Estructural, Buenos Aires, (2014).
- [7] Palazzi S, Gutierrez R, "Valoración de la CBCA como componente de un cemento romano", Proyecto Final, FACET, UNT, (2014).
- [8] 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).
- [9] Penida A, Palazzi S, Anaya D, "Influencia de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar en la RAS", VII Congreso Internacional, 21ª Reunión Técnica "Ing. Nélida del V. Castría", Salta, Argentina, (2016).
- [10] 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), 14p.
- [11] IRAM 1624, "Método de ensayo para la determinación de la densidad".
- [12] IRAM 1651, "Cementos. Método de ensayo de la puzolanidad para los cementos puzolánicos".
- [13] IRAM 1654, "Puzolanas y cenizas volantes silíceas. Parte 1 - Métodos de ensayo físicos", (2015).