

# Posibilidades del uso de la ceniza de bagazo de caña, como adición mineral al cemento Pórtland, en Uruguay

## **Ariel Ruchansky**

Arquitecto

Instituto de la Construcción, Facultad de Arquitectura,  
Universidad de la República

[ariel.ruchansky@gmail.com](mailto:ariel.ruchansky@gmail.com)

## **Ángela Borges Masuero**

Dra. Ingeniera Civil

Norie, Universidade Federal de Rio Grande do Sul

[angela.masuero@ufrgs.br](mailto:angela.masuero@ufrgs.br)

## **Gemma Rodríguez de Sensale**

Dra. Arquitecta

Instituto de la Construcción, Facultad de Arquitectura,  
Universidad de la República

[gemma@farq.edu.uy](mailto:gemma@farq.edu.uy)

farq | uy facultad de arquitectura  
universidad de la república  
uruguay



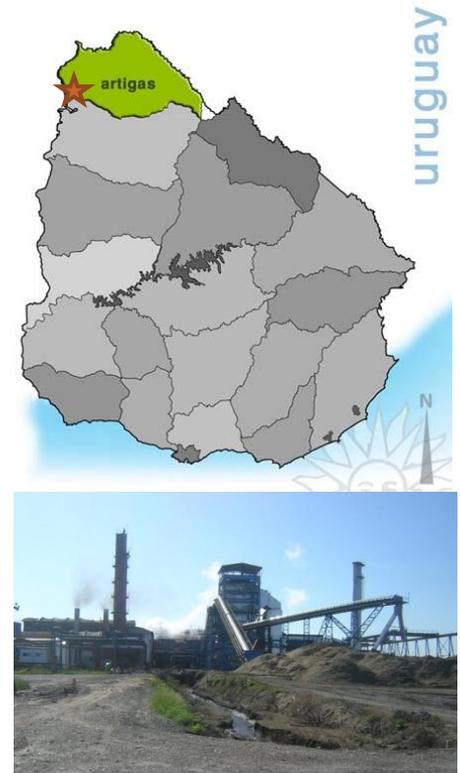
**ANII**



FSE\_2009\_1\_45

# Introducción

- Uno de los desafíos de nuestro tiempo es avanzar en la construcción de alternativas de desarrollo sostenible, que implica en el campo de los materiales de construcción, investigar en la búsqueda de reducir la huella ecológica de los insumos, el consumo energético y la generación de CO<sub>2</sub> de los procesos.
- El cemento Portland es uno de los principales materiales de construcción, siendo responsable, según el IPCC (2007) del 7% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo.
- La Ceniza de Bagazo de Caña (CBC) está compuesta mayoritariamente por dióxido de sílice, la cual dependiendo de las condiciones de quema y granulometría, puede desarrollar actividad puzolánica, lo que puede generar mejoras en el desempeño de morteros y hormigones.
- El objetivo general de este trabajo es demostrar que a partir de la ceniza de bagazo de caña (CBC), residual de la quema de biomasa para producir energía eléctrica, es posible obtener una adición mineral activa, que pueda servir como sustitución parcial del clinker, en la producción del Cemento Portland y determinar cuáles son los porcentajes óptimos de sustitución, para su uso como Cemento Portland Puzolánico (CPP).



# Índice

- Introducción
- Materiales
- CBC “in natura”
- CBC modificada
- Caracterización del CPP
- Presentación de resultados, CPP
- Conclusiones

# Materiales

- Cemento Portland. CPN 40 Ancap - Paysandú
- Agregado fino. Arena Normal de origen francés ISO 679:2009
- Ceniza de bagazo de caña (CBC), “in natura”.
- Ceniza de bagazo de caña (CBC), mejorada.

# CBC "in natura"



Bagazo



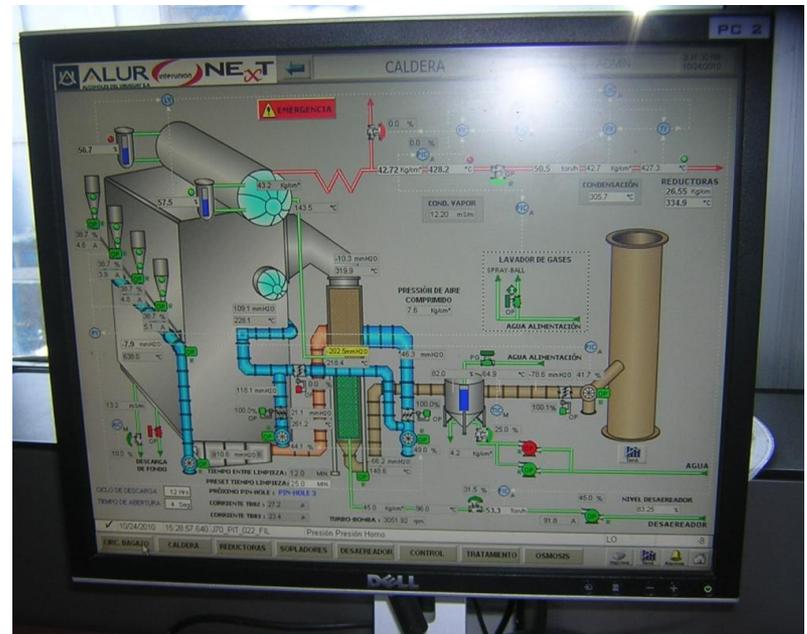
CBC



Caldera

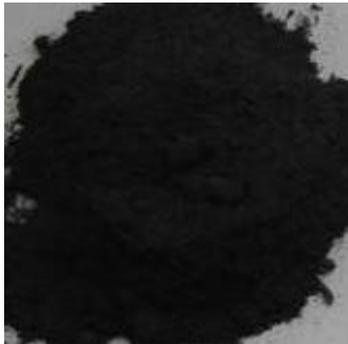


Canal de cenizas

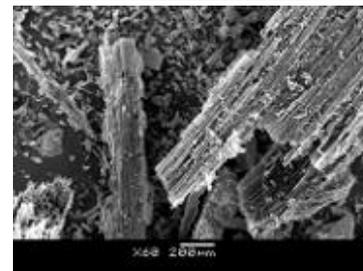
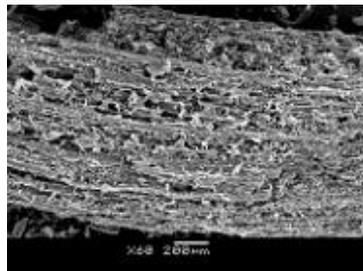
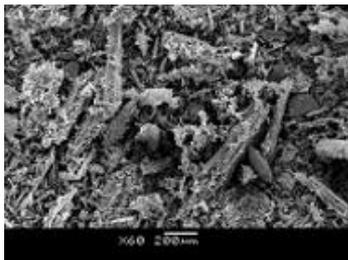


Panel de control caldera

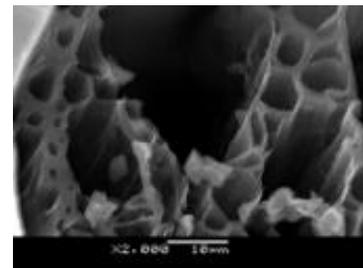
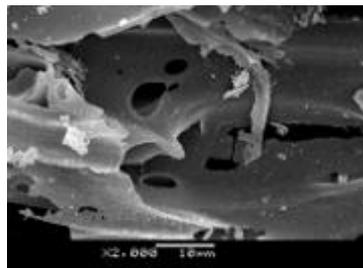
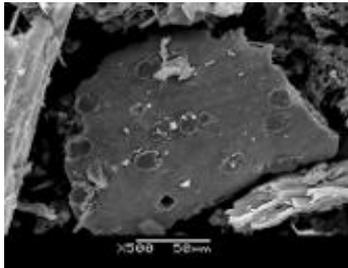
# CBC “in natura”



observación



x 60



x 2000

M1

M2

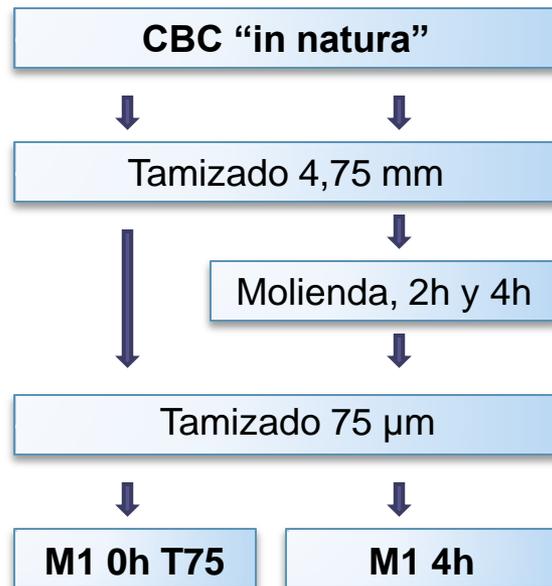
M3

# Consideraciones sobre la CBC “in natura”

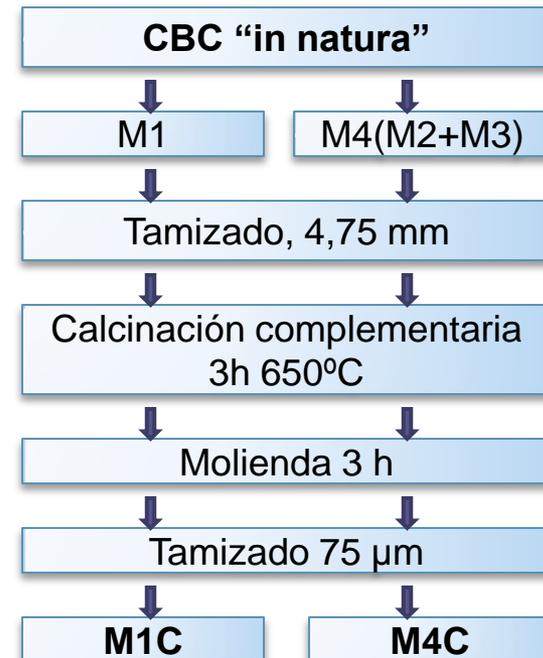
- Los valores de pérdida al fuego son superiores a los requeridos por norma, pero el alto contenido de sílice en su composición química, hace que las muestras se encuentren por encima de los valores mínimos normativos, respecto al porcentaje de sílice aluminio requerido
- La granulometría media de las muestras, se encuentra por encima de la granulometría media del cemento Portland, por lo que es necesario un proceso de mejoramiento de las cenizas para su utilización como material puzolánico

# Mejoramiento de la CBC

Mejora de la CBC "in natura", por tamizado y molienda



Mejora de la CBC "in natura", por calcinación complementaria y molienda



# CBC Modificada

- A las CBC residuales “in natura” se le aplicaron tratamientos de mejoramiento, mediante calcinación complementaria controlada y molienda, obteniendo las cenizas, CBC M1C y CBC M4C, que cumplen con todos los requerimientos de la norma UNIT-1044:99

## Caracterización de la CBC mejorada por calcinación y molienda

### Ensayos Químicos

FRX	Requisitos Unit 1044:99	M1C	M4C
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % mín.	34	85,5	82,3
SO <sub>3</sub> % máx.	5	1,4 ± 0,2	0,77 ± 0,05
Tenor de humedad % máx.	3	--	--
Pérdida al fuego % máx.	6	2,2 ± 0,1	2,3 ± 0,1
Álcalis disponibles como Na <sub>2</sub> O % máx.	1,5	ND	ND

### Ensayos Físicos

Granulometría Láser	en µm	M1C	M4C
	10%	1,64	1,57
	50%	9,32	9,03
	90%	28,62	26,62
	MEDIO	12,73	11,87
Masa Específica	m (g/cm <sup>3</sup> )	M1C	M4C
		2,18	2,17
Finura BET	S (m <sup>2</sup> /g)	M1C	M4C
		8.531	11.247
IAP	%	M1C	M4C
		83.79	91.22



CBC M1C

CBC M4C

# Caracterización de Cementos Portland Puzolánicos (CPP)

- La caracterización se realiza siguiendo los requerimientos planteados en la norma UNIT 20:2003 para Cemento Portland Puzolánico (CPP), con 5%, 15% y 25%, de sustitución de cemento por CBC.
- Para la elaboración de las muestras se utilizaron CPN 40, CBC M1C y M4C.

	Ensayo	Detalle	Método	Equipo	Lugar
<b>Ensayos de requisitos UNIT 20:2003, para CPP</b>	Constancia de volumen	Patrón, M1C, M4C, con sustitución del 5, 15 y 25%	Expansión autoclave, en UNIT -514:2009	Autoclave, sonda Tetmajer	LabIC- Farq
	Tiempo de fraguado	Patrón, M1C, M4C, con sustitución del 5, 15 y 25%	Determinación de tiempo inicial y final, UNIT-NM 65:1998	Vicatmatic	LabIC- Farq
	Resistencia a la compresión	Patrón, M1C, M4C, con sustitución del 5, 15 y 25%	Rotura a los 2 y 28 días, para CP 40, UNIT 525:2001	Mezcladora, moldes, compactadora y prensa	Laboratorio Materiales – Fing -UdelaR

# Presentación de los resultados, CPP

- Criterio selección muestras y tenor de sustitución
- Consistencia normal

Consistencia Normal		Padrón	Sustitución M1C				Sustitución M4C		
			0%	5%	15%	25%	5%	15%	25%
Agua	g	140,00	147,30	157,00	168,30	151,50	162,00	169,00	
Penetración	mm	7	6,5	6,5	6,5	5,5	6,5	6,5	

# Presentación de los resultados, CPP

- Expansión en autoclave

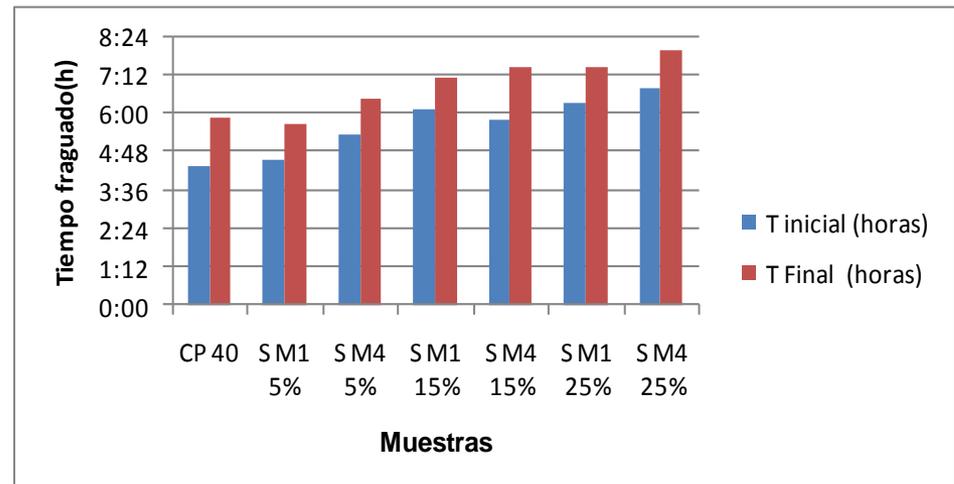
Expansión con sustitución CBC M1C			
Edad 48 h	Cambio de longitud %		Requerido según norma
Probeta		Promedio	
CP A	0,078	<b>0,082</b>	≤0,90
CP B	0,086		
M1 5% A	0,084	<b>0,087</b>	
M1 5% B	0,090		
M1 15% A	0,037	<b>0,051</b>	
M1 15% B	0,064		
M1 25% A	0,022	<b>0,024</b>	
M1 25% B	0,026		

Expansión con sustitución CBC M4C			
Edad 48 h	Cambio de longitud %		Requerido según norma
Probeta		Promedio	
CP A	0,148	<b>0,149</b>	≤0,90
CP B	0,151		
M4 5% A	0,138	<b>0,138</b>	
M4 5% B	0,138		
M4 15% A	0,099	<b>0,099</b>	
M4 15% B	0,100		
M4 25% A	0,038	<b>0,089</b>	
M4 25% B	0,134		

# Presentación de los resultados, CPP

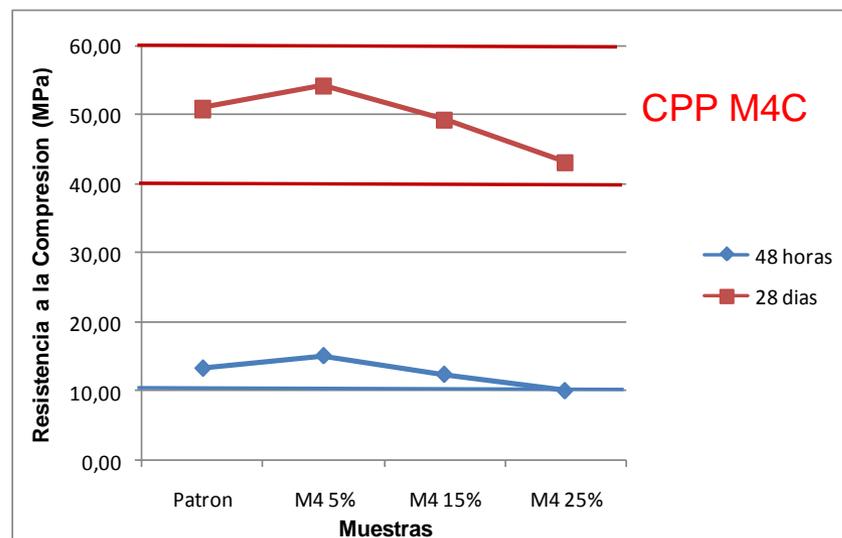
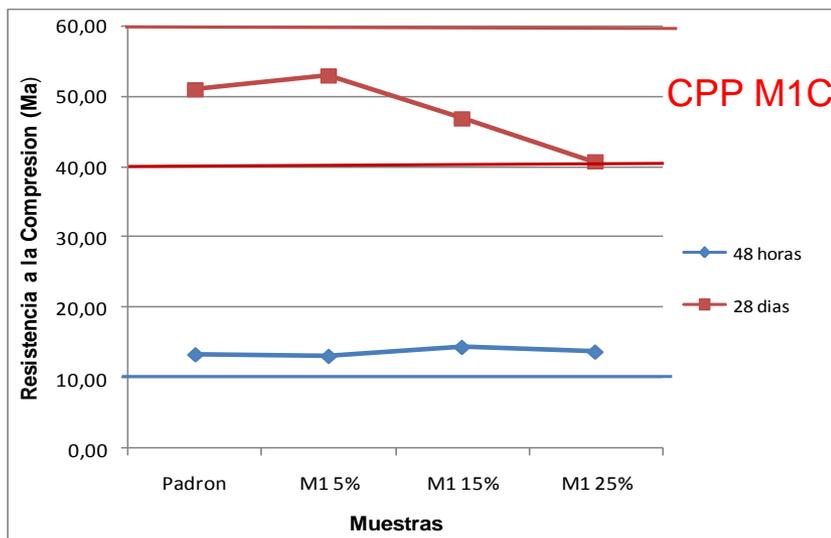
- Tiempo de inicio y fin de fraguado

Muestra	T inicial (horas)	T Final (horas)
CP 40	4:20	5:55
S M1 5%	4:35	5:40
S M4 5%	5:20	6:30
S M1 15%	6:10	7:10
S M4 15%	5:50	7:30
S M1 25%	6:20	7:30
S M4 25%	6:50	8:00



# Presentación de los resultados, CPP

- Resistencia a la compresión



# CONCLUSIONES

- Los resultados de los ensayos químicos, físicos y de comportamiento, de las seis muestras ensayadas, verificaron valores dentro de los requerimientos de la norma UNIT para Cemento Portland Puzolánico.
- Los resultados del ensayo de expansión en autoclave, indican que la adición de CBC a las pastas no genera riesgo de una reacción expansiva retardada, en ninguno de los porcentajes de sustitución ensayados.
- Los valores obtenidos de tiempo de inicio y fin de fraguado, mostraron un aumento del retardo a medida que aumenta el porcentaje de sustitución, cumpliendo todas las muestras con los requerimientos normativos.
- Los valores de resistencia obtenidos cumplen con los requisitos de la norma UNIT 20:2003, para CPP 40 MPa, Las muestras con iguales tenores de sustitución, presentan un comportamiento similar, siendo las resistencias de las probetas M4C levemente superiores a las con sustituciones M1C, como era de esperar dada la mayor superficie específica de las CBC M4C.
- Siendo los CPP, con porcentaje de sustitución entre 5% y 15%, los que mejores resultados arrojaron, con los beneficios ambientales y de desempeño, que implica el uso de Cementos Portland Puzolánicos, a partir de la incorporación de residuos agro-industriales.

# DESAFIOS

- Recomendaciones para futuras investigaciones
  - Se plantea la necesidad de una investigación complementaria, para determinar la relación óptima entre el gasto energético, los porcentajes de sustitución y el desempeño del CPP resultante:
    - A- Estudio de propiedades y desempeño, de morteros con diferentes porcentajes de sustitución de cemento por CBC
    - B- Estudio de durabilidad, para tener un mejor entendimiento de la influencia de las puzolanas en la permeabilidad y el efecto generado a partir del consumo de mayor cantidad de cal que los cementos comunes, ante el ataque de distintos agentes y en particular sobre la carbonatación
  - En cuanto a las posibilidades de producción a nivel industrial, es necesario profundizar en los costos de mejoramiento y logísticos, así como en el impacto ambiental y la evaluación de las ganancias indirectas, vinculadas a la cadena productiva agro energética y a la reducción del Clinker en la producción de cementos, así como la variabilidad.

# Comentario final

- Este trabajo, teniendo en cuenta las consideraciones planteadas, demostró que las cenizas de bagazo de caña de azúcar residuales de la quema en calderas de cogeneración energética, en Bella Unión /Uruguay, son viables para su utilización como adición puzolánica al cemento, mediante procesos de mejoramiento, con los beneficios ambientales, económicos y de desempeño, que implica el uso de Cementos Portland Puzolánicos, a partir de la incorporación de residuos agro-industriales.



**GRACIAS POR SU ATENCION**

