

# En camino hacia un hormigón sustentable: Uso de cementos puzolánicos en Uruguay

*On a path towards a more sustainable concrete: implementation of pozzolanic cement in Uruguay*

---

Federico Cerutti<sup>1</sup>, Adrián Santilli<sup>2</sup>

Recibido: mayo 2017

Aceptado: setiembre 2017

---

**Resumen.-** La contaminación ambiental es un problema cuya importancia ha crecido en las últimas décadas. Este problema se debe, en parte, al sector industrial. En Uruguay, la industria cementera es una de las más contaminante, por lo que, el objetivo de este artículo es la búsqueda de técnicas para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en la elaboración de hormigón.

Para realizar este estudio, se comenzó con la realización de una encuesta para determinar el nivel de conocimiento de cementos alternativos por profesionales involucrados en el área de la construcción. A su vez, se procuró conocer los motivos por los que en Uruguay se produce un único tipo de cemento, a diferencia de otros países donde se producen diversos tipos de cementos con menor huella de CO<sub>2</sub>.

Por último, se realizó una campaña experimental, donde se confeccionaron probetas de hormigón fabricadas con cemento modificado utilizando ceniza de cáscara de arroz (CCA).

**Palabras clave:** Cemento puzolánico; Contaminación ambiental; Ceniza de cáscara de arroz; Hormigón.

*Summary.-* Air pollution is a problem which importance has grown in the last few decades. This problem is due, in part, to the industrial sector. In Uruguay, the cement industry is the most pollutant of this category, so, the aim of this article, is to determine new techniques to reduce the emissions of CO<sub>2</sub> in the production of concrete.

*To conduct this study, a survey was made in order to determine the level of knowledge of less polluting cements by professionals involved in the field of construction. Furthermore, it was sought to ascertain the reasons why a unique type of cement is produced in Uruguay, unlike other countries which effectively have a wide variety of cements with lower footprint of CO<sub>2</sub>.*

*Then, an experimental campaign was conducted, where specimens of concrete with modified cement were made using rice husk ash (CCA by its initials in Spanish).*

**Keywords:** Pozzolanic cement; Atmospheric pollution; Rice husk ash; Concrete.

**1. Introducción.-** El hormigón, hoy en día, forma parte del paisaje habitual de cualquier ciudad, siendo este uno de los elementos con mayor producción a nivel mundial. Esto quiere decir que, efectivamente, se producen casi tres veces más de toneladas de hormigón que de

---

<sup>1</sup> Ingeniero, Facultad de Ingeniería, Universidad de Montevideo, Montevideo, Uruguay, fcerutti@correo.um.edu.uy

<sup>2</sup> Doctor Ingeniero. Facultad de Ingeniería, Universidad de Montevideo, Montevideo, Uruguay, asantilli@um.edu.uy

alimentos para nuestro propio consumo. Este material, se compone tradicionalmente de cinco elementos fundamentales: arena, grava, agua, aire y cemento.

En nuestro país, la obtención de los primeros cuatro componentes resulta relativamente sencilla, requiriendo esencialmente procesos de extracción y transporte, mientras que la obtención del cemento resulta más compleja, requiriendo la necesidad de procesos industriales. Este proceso industrial solicita una gran demanda calorífica, no siendo amigable con el medio ambiente, produciendo así un estimado de 800 kg de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por cada tonelada de cemento producida [1].

La fabricación de cemento fue históricamente el proceso industrial con mayores emisiones de CO<sub>2</sub> en Uruguay, generando en 2010 aproximadamente 380.000 toneladas de este gas [2]. Según cálculos realizados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) [3], para capturar dichas emisiones en un año, es necesario un bosque de aproximadamente 1450 km<sup>2</sup>. Esto es casi tres veces la superficie del departamento de Montevideo.

Varios autores, como Ali et al. [4] y Muñoz et al. [5], destacan una serie de alternativas que pueden ser implementadas para disminuir la cantidad de gases contaminantes generados en el proceso de fabricación del cemento. Algunas son:

- Modificaciones en los procesos de fabricación;
- Implementación de tecnologías de captación y almacenamiento de CO<sub>2</sub> y/o métodos de absorción biológica;
- Cambio de fuentes de energía para los procesos de fabricación;
- Fabricación de cementos con menor contenido de clínker.

Esta investigación se centrará en estudiar la última alternativa propuesta, debido a que, en Uruguay, se produce un único tipo de cemento, denominado cemento portland normal (CPN) con un contenido de clínker igual o superior al 95%. Para poder disminuir la cantidad de clínker en el cemento es necesario incorporar otros componentes que lo puedan sustituir de manera adecuada, como es el caso de las puzolanas. Esta alternativa se encuentra debidamente documentada por normas estadounidenses y europeas como la ASTM C-150 [6] y la UNE -EN 197-1 [7].

A pesar de que en Uruguay se produce un único tipo de cemento, existe la norma UNIT 20 [8] que estandariza la producción de otros tipos de cementos dentro de los que se encuentra el cemento portland puzolánico (CPP)

**2. Cemento Portland Puzolánico.-** El cemento portland puzolánico se define como la mezcla íntima y uniforme de cemento portland normal y puzolana de alta finura, obtenido por la molienda conjunta y posterior mezcla de los dos constituyentes [9]. Las puzolanas se pueden dividir en dos grandes categorías: naturales y artificiales. Dentro de las naturales, existen las naturales propiamente dicho, de origen volcánico o de rocas sedimentarias, y las naturales calcinadas, que también son de origen volcánico o sedimentario pero que requieren ser activadas por tratamiento térmico. Las puzolanas artificiales son de origen industrial como puede ser las cenizas volantes y el humo de sílice.

Sus ventajas ya eran establecidas por Calleja [10] en 1968:

- I. De orden económico: establece que el uso de estos cementos reduce la cantidad de energía utilizada, impactando directamente en el costo;
- II. De orden ecológico: la utilización de elementos naturales o residuos, como las cenizas volantes que son materiales puzolánicos, implica una reducción del impacto ambiental.

La presencia de puzolanas naturales en Uruguay que no requieran tratamiento térmico para su activación es escasa y de extracción compleja. Por otro lado, la posibilidad de utilizar puzolanas calcinadas es más viable, debido a que es posible utilizar arcilla como por ejemplo.

A su vez, también existe experiencia nacional en utilizar ceniza de cáscara de arroz como puzolana [11], donde los autores del proyecto mencionan la posibilidad de remplazar hasta 10% de clínker en el cemento. En Uruguay, la empresa Galofer S.A. genera este producto como desecho del proceso de parvorizado del arroz. Esto quiere decir que, la ceniza de cascara de arroz utilizada no tiene una huella de CO<sub>2</sub> asociada, debido a que esta ya es absorbida por la industria arrocera.

**3. Encuesta.-** En Uruguay, el mercado del cemento se ve dominado por el CPN. Por lo tanto, se realizó una encuesta con el objetivo de poder determinar cuáles son las razones de este fenómeno. Se procuró tener como público objetivo a profesionales involucrados en el área de la construcción, como ingenieros civiles (88) y arquitectos (32), llegando a un total de 120 encuestados.

Los resultados de la encuesta marcan que el 35% de los encuestados solo conocen el CPN como el único tipo de cemento existente, lo que muestra un gran desconocimiento sobre la posibilidad de usar otros tipos de cements como lo establece la norma UNIT 20 [8]. A pesar de esto, existe una disposición muy grande, del orden del 90%, a utilizar otros tipos de cements menos contaminantes.

En la Figura I se muestran cuáles serían las características que debería cumplir un hormigón fabricado con cemento modificado para que su uso sea aceptado en obra. Se puede observar que la resistencia a la compresión es el factor más importante, siendo mencionada por casi el 50% de los encuestados. Luego le sigue la consistencia, y el costo.

### Características pedidas al hormigón fabricado con cementos alternativos al CPN

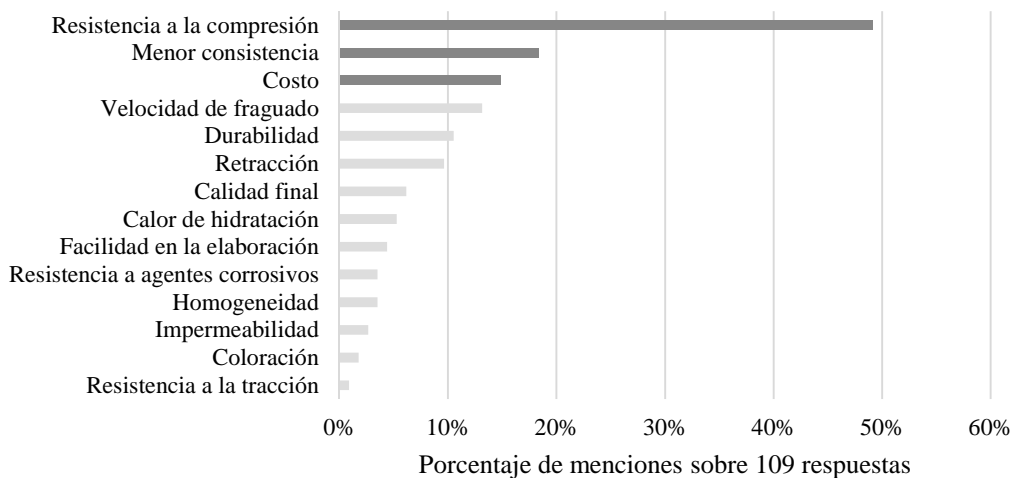


Figura I.- Características pedidas al hormigón fabricado con cementos alternativos al CPN

En la Figura III se detallan las razones por las cuales se produce un único cemento en Uruguay según los encuestados, donde el 80% de las respuestas se acumulan en tres causas fundamentales que son:

- El tamaño del mercado;
- El tradicionalismo que se tiene a nivel país como cultura;
- Suposición sobre la poca rentabilidad que le generaría a las empresas que producen cemento y/o hormigón.

### Razones por la cuales se produce un único cemento en Uruguay

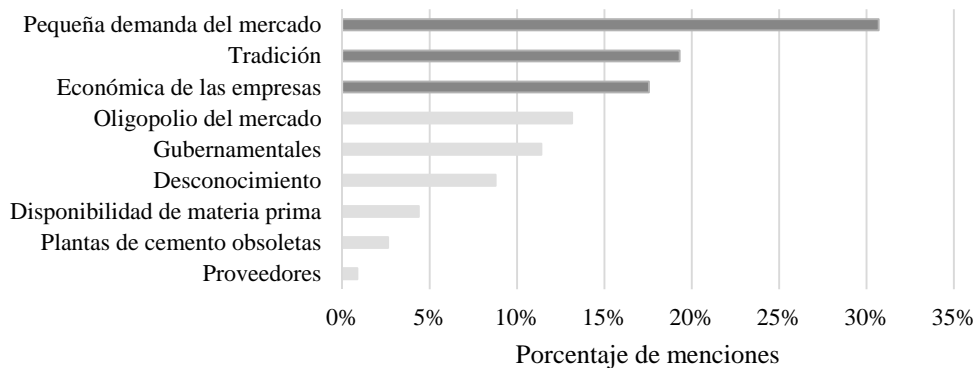


Figura II.- Razones por la cuales se produce un único cemento en Uruguay

El tamaño del mercado puede parecer una limitante por la poca demanda y por el poco lugar aparente para otra alternativa. A pesar de esto, se debe considerar a modo de ejemplo que, en países como Lituania, Albania y Jamaica, con una menor población que Uruguay (2.868.000, 2.886.026 y 2.723.246, respectivamente) se producen más de un tipo de cemento para uso estructural. Akmenés Cementas en Lituania, produce seis tipos de cementos para uso estructural, mientras que Titan Antea Cement SH.A. en Albania produce tres tipos distintos y Caribbean Cement Compoany Limited en Jamaica produce dos.

El tradicionalismo está conectado con un aspecto cultural en el país donde las personas, en general, no se sienten cómodas con el cambio, prefiriendo preservar su costumbre e infraestructura existente.

Por último, en relación a la supuesta inconveniencia económica que les generaría a las empresas producir nuevos cementos, la viabilidad se encuentra ligada con la tecnología utilizada en los procesos productivos. Con relación a este punto, se puede recordar lo establecido por Calleja [10] que menciona que producir cementos con menor contenido de clínker puede resultar en un ahorro económico dentro de los procesos de fabricación.

En resumen, se puede apreciar que en Uruguay se utiliza un único tipo de cemento por motivos de mercado y de tradicionalismo basados en el desconocimiento de otros tipos de cementos. Al-Khalaf & Yousif [12], establecen que hormigones hechos con cemento puzolánicos son capaces de llegar a valores de resistencia y consistencia similares a los del CPN. Por otro lado, Ganesan et. al [13] lograron un incremento de 26,2% de la resistencia a la compresión a 28 días con un

15% de sustitución de CPN por CCA. A pesar de estos resultados, resulta necesario realizar un estudio experimental debido a la heterogeneidad de este tipo de puzolana.

**4. Estudio Experimental.-** La campaña experimental se realizó con el fin de estudiar la viabilidad técnica para poder implementar en el mercado nacional un cemento modificado con ceniza de cáscara de arroz. El cemento modificado utilizado fue fabricado por CPN y puzolana, de manera que en cada serie se disminuyó la cantidad de CPN y se aumentó la de puzolana manteniendo así una cantidad de cemento constante, tal como ilustra la Figura III.

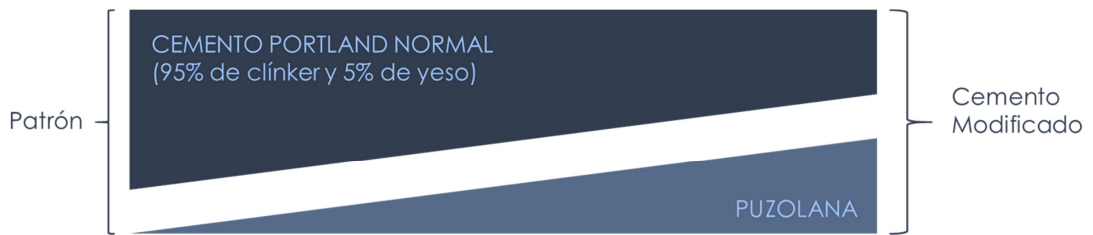


Figura III.- Composición del cemento modificado

Se realizó una serie de ensayos con una relación de agua/cemento de 0,51 y porcentajes de sustitución de 5%, 10% y 15%, además de un patrón con un 100% de CPN para la misma dosificación. La dosificación utilizada se resume en la Tabla I.

Material	Kg/m3 de hormigón
Cemento	368
Arena gruesa	684
Arena fina	368
Grava	1842
Agua agregada	188
Agua aportada por los áridos	63

Tabla I.- Dosificación utilizada por m3 de hormigón

Los ensayos realizados fueron dos: ensayo de cono de Abrams y de resistencia a la compresión a los 28 días donde se realizaron 3 probetas para cada proporción de puzolana, cuyos resultados se muestran en la Tabla II.

Proporción de Puzolana	Asentamiento		Resistencia a la Compresión (MPa)
	(cm)	(%) con respecto al patrón	(%) de la fck con respecto al patrón
0%	15	100%	-
5%	4,5	30%	97,2%
10%	4,5	30%	92,9%
15%	1	7%	60,4%

Tabla II.- Resultados de asentamiento y resistencia a la compresión a los 28 días

**5. Discusión.-** De los datos presentados, se puede apreciar que el asentamiento y la resistencia disminuyeron conforme aumentó el porcentaje de puzolana, manteniéndose constante el asentamiento para sustituciones de 5% y 10%.

Debe destacarse la similitud existente entre los resultados de resistencia y asentamiento, debido a que ambos parecen presentar un estacionamiento para una proporción de puzolana entre el 5% y el 10%. Una adición del 15% no resultaría viable de forma práctica debido a que ambas propiedades disminuyen en gran porcentaje con respecto al patrón.

**6. Conclusiones.-** A partir de la investigación realizada se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- En base a la encuesta el mercado estaría dispuesto a utilizar otros tipos de cementos para la fabricación de hormigón, siempre y cuando estos cumplan con las características pedidas por el cliente.
- Los resultados experimentales establecen que la sustitución de CPN por CAA tiene que ser estudiada en mayor profundidad entre los márgenes del 5% al 10%.

## 7. Bibliografía

- [1] J.M. Flower y J.G. Sanjayan. "Greenhouse gas emissions due to concrete manufacture", The International Journal of Life Cycle Assessment, 2007, pp. 282-301.
- [2] Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, "Primer Informe Bienal de Actualización de Uruguay, a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", 2015. 185 pp.
- [3] Agencia de Protección Ambiental, "Carbon Dioxide Capture and Sequestration", 2016.
- [4] M.B. Ali, R. Saidur y M.S. Hossain. "A review on emission analysis in cement industries", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, pp. 2252-2261.
- [5] C. Muñoz, P. Mora y J. Recalde, "Estado del Arte de las Tecnologías de Captura y Almacenamiento de CO<sub>2</sub> en la Industria del Cemento" Agrupación de fabricantes de cementos de España, 2011. 102 pp.
- [6] ASTM C-150, "Standard Specification for Portland Cement", 2007.
- [7] UNE-EN 197-1, "Composición, especificaciones y criterios de conformidad de cementos comunes", 2000.
- [8] UNIT 20, "Cementos portland para uso general - Definiciones y requisitos", 2015.
- [9] A. Salazar, "¿Qué es una Puzolana?", Organización Ecoingeniería, 2008.
- [10] J. Calleja, "Cementos Puzolánicos", Separata de la revista ION, 1968, Vol. XXIX y XXX
- [11] G. Rodríguez, "Valorización del Residuo Obtenido de la Quema de la Cáscara de Arroz", Instituto de Investigación Agropecuaria, 2013.
- [12] M. Al-Khalaf y H.A. Yousif, "Use of Rice Husk in Concrete", International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 1984, pp. 241-248.
- [13] K. Ganesan, K. Rajagopal y K. Thangavel, "Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete", Construction and Building Materials, 2007, pp. 1687-1683.