



# XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

## CARACTERIZACIÓN DE DESECHOS INDUSTRIALES INORGÁNICOS PARA SER USADOS COMO MATERIAL SUPLEMENTARIO EN MORTEROS CEMENTICIOS

**KREIKER, Jerónimo (1); CARRIZO, Juan Cruz (2); CEPPI, Sergio (3), MUTAL, Ruben (4)**

(1) Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE)-AVE -CONICET, 54-3514894442, jkreiker@ceve.org.ar (2) Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE)-AVE -CONICET, 54-3514894442, carrizo\_juancruz@hotmail.com (3) Facultad de Matemática, Astronomía y Física, IFEG-CONICET, 54-3514334051 sergio.ceppi@gmail.com (4) Laboratorio de Microscopía y Rayos X, LAMARX-FAMAF, 54 351 4334051, rubenmutal@gmail.com

### RESUMO

Se evaluó el uso de desechos inorgánicos provenientes de procesos industriales como material de adición en morteros cementicios. Se utilizaron desechos del proceso de pulido de mosaicos, porcelanatos provenientes de industrias y cenizas de cáscaras de maní preparadas en el Laboratorio. Los materiales fueron caracterizados por Fluorescencia de Rayos X, Difracción de Rayos X y Microscopía Electrónica de Barrido SEM. Se evaluó el comportamiento pozzolánico mediante conductimetría del material en solución de  $\text{Ca}^{++}$ . Se prepararon probetas de 4x4x16 cm de morteros cementicios con el agregado de los desechos a dos niveles de sustitución del cemento 15 y 30%, dosificando con una relación 1:3 (cemento:arena) y agua/cemento de 0,5. Se determinó la resistencia a la compresión a 28 y 60 días de acuerdo a la norma IRAM 1622:2002. Los materiales mostraron composición química y morfológica diferente y presentaron un comportamiento dispar en la resistencia mecánica de las probetas. Las cenizas de cáscaras de maní y el residuo del pulido del porcelanato presentaron un valor de resistencia a la compresión superior al 80 % respecto del patrón a todas las edades, en tanto que el residuo de pulido de mosaicos mostró un marcado descenso de la resistencia. Se recomienda la adición de residuo de pulido de porcelanato a los morteros en reemplazo de 15% de cemento.

**Palavras-chave:** desechos inorgánicos, material de adición para cementos, residuo de pulido de porcelanato

### ABSTRACT

*We evaluate the use of inorganic wastes from industrial processes as additional material to cement mortars. Wastes from floor tiles polish, porcelain floor tile polish and peanut husk ashes were used as supplementary materials for cement. The wastes were characterized by F-RX, D-RX and SEM. We determine the pozzolanic behavior by a conductimetric method of the material in lime solution. Cement mortar probes of 4x4x16 cm were made at two substitution levels, 15 and 30% of wastes replacing cement. We use a rate of 1:3 (cement:sand) and water/cement of 0,5. We determine the compression strength at 28 and 60 days, according to IRAM Norm 1622:2002. The wastes showed a chemical composition and morphological characteristics quite different and probes containing wastes showed different behavior of mechanical strength. Peanut husk ashes and wastes of polish process of porcelain floor tile showed compression strength values higher than 80% respect to reference mortar at all ages, while wastes of polish process of floor tile showed a marked decrease of mechanical strengths. The dosage has an important influence on mechanical strength so we recommend add wastes of porcelain floor tile polish up to 15% replacing cement.*

**Keywords:** Inorganic wastes, supplementary materials for cement, waste of porcelain floor polish

## 1 INTRODUCCION

En busca de mitigar el alto efecto contaminante de la industria cementera debido al elevado nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>, asociado al uso de combustibles fósiles, el cual se estima que pasará de 3 Gt/anales en 2010 a 5 Gt/anales en 2030 (MULLER, HARNISH, 2012), se propone como una alternativa válida el reemplazo parcial de cemento por materiales sustitutos del tipo puzolánicos, como son las cenizas volcánicas, cenizas volantes y escoria de alto horno (PAPADAKIS, TSIMAS, 2012) y las cenizas provenientes de la quema de residuos agroindustriales y biomasa (CHEAH, RAMLI, 2011), impulsado principalmente por las propiedades puzolánicas de estos desechos. Uno de los principales condicionamientos que presenta la incorporación de materiales a los cemento está relacionado a los parámetros de comportamiento físico y mecánico que deben mantener los morteros preparados con los cementos que contienen material de adición, y que en la Argentina está regulado por la normas IRAM 1654:68 Puzolanas. Métodos de ensayo generales y otras de la familia.

Problemática regional: La necesidad planteada por diversas empresas del medio local y regional, así como el propio interés en agregar valor a los desechos que genera la actividad industrial de la región, mediante su inserción en un nuevo ciclo productivo basado en la elaboración de materiales y componentes constructivos, promueven el estudio de desechos regionales con potencial aplicación en la construcción de viviendas. En este sentido, existe una disponibilidad de cenizas de cáscaras de maní de casi 20 t/día proveniente del uso de las cáscaras de maní como combustible de caldera de una importante empresa aceitera de la región. Por otra parte empresas productoras de mosaicos y porcelanatos de la región, generan en el proceso de pulido de los componentes para pisos, cerca de 30 t/día de desechos inorgánicos que son destinados a enterramiento sanitario y no reciben un destino de valorización. El material proveniente del pulido de mosaicos y de porcelanatos se diferencian en que el mosaico es un mortero con agregado pétreo que usa cemento como ligante y el porcelanato es un material producto de la fusión de cuarzo (SiO<sub>2</sub>) y feldespatos ((K, Na, Ca, Ba, NH<sub>4</sub>)(Si,AL)<sub>4</sub>O<sub>8</sub>) a temperaturas cercanas a los 1200 °C.

Esta necesidad que manifiestan las empresas de agregar valor a los desechos provenientes de sus procesos productivos, brinda la oportunidad de generar productos innovadores que sean sustentables y que a su vez disminuyan el deterioro ambiental que el desarrollo industrial genera

Antecedentes en el Tema: Existen varios antecedentes sobre la adición de materiales puzolánicos al cemento, principalmente cenizas de proceso industriales que utilizan combustibles fósiles (ZACHAR, 2011) o cenizas provenientes de la quema de biomasa (NAIR et al, 2008; MARTIRENA HERNADEZ et al, 1998; BIRICIK et al, 1999; CHEAH, RAMLI, 2011). Es conocido que las propiedades puzolánicas de las cenizas dependen de la composición química y de las características físicas y morfológicas, parámetros que están estrechamente ligados al proceso de combustión del material (MARTIRENA HERNANDEZ et al, 2000). En líneas generales se ha determinado que las fases de sílice amorfa formadas durante la combustión le imparten mayor carácter puzolánico a las cenizas, estas fases son evidenciadas por Difracción de Rayos X (MARTIRENA HERNADEZ et al, 1998). Esta sílice amorfa proveniente de la combustión de desechos agroindustriales, generalmente se forma a temperaturas entre 500 y 700 °C. La determinación de la puzolanicidad de las cenizas se puede llevar a cabo de manera directa, por medio del reemplazo parcial de cemento por el material puzolánico, en probetas cementicias sometidas a ensayos de resistencia mecánica (ZERBINO et al, 2011), o por medio de técnicas conductimétricas por reacción de la

puzolana con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Esta última alternativa comprende la evaluación del grado de reacción de la puzolana con los iones  $\text{Ca}^{++}$  presentes en la solución, evidenciado por la disminución en la conductividad. Este es un método indirecto y cualitativo, y en general presenta variaciones según la reactividad de la puzolana que se está evaluando (PAYA et al, 2001).

Estudios previos relacionados al tema se enfocan en el estudio de las propiedades puzolánicas de las cenizas de cáscaras de maní, determinando la reactividad por conductimetría y relacionando dicha propiedad con las características morfológicas de las cenizas (KREIKER et al, 2012). Otras investigaciones fueron realizadas sobre morteros elaborados con mezclas de cenizas de cáscaras de maní y cáscaras de girasol provenientes de calderas industriales que utilizan biomasa de diversas fuentes, como material de adición para morteros (ANDRADA et al, 2011).

El presente trabajo presenta los resultados de la evaluación de las propiedades químicas y morfológicas del residuo de pulido de porcelanatos (RPP) proveniente de una fábrica de porcelanatos ubicada en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Residuo de pulido de mosaicos (RPM) proveniente de una fábrica de mosaicos ubicada en la Provincia de Córdoba. Cenizas de cáscaras de maní, preparadas en el laboratorio bajo diferentes condiciones de calcinación, y utilizadas sin tratamiento posterior, como potenciales materiales de adición para cemento portland en morteros preparados con sustitución de 15% y 30% de cemento por los materiales de desecho. Se determinó la influencia de estos materiales en la resistencia a la compresión en probetas de 40x40x160 mm, ensayadas de acuerdo a la Norma IRAM 1622:2002, a edades de 28 y 60 días.

## **2 MATERIALES Y METODOS**

### **2.1 Materiales**

Cenizas de cáscaras de maní. Preparadas en condiciones de laboratorio a partir de calcinación de cáscaras a 650 °C durante 180 min y utilizadas sin tamizar.

Residuos de Pulido de Porcelantado (RPP). El material de estudio fue secado en estufa durante 12 h a 60 °C y utilizado sin tamizar.

Residuo de Pulido de mosaicos. El material de estudio fue secado en estufa durante 12 h a 60 °C y utilizado sin tamizar.

Arena: fue preparada para una granulometría uniforme, mezclando arena fina y gruesa hasta lograr un módulo de finura entre 4 y 5, determinado acorde a la Norma IRAM 1505:03.

Cemento: se utilizó cemento normalizado tipo CPF 40 (IRAM 50000). Clincker 80-99%; Filler calcáreo 1-20%.

### **2.2 Caracterización de los materiales**

Los desechos fueron caracterizados mediante:

- Densidad relativa: de acuerdo a la norma IRAM 1520:2002
- Análisis granulométrico: de acuerdo a IRAM 1505:03, usando una balanza de precisión de 0,001g. Los datos fueron ajustado con el Software Microcal Origin 7.0.

- Difracción de Rayos X: Se llevó a cabo en el laboratorio de LAMARX del FAMAF-UNC, con un equipo a Phillips X-Pert PRO PW3040/60. La asignación de picos se realizó por comparación contra la base de datos del software X'Pert Highscore.
- Fluorescencia de Rayos X: la composición química de los desechos se realizó mediante esta técnica en el Laboratorio LAMARX del FAMAF-UNC. Se cuantificaron los óxidos principales mediante por comparación contra patrones disponibles en el laboratorio.
- Ensayos físicos: se realizaron ensayos de determinación de densidad relativa de acuerdo a la norma IRAM 1520:02.

### 2.3 Determinación de puzolanicidad por conductimetría

La actividad puzolánica se determinó de manera cualitativa de acuerdo al método descrito por Payá et al (Payá et al, 2001). Se partió de 200 mL de solución de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  con un valor de conductividad de aproximadamente 7 mS/cm a  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  con agitación constante. Luego se agregaron 5 g del material puzolánico y se registró la conductividad durante 600 h a intervalos de 24 h. Por otro lado se evaluó la conductividad del  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en el período evaluado para determinar la influencia la disminución de la conductividad en el tiempo para el sistema. El comportamiento puzolánico del material fue estimado analizando los gráficos obtenidos ajustando los puntos a una exponencial simple usando el software Microcal Origin 6.0.

### 2.4 Preparación de Probetas para ensayos

Probetas de morteros cementicios: Se prepararon probetas prismáticas de 4x4x16 cm, siguiendo la norma IRAM 1622:2002. Se prepararon 3 probetas para cada edad de ensayo y dosificación. Las probetas fueron moldeadas por colado, compactadas por vibración. Se utilizó una dosificación de cemento:arena 1:3 y relación agua/cemento 0,5. Se dejaron fraguar 24 h y luego del desmolde fueron sometidas a curado sumergidas en agua hasta el momento del ensayo mecánico. En la Tabla 1 se muestran las diferentes dosificaciones usadas en el diseño experimental, las mismas corresponden a % sustitución en Volumen de cemento por el desecho, y se utilizó la masa de la muestra determinada con balanza analítica de 0,1 g y la densidad relativa como medida para dosificar.

**Tabla 1 - Diseño experimental de probetas**

Material	Patrón	Cenizas	RPP	RPP	RPM	RPM
		%	%	%	%	%
		<b>15</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>15</b>	<b>30</b>
Agua (mL)	83	83	83	83	83	83
Arena (mL)	500	500	500	500	500	500
Cemento (mL)	167	142	142	117	142	117
Adición (mL)	0	25	25	50	25	50

### 2.5 Ensayos mecánicos

Los morteros fueron ensayados en la resistencia a la compresión de acuerdo a la norma IRAM 1622:05 a edades de 28 y 60 días. Cada probeta se ensayó por triplicado y el

valor informado corresponde al promedio de las tres determinaciones. Para ejecutar los ensayos se utilizó una prensa manual y una celda de carga provista por Celdas Rocca S.A.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Caracterización de materiales

Densidad relativa

La Tabla 2 muestra los valores obtenidos de densidad relativa de los tres materiales, secados durante 12 h a 60 °C (peso constante durante 3 h).

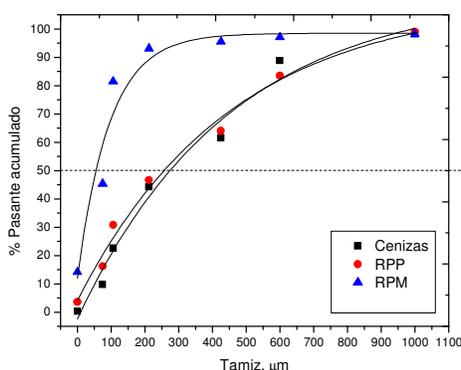
**Tabla 2 - Densidad relativa de los desechos**

Desecho	Cenizas	RPM	RPP	Cemento
Densidad relativa	2,55	2,4	2,27	3,11

Análisis granulométrico

Se llevó a cabo el análisis mediante la determinación de la fracción pasante en tamices normalizados. Se partió de 100 g de muestra y pesó la fracción retenida en una balanza de precisión de 0,001g. Luego se realizó el gráfico de granulometría con el % pasante acumulado vs. el tamaño del tamiz en  $\mu\text{m}$ . Los datos se ajustaron con el programa Microcal Origin 7.0. La Fig. 1 muestra la granulometría de las muestras usadas.

**Figura 1 – Análisis granulométrico de desechos**

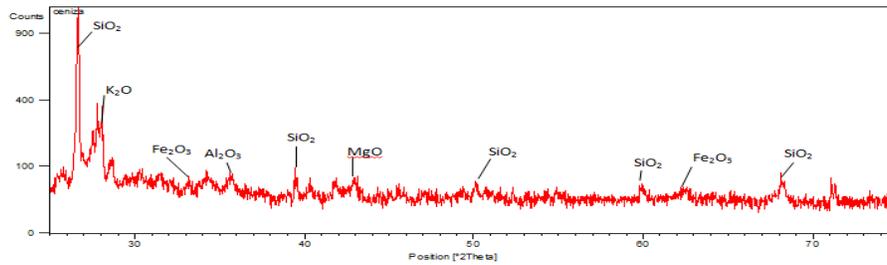


Se observa una distribución granulométrica similar para las cenizas y el RPP, no así para RPM que mostró una distribución diferente con menor tamaño de partículas, donde el 90% del material es pasante al tamiz de 200  $\mu\text{m}$ .

Difracción de Rayos X

Ceniza de cascaras de maní: en la Fig. 2, se puede observar el difractograma obtenido para las cenizas de cascaras de maní

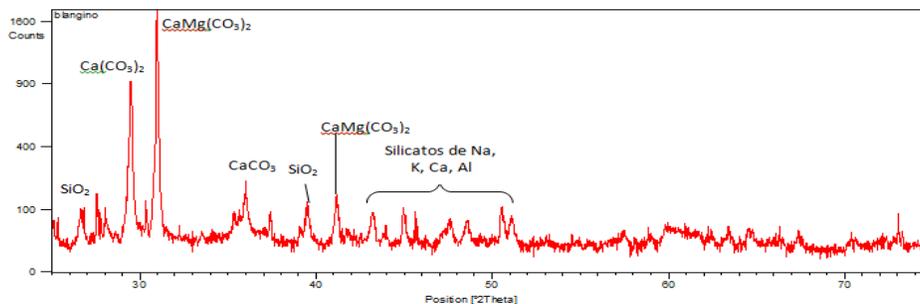
**Figura 2 - Difractograma de Rayos X de Cenizas**



Se observa la presencia de diferentes compuestos, entre ellos una importante cantidad de SiO<sub>2</sub>, pero principalmente en fases cristalinas.

Residuo de mosaico: en la Fig. 3 se muestra el difractograma del RPM.

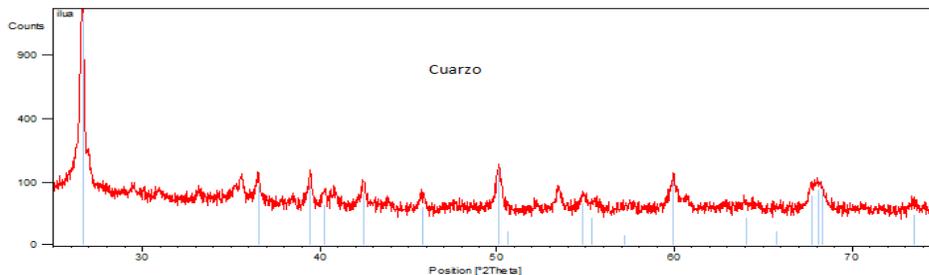
**Figura 3 - Difractograma de RPM**



Este material de desecho presenta varias fase cristalinas, principalmente de carbonatos de Ca y Mg, y silicatos de metales alcalino y alcalino-térreos.

Residuo de porcelanato: en la Fig. 4 se muestra el difractograma del RPP.

**Figura 4 - Difractograma de RPP**



Este material presenta principalmente SiO<sub>2</sub> en estado cristalino, tal es así que su difractograma concuerda en gran medida a uno de cuarzo (SiO<sub>2</sub> en estado cristalino).

De los tres materiales utilizados, ninguno presenta propiedades cristalográficas que permitan considerarlo como una puzolana, debido principalmente a la gran presencia de fases cristalinas del SiO<sub>2</sub> presente, siendo una condición necesaria para manifestar un comportamiento puzolánico la presencia de material amorfo. En cuanto a los compuestos encontrados se observa una gran coherencia en las fases y compuestos asignados con la composición química propia del desecho.

## Fluorescencia de Rayos X

Se cuantificó el contenido de los diferentes compuestos en cada muestra por comparación contra patrones disponibles en el laboratorio para los óxidos de los metales cuantificados. En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 3 – Composición química de desechos**

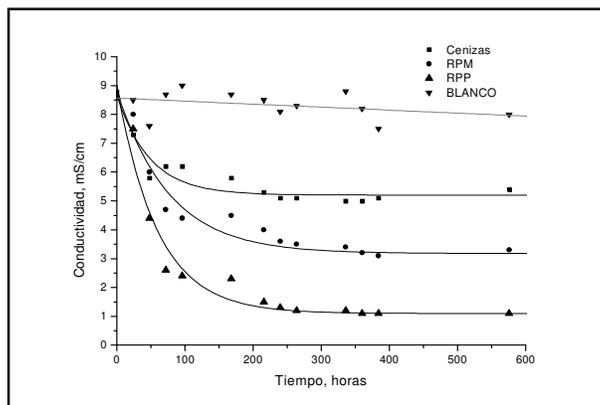
Compuesto	cenizas	RPM	RPP
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	10 ± 5	2 ± 1	14 ± 6
SiO <sub>2</sub> %	(3 ± 2)*10	13 ± 7	(7 ± 3)*10
K <sub>2</sub> O %	9 ± 1	2,76 ± 0,05	2,44 ± 0,01
CaCO <sub>3</sub> %	14 ± 7	(4 ± 2)*10	2 ± 1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	3 ± 1	2,9 ± 0,9	6,2 ± 0,2

Solo se cuantificaron los óxidos principales, y con una técnica aproximada que arrojó un margen importante de error sobre cada determinación, pero que tiene utilidad para inferir de manera aproximada la composición de los desechos. La composición determinada concuerda de manera muy aproximada con la naturaleza de los materiales ensayados. De esta cuantificación podría inferirse un comportamiento más próximo a una puzolana para el RPP con un % en masa de SiO<sub>2</sub> cercano al 70 % y la suma de SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 70 podría ser considerada una puzolana tipo N, aunque el alto grado de cristalización de este desecho actuaría en detrimento de estas propiedades. En el caso de las cenizas de cáscaras maní, la suma de SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ~ 50% con lo cual podría ser considerada una puzolana tipo C, según ASTM-C168. En todos los desecho el contenido de óxidos alcalinos (K, Na) es mayor a 1,5% por lo cual podría no ser recomendable este agregado por las reacciones álcali-agregado en el cemento.

### 3.2 Ensayos de conductimetría

En la Fig. 5 se muestran los valores de conductividad para las muestras y el blanco. La conductividad es proporcional a la concentración de Ca<sup>++</sup> presente en la disolución, una disminución en la conductividad se debe al consumo de los iones Ca<sup>++</sup> debido a la reacción Ca(OH)<sub>2</sub> – puzolana la cual promueve la formación de productos insolubles.

**Figura 5 – Conductividad de los materiales.**



En el gráfico de las conductividades, con los datos ajustados a una curva exponencial de 1 orden, se puede observar como las diferentes soluciones disminuyen su conductividad con el correr del tiempo, exceptuando el blanco que mantiene su conductividad con un leve decaimiento lineal por el paso del tiempo, debido probablemente a la formación de carbonatos por reacción del  $\text{Ca(OH)}_2$  de la solución con el  $\text{CO}_2$  del ambiente.

Se observa un descenso abrupto de conductividad en las primeras horas, esto se debe a que los diferentes materiales están reaccionando con el  $\text{Ca(OH)}_2$  disuelto. Luego el descenso no es tan marcado, después de las 100 horas aproximadamente, dado que la velocidad de la reacción de neutralización del  $\text{Ca}^{++}$  a disminuido, esto posiblemente se deba a que hay una sobresaturación de iones  $\text{Ca}^{++}$  con respecto a los materiales, es decir, que hay menor superficie de reacción que antes. Y por último se ve que la conductividad llega a una meseta, alrededor de las 400 horas, tiempo en que la reacción puzolánica podría continuar pero con una velocidad muy baja.

Si bien el comportamiento de los tres materiales es similar, no lo es en magnitud de la reacción. RPP es el material que presenta el mayor descenso en conductividad, esto se puede deber al alto contenido  $\text{SiO}_2$  que si bien la mayor parte se encuentra como sílice cristalina (la cual no reacciona con los iones  $\text{Ca}^{++}$ ), con algún mínimo que se encuentre en fase amorfa alcanzara para explicar este descenso abrupto. RPM por su parte tiene un marcado descenso en la conductividad esto posiblemente sea por el gran contenido de carbonatos los cuales reaccionan el  $\text{Ca}^{++}$ . Las cenizas de cáscaras de maní, no tiene una gran disminución en la conductividad, esto se debe a que si bien tiene un contenido apreciable de  $\text{SiO}_2$  esta se encuentra en fase cristalina y muy poco es reactivo.

### 3.3 Resistencia a la Compresión

La resistencia mecánica a la compresión de los morteros con adición de cenizas se llevó a cabo de acuerdo a la IRAM 1622. Los valores obtenidos a diferentes edades se muestran en la Tabla 4.

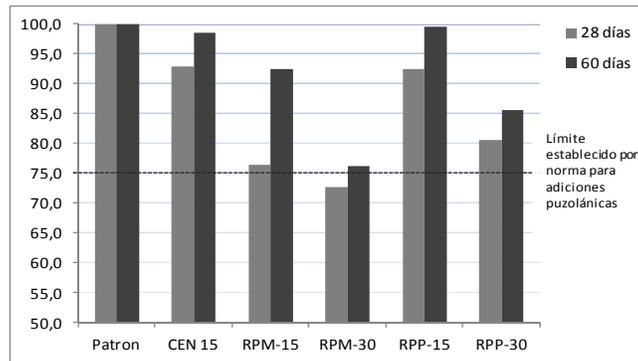
**Tabla 4 - Resistencia a la compresión de los morteros con adición de desechos**

Probeta	28 DÍAS		60 DIAS	
	Resistencia a la Compresión (Mpa)	% RDP	Resistencia a la Compresión (Mpa)	% RDP
Patron	21,2	100	25,1	100
CEN 15	19,7	92,9	24,7	98,4
RPM-15	16,2	76,4	23,2	92,4
RPM-30	15,4	72,6	19,1	76,1
RPP-15	19,6	92,5	25	99,6
RPP-30	17,1	80,7	21,5	85,7

La ceniza solo se evaluó a un 15% de sustitución de cemento. Para este desecho se observó un valor de resistencia similar al patrón, sobre todo a 60 días. El desecho RPM a 15% tiene un nivel de disminución marcado a 28 días pero casi no afectó la resistencia a 60 días. Diferente comportamiento se observó a 30% que tiene un valor de resistencia muy bajo a 28 y 60 días, y solo alcanza a superar ligeramente el comportamiento establecido por norma para adiciones puzolánicas. Es posible que el menor tamaño de partículas actúe disminuyendo la resistencia mecánica al comportarse solamente como mayor carga de filler calcáreo. El RPP A 15% se comporta muy bien tanto a 28 como a 60 días. A un nivel de 30% de sustitución ya se observa una disminución más marcada

en la resistencia. En la Fig. 6 se muestra el gráfico de evolución de la resistencia a las edades ensayadas y los límites establecidos por la Norma IRAM 1654 para adiciones puzolánicas (75% respecto del mortero patrón).

**Figura 6 - Resistencia a la compresión % de los morteros con adición de desechos**



#### 4 CONCLUSIONES

- La caracterización química y morfológica de los desechos está de acuerdo con la naturaleza de los desechos.
  - Las cenizas tienen una composición química que podría cumplir con los requisitos de una puzolana tipo C, con buen contenido de  $\text{SiO}_2$ , pero en gran porcentaje en fases cristalinas, y en los gráficos de conductividad no mostró un comportamiento puzolánico.
  - El RPM, tiene un alto contenido de silicatos y carbonatos mixtos y no presenta una composición química compatible con una puzolana, podría ser solo material de carga.
  - El RPP tiene una composición química rica en  $\text{SiO}_2$ , lo que sería muy conveniente para una puzolana, pero está en su mayoría como cuarzo cristalino y no permitiría un buen comportamiento en la adición al cemento, solo podría ser considerado como material de carga.
- Los morteros con desechos a un nivel de sustitución del cemento del 15%, mostraron valores de resistencia a la compresión mayores al 90% respecto del patrón a 60 días para todos los desechos. A 30% de sustitución, la resistencia a la compresión disminuyó casi al límite permitido para la adiciones puzolánicas para el RPM, pero el RPP estuvo cerca del 85%, respecto del patrón.
- El uso de residuo de pulido de porcelanato y cenizas de cáscaras de maní como material de adición del cemento al 15% podría ser una alternativa sustentable para agregar valor a estos desechos. Se podría evitar su destino de enterramiento, además de contribuir a la disminución de la contaminación por la fabricación del cemento.

## REFERENCIAS

- ANDRADA C, BARONETTO C, POSITIERI M, OSHIRO A, ROMERO A, BORIONI C. Anais do 53º Congresso brasileiro do Concreto CBC2011. Florianopolis, Brasil. ISSN 2175-8182
- BIRICIK H, AKOZ F, BERKTAY I L, TULGAR A N. **Study of Pozzolanic Properties of Wheat Straw Ash.** Cement and Concrete Research, 29, 637-643, 1999.
- CHEAH C. B., RAMLI M. **The Implementation of Wood Waste Ash As a Partial Cement Replacement Material in the Production of Structural Grade Concrete and Mortar: An Overview.** Resources, Conservation and Recycling, 55, 669-685, 2011.
- KREIKER J, MANDRINI MR, SABLÉ L, GATANI M, QUINTANA CRESPO E. **Caracterización química y morfológica de cenizas de cascaras de maní para promover su uso como aditivo puzolánico para cementos.** VII CONGRESO NACIONAL “AMBIENTAL 2012”- PRODEA-UNSJ. San Juan, Argentina. 24-26 de Noviembre de 2012.
- MARTIRENA HERNANDEZ J. F., MIDDENDORF B., GEHRKE M., BUDELMANN H. **Use of Wastes of the Sugar Industry As Pozzolana in Lime-Pozzolana Binders: Study of the Reaction.** Cement and Concrete Research, 28, 1525-1536, 1998.
- MARTIRENA HERNANDEZ J F, BETANCOURT RODRIGUEZ S, MIDDENDORF B, RUBIO A, MARTINEZ-FERNANDEZ L, MACHADO-LOPEZ, GONZALES-LOPEZ. **Pozzolanic Properties of Residues of Sugar Industries.** Materiales de Construccion, 50, 71-78. 2000.
- NAIR D. G., FRAAIJ A., KLAASSEN A. A. K, KENTGENS A. P. M. **A Structural Investigation Relating to the Pozzolanic Activity of Rice Husk Ashes.** Cement and Concrete Research, 38, 861- 869, 2008. .
- PAPADAKIS V. G., TSIMAS S. **Supplementary Cementing Materials in Concrete: Part I:Efficiency and Design.** Cement and Concrete Research, 32, 1525-1532, 2002.
- PAYA J, BORRACHERO M V, MONZÓ J, PERIS-MORA E, AMAHJOUR F. **Enhanced Conductivity Measurement Techniques for Evaluation of Fly Ash Pozzolanic Activity.** Cement and Concrete Research, 31, 41-49, 2001.
- ZACHAR J. Journal of Materials in Civil Engineering. 2011. 789.
- ZERBINO R, GIACCIO, G, ISAIA G C. **Concrete Incorporating Rice-Husk Ash Without Processing.** Construction and Building Materials, 25, 371-378, 2011.
- Norma ASTM C68** - 30 Method of Test for Specific Gravity of Fine Aggregate
- Norma IRAM 1505 (2003).** Agregados. Análisis granulométrico.
- Norma IRAM 1520 (2002).** Agregados finos. Métodos de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua.
- Norma IRAM 1622 (2006).** Cemento Pórtland Métodos de determinación de las resistencias a compresión y flexión.
- Norma IRAM 1627 (1997)** Agregados. Granulometría de los agregados para hormigones.
- Norma IRAM 1654 (1968).** Puzolanas. Métodos de ensayos generales.
- Norma IRAM 1676 (1993).** Morteros para Mampostería Clasificación y Requisitos.
- Norma IRAM 5000 (2010).** Cemento. Cemento para uso general. Composición, características. evaluación de la conformidad y condiciones de recepción