

## DESARROLLO DE LADRILLOS CERÁMICOS ALIVIANADOS A PARTIR DE LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS

J. Citroni<sup>1</sup>, M. Rodriguez<sup>1</sup>, M. F. Carrasco<sup>1</sup>, M. Avendaño<sup>1</sup>, J.D. Sota<sup>3</sup>, M.L. Franzoy<sup>2</sup>, E. Baldó<sup>2</sup>

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI)  
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe  
Lavaise 610 - (S3000EWB) Santa Fe

**Palabras clave:** ladrillos cerámicos comunes, ladrillos cerámicos alivianados, residuos, aislamiento térmico.

### RESUMEN:

En la zona litoral argentina, se emplea en forma generalizada la mampostería de ladrillos cerámicos comunes de 0.15 m de espesor como muro de cerramiento exterior de viviendas. Este espesor resulta insuficiente para lograr adecuadas condiciones de aislamiento higrotérmico, ya que en nuestra zona se requiere que la envolvente presente un espesor mínimo de 0,30 m y revoques en ambas caras.

Para dar una respuesta a esta problemática, se decidió desarrollar ladrillos cerámicos alivianados disminuyendo la densidad mediante la incorporación de poros macroscópicos en la masa del ladrillo cocido por medio de sólidos que se consumen durante la cocción (aplicando procedimientos convencionales de fabricación). De esta manera, se aumenta la capacidad de aislamiento térmico, sin reducciones significativas de resistencia a compresión o incrementos excesivos de costos y se reduce la cantidad de suelo natural utilizada aún aplicando las tecnologías convencionales de fabricación.

Esta iniciativa, se articula también con otras dos situaciones nacionales. Por una parte, la creciente demanda de insumos en la construcción debida a una reactivación del sector. Por otro lado, se ha incrementado en el mundo, el volumen de residuos originados en diversas industrias y en las actividades cotidianas del ser humano, con los consecuentes problemas ocasionados por su acumulación. Esto ha provocado una intensificación de la búsqueda de usos alternativos para los desperdicios.

En la evaluación de diferentes materiales de desecho se obtuvieron comportamientos aceptables al utilizar carbonilla y poliestireno expandido triturado, registrándose con la incorporación de este último residuo una mayor resistencia ante esfuerzos de compresión y una menor conductividad térmica.

En el presente trabajo se analizan los resultados obtenidos para incorporaciones de poliestireno triturado variables entre 33 y 61 % en volumen, con respecto a la cantidad de barro de pisadero. Sobre los ladrillos se determinaron parámetros tales como densidad aparente, porosidad, absorción, conductividad térmica, resistencia a compresión y características morfológicas de los poros introducidos por microscopía, posibilitando la comparación de algunas de estas propiedades de acuerdo al tipo de residuo incorporado (carbonilla o poliestireno expandido triturado).

---

<sup>1</sup> Investigador CECOVI - FRFSF

<sup>2</sup> Becarios CECOVI - FRFSF

<sup>3</sup> Investigador LEMIT y LEMac - FRLP

A partir de estas determinaciones resulta posible establecer niveles de incorporación de residuos óptimos, así como identificar características del sistema de poros que afectan a las propiedades tecnológicas del material obtenido.

Además, se logra mejorar las condiciones de acondicionamiento térmico frente al ladrillo cerámico macizo, con buenos resultados para ladrillos alivianados con carbonilla y aun mejores para los alivianados con poliestireno expandido triturado, que alcanzan los requisitos establecidos por la norma IRAM 11605/96 "Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos".

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos a partir de la incorporación de poliestireno triturado a ladrillos en proporciones variables entre 33 y 61 % en volumen, con respecto a la cantidad de barro de pisadero.

En la zona litoral argentina, es muy generalizado y apropiado el uso de ladrillos cerámicos comunes para la construcción de mampostería de cerramiento de viviendas. Con excepción de los planes implementados por organismos oficiales y en aquellas obras donde interviene un profesional matriculado, en la mayoría de los casos la envolvente se realiza con un espesor de 0,15 m. Este espesor resulta insuficiente para lograr adecuadas condiciones de aislamiento higrotérmico, ya que en nuestra zona se requieren muros de 0,30 m de espesor revocados en ambas caras.

Según la norma IRAM 11605/96, que distingue cuatro zonas bioambientales dentro de nuestro país. La ciudad de Santa Fe se encuentra en la zona II-B, a la cual corresponden valores máximos de transmitancia térmica para condiciones de verano para muros y establece tres niveles de confort higrotérmico, designados con las letras A (recomendado), B (medio) y C (mínimo), respectivamente.

Para el caso de construcciones tradicionales con ladrillos cerámicos macizos, para que un muro exterior cumpla los requisitos normativos, el muro debe tener un espesor mínimo de 0.30 m. El problema es que a causa de la escasez de recursos económicos, los muros exteriores de las viviendas se construyen generalmente con 0.15 m de espesor, obteniendo una transmitancia térmica de  $2.03 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  que supera al límite establecido para condiciones de verano de  $1.80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Por otra parte, la demanda de insumos en la construcción se acrecienta notablemente, debido al gran crecimiento que presenta esta actividad. Este crecimiento alcanza según el INDEC un record histórico en el año 2005 al presentar un valor de 14,6 % con respecto al año anterior y con subas en el mes de diciembre de 24,1% respecto al mismo mes del año 2004. Asimismo, se estimó que el desarrollo hasta marzo del presente año presentará la misma tendencia.

Un claro ejemplo de este crecimiento es el actual desarrollo del "Programa Federal de Construcción de Viviendas" lanzado en el 2004, orientado a mejorar la calidad de vida del país a través de la construcción de 120.000 viviendas, y en busca de fortalecer el proceso de reactivación económico generando unos 360.000 puestos de trabajo. Según lo estimado, este proyecto, demandará aproximadamente  $8.502.000 \text{ m}^2$  de mampostería.

Se ha incrementado también, en el mundo, el volumen de residuos originados en diversas industrias y en las actividades cotidianas del ser humano y los consecuentes

problemas ocasionados por su acumulación. Esto ha provocado una intensificación de la búsqueda de usos alternativos.

Para dar una respuesta a estas problemáticas, se decidió desarrollar ladrillos cerámicos alivianados de iguales dimensiones que las de ladrillos comunes, pero con un mejor desempeño higrotérmico proporcionado por la disminución de la densidad mediante la incorporación de poros macroscópicos en la masa del ladrillo cocido. Estos poros se producen por medio de sólidos provenientes de residuos industriales o domiciliarios que se consumen durante el proceso de cocción.

De esta manera se incrementa la capacidad de aislamiento térmico, sin reducciones significativas de resistencia a compresión o incrementos excesivos de costos, sin desconocer las condiciones de arraigo que presenta el uso de ladrillos cerámicos comunes en esta zona del país.

En este sentido, a partir del análisis de aplicabilidad de diversos residuos, y tomando en cuenta no solo las características técnicas sino su disponibilidad y costo se seleccionaron la carbonilla y el poliestireno expandido triturado.

La carbonilla constituye el deshecho de los hornos de producción de carbón vegetal que se tamiza precariamente o zarandea en las ladrillerías para separar la fracción de carbón que sirve como combustible para quemar en el horno entre las capas de adobes. Esta separación se efectúa mediante una malla metálica con una abertura aproximada de  $\frac{1}{2}$  pulgada. Consecuentemente, este residuo está disponible en cantidades abundantes y sin costo alguno. La incorporación de carbonilla surgió a partir de la observación de las técnicas de armado de hornos, ya que se utiliza entre capas de adobes para lograr una temperatura uniforme.

El poliestireno expandido es un derivado del petróleo que habitualmente se aplica en la industria de la construcción para realizar hormigones livianos, mejorando sus características en cuanto a aislamiento térmico, como combustible para la generación de electricidad o calefacción y, finalmente puede ser dispuesto en rellenos sanitarios, sin riesgos de contaminación de los suelos o del agua subterránea, pero con un volumen excesivo.

Los materiales plásticos ocupan de acuerdo a estadísticas generales el 7% en peso de la cantidad total de residuos domésticos, en Capital Federal estos ocupan el 14% en peso del residuo total. Según datos suministrados por plantas de reciclaje ubicadas en la ciudad de Esperanza, los residuos inorgánicos representan el 36 % del total (aproximadamente 295.000 Kg/mes), con un 24% de residuos recuperables, siendo un 26% de ellos, residuos plásticos.

Una fuente abundante de poliestireno y de mayor interés para nuestro proyecto, reside en la posibilidad de triturar los residuos provenientes del sector comercial y domiciliario. Otra posibilidad es la de utilizar el poliestireno expandido que surge como desperdicio del corte de placas.

Estudios anteriores desarrollados en el CECOVI, con la incorporación de estos residuos en diversas proporciones mostraron que, si bien en todos los casos se logró la disminución de la densidad, los ladrillos de poliestireno expandido presentaron un mejor comportamiento que los alivianados con carbonilla, al obtenerse reducciones comparables en la conductividad térmica con una mayor resistencia a compresión. Esto permitió clasificar exclusivamente a los ladrillos de poliestireno expandido como portantes de acuerdo a la clasificación dada en la norma IRAM 12566-1/05.

## EXPERIMENTAL

Tal como se ha mencionado anteriormente, este desarrollo consiste en incluir a la mezcla de barro de pisadero, poliestireno expandido triturado, en diferentes proporciones y evaluar las características de las piezas, a fin de establecer cual de las dosificaciones responde mejor a las premisas de este proyecto.

Se evaluaron mezclas (en volumen) de 1:0.50, 1:0.65, 1:0.8, 1:0.95, 1:1.1, 1:1.25, 1:1.4, 1:1.55 (barro: poliestireno). La incorporación de mayores volúmenes del residuo no fue posible debido a la insuficiente cohesión que presentaban las mezclas.

Luego se procedió a la realización de pruebas físicas y mecánicas sobre los ladrillos tales como resistencia a compresión (Norma IRAM 12586/04), densidad aparente seca, porosidad total, absorción por inmersión en agua fría (Norma IRAM 12588/80) y conductividad térmica por medio del método de Less y Chorlton.

La porosidad total se determinada a partir de la diferencia entre la unidad y el cociente entre la densidad aparente y la densidad absoluta.

Para la obtención de la densidad absoluta se determinó aplicando el método establecido en la norma IRAM 1624/05, utilizando un volumenómetro de Le Chatelier, con una muestra molida a polvo fino obtenida de los ladrillos.

Finalmente, se realiza un análisis por microscopía del material resultante, con la finalidad de obtener datos sobre la morfología de las oquedades producidas por los dos tipos de residuos utilizados. Para esta determinación se utilizó un microscopio de polarización Olympus, trinocular, con cámara de video de alta resolución y programas computarizados para tratamiento de imágenes y cuantificaciones.

Los resultados obtenidos en la investigación para los ladrillos con diferentes niveles de incorporación de poliestireno triturado, se comparan con aquellos correspondientes a ladrillos sin residuos (patrones) y a ladrillos alivianados con carbonilla en proporciones 1:0.50, 1: 0.60 y 1:0.70 (barro: carbonilla).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se resumen los resultados promedio obtenidos para cada una de las dosificaciones analizadas.

Los resultados obtenidos en la investigación fueron muy alentadores ya que se logró disminuir la densidad en un 40 %, desde valores de 1.50 g/cm<sup>3</sup> para ladrillos macizos hasta 0.9 g/cm<sup>3</sup> para ladrillos con inclusión del poliestireno expandido.

En cuanto a la evaluación de la resistencia a compresión de ladrillos alivianados con poliestireno expandido triturado la mayor disminución observada fue de 51%. Los resultados para cada dosificación se resumen en la gráfica 1.

La norma IRAM 12566-1/05 define diversas categorías de ladrillos de acuerdo a su resistencia a compresión característica. Para ladrillos cerámicos comunes portantes, la resistencia característica a compresión debe variar entre 3.5 y 9 MPa para el tipo 2, entre 9.1 y 15 MPa para el tipo 3 y debe ser mayor de 15 MPa para el tipo 4.

Decimos que la dosificación 1:0.95 presentó el mejor comportamiento, presentando una resistencia a compresión compatible con la clasificación de ladrillo portante (3.8 MPa) y una densidad aparente de 1.09 g/cm<sup>3</sup>.

Tabla 1. Propiedades de los ladrillos estudiados

Dosificación	Cantidad de residuo incorporado [%]	Densidad aparente [g/cm <sup>3</sup> ]	Resistencia a compresión [MPa]	Conductividad térmica [Kcal/hm°C]	Absorción en agua fría [%]	Porosidad [%]
<i>Ladrillos sin incorporación de residuos (patrones)</i>						
1:0.00	0	1,50	10,4	0,568	-	26,5
<i>Ladrillos con incorporación de Carbonilla</i>						
1:0.50	33	1,10	3,5	0,358	-	57,0
1:0.60	37	1,03	1,9	0,355	-	59,7
1:0.70	41	0,92	2,0	0,411	-	63,9
<i>Ladrillos con incorporación de poliestireno Triturado</i>						
1:0.50	33	1,23	4,0	0,501	16,8	44,3
1:0.65	39	1,15	3,8	0,420	19,5	52,5
1:0.80	44	1,09	3,4	0,454	20,5	52,1
1:0.95	49	1,09	3,8	0,469	21,5	53,3
1:1.10	52	0,98	2,4	0,366	24,2	57,4
1:1.25	55	0,96	2,1	0,429	23,6	57,4
1:1.40	58	0,94	2,5	0,419	25,7	58,1
1:1.55	61	0,92	1,7	0,331	28,4	57,5

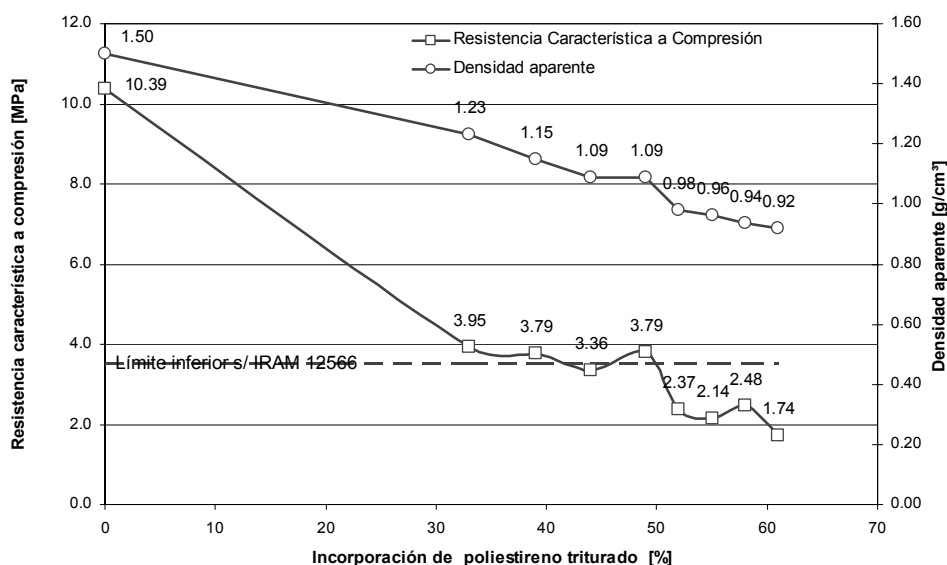


Gráfico 1: Variación de la Resistencia característica a Compresión y densidad, en función del porcentaje de poliestireno triturado incorporado

Estas reducciones en la resistencia a compresión pueden explicarse a través de la relación existente entre la porosidad y la resistencia a compresión, que es muy importante cuando hablamos de materiales frágiles como los ladrillos cerámicos.

Existe una curva que representa la variación de la resistencia en función de la porosidad [2], basada en la siguiente expresión:  $S = S_0 \cdot e^{-kP}$ , donde S es la resistencia,  $S_0$  la resistencia a porosidad cero (o resistencia intrínseca), P la porosidad y K una constante. Se ha probado que la resistencia depende principalmente de la porosidad, esto ha sido demostrado para distintos materiales, así la relación S/ $S_0$  comparada con la porosidad, presenta una ley similar para los materiales ensayados (Gráfica 2).

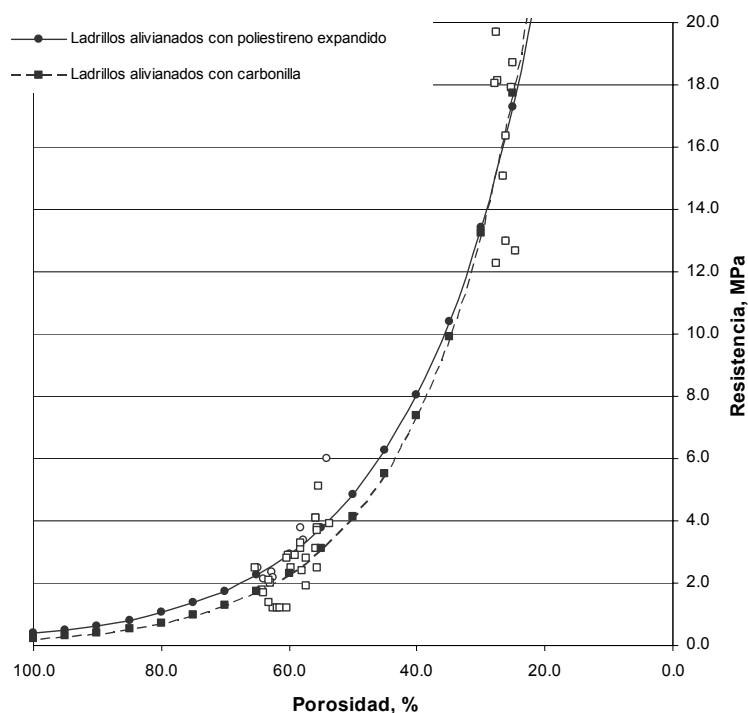


Gráfico 2: Curva de variación de la resistencia a compresión en función de la porosidad total de los ladrillos.

Puede apreciarse que para incorporaciones de residuos mayores a 40 %, los ladrillos de carbonilla tienden a presentar una resistencia a la compresión menor que aquellos que contienen igual proporción de poliestireno expandido triturado. Si tomamos en consideración que la matriz (barro de pisadero) es la misma para ambos tipos de ladrillos, puede inferirse que la razón de una reducción de resistencia más significativa se relacione con la tipología de los poros producidos por cada residuo.

Como se puede notar en la gráfica 3, resultantes de los análisis microscópicos realizados, los macroporos originados por la calcinación de carbonilla, presentan una forma angulosa y se producen en sus extremos fisuras ramificadas que debilitan la zona. Estas formas angulosas pueden redundar, asimismo, en una importante concentración de tensiones. Contrariamente, para el caso de los macroporos originados por la calcinación de poliestireno expandido triturado, las celdas poseen una forma regular esférica, con bordes bien definidos y sin fisuración alguna.



Gráfica 3. Macroporos generados por calcinación de residuos a) carbonilla y b) poliestireno expandido triturado

Al analizar los resultados del ensayo de conductividad térmica por el método de Less y Chorlton, se puede apreciar que existe una disminución de esta propiedad a medida que se incorpora poliestireno expandido triturado. Este comportamiento se relaciona con un mayor contenido de poros, tal como sucede en el caso de los hormigones celulares [3] que deben su mayor capacidad de aislamiento térmico a los poros llenos de aire estanco incorporados dentro de su masa.

En la gráfica 4 puede notarse que la conductividad térmica decrece a medida que se incrementa la porosidad total de los ladrillos.

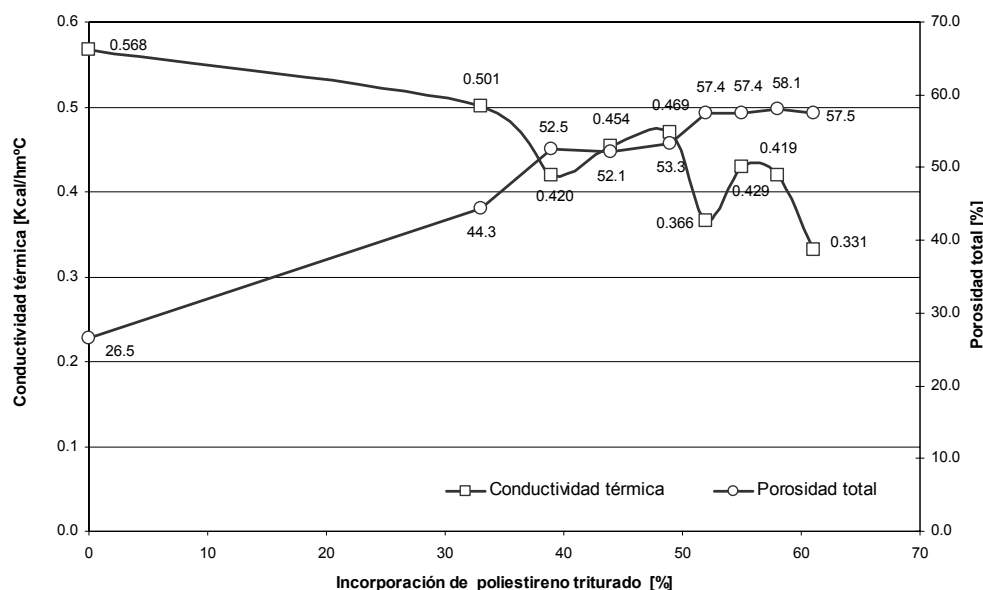


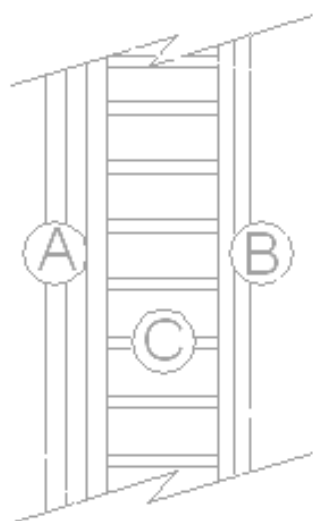
Gráfico 4: Curva de variación de la porosidad y conductividad térmica de ladrillos alivianados en función del porcentaje de poliestireno triturado incorporado

La menor conductividad térmica obtenida en las pruebas corresponde a la dosificación 1:1.10 (barro: poliestireno expandido triturado) con un valor medio de 0.366 Kcal/hm°C, para una densidad aparente de 0.98 g/cm<sup>3</sup>. Para la dosificación 1:0.95 que presenta una densidad de 1.09 g/cm<sup>3</sup> y una resistencia a compresión que permite clasificar a los ladrillos como portantes, se obtuvieron valores de conductividad térmica promedio de 0.469 Kal/hm°C y un valor mínimo de 0.449 Kal/hm°C. Si bien estos valores representan el mejor aislamiento térmico posible, permiten disminuir la conductividad térmica casi en un 21% con respecto a ladrillo común.

Con estos valores experimentales de conductividad térmica, se realizó el cálculo de la transmitancia térmica de tres paquetes constructivos, los cuales difieren en el espesor del muro, considerándose diferentes anchos del ladrillo utilizado, siendo este de 0.13 m, 0.17 m y 0.20 m. Los paquetes constructivos analizados cuentan con revoque grueso y fino en el interior y revoque impermeable, grueso y fino al exterior, tanto para ladrillos alivianados como para ladrillos macizos.

Los ladrillos macizos de 13 cm de espesor no cumplen con el mínimo nivel de confort higrotérmico establecido (1.80 W/m<sup>2</sup> K), ya que la transmitancia resulta de 2.03 W/m<sup>2</sup> K.

Para ladrillos alivianados con carbonilla, correspondientes a la dosificación elegida como óptima (1:0.60), los resultados de transmitancia térmica se encuentran entre los niveles mínimo y medio, con valores de 1.59 W/m<sup>2</sup>K para los muros de 13 cm de espesor, 1.35 para los de 17 cm y 1.21 W/m<sup>2</sup>K para los de 20 cm.



A – Revoque Fino  
Revoque Grueso  
Revoque Impermeable

Espesor de cada capa: 2.5 cm  
Espesor total: 7.5 cm

B – Revoque Grueso  
Revoque Fino

Espesor de cada capa: 2.5 cm  
Espesor total: 5 cm

C – Muro ladrillo cerámico

Espesor variable: 13, 17 y 20 cm

Gráfica 5. Detalle constructivo propuesto para el cálculo de transmitancia térmica

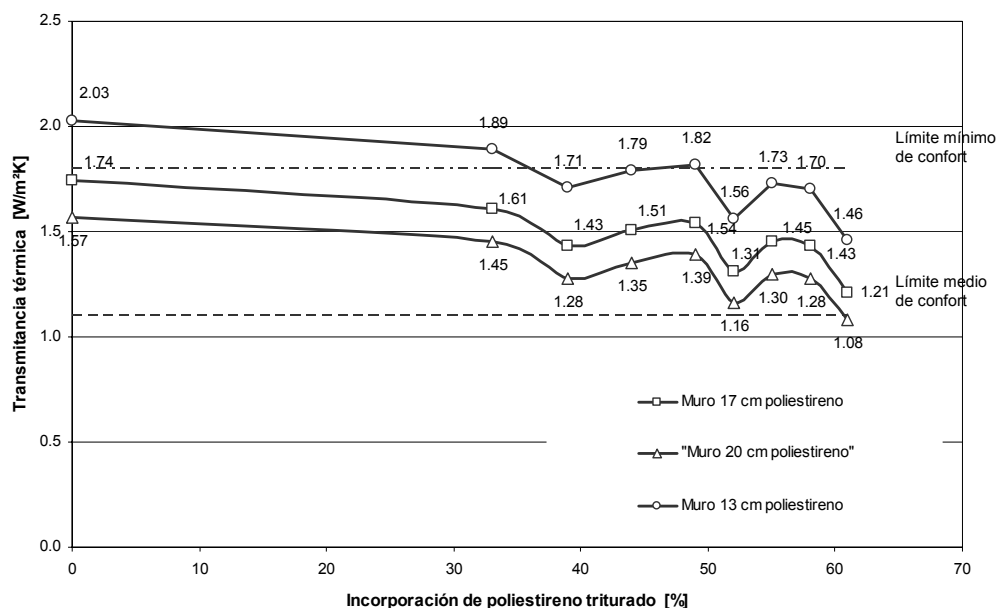


Gráfico 6: Resultados del cálculo de transmitancia térmica para muros de distintos espesores.

En el caso de ladrillos alivianados con poliestireno triturado, puede indicarse que solo dos dosificaciones producen valores de transmitancia térmica para muros de 13 cm de espesor que superan el nivel C, es decir que no alcanzan el mínimo nivel de confort higrotérmico exigido por la normativa ( $1.80 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), correspondiendo a las dosificaciones 1:0.5 y 1:0.95 con valores de  $1.89$  y  $1.82 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Los demás resultados, correspondientes a ladrillos alivianados con poliestireno triturado, están comprendidos entre los niveles medio y mínimo de confort higrotérmico, con valores desde  $1.10$  a  $1.80 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Por ejemplo para muros realizados con ladrillos de 13 cm de ancho, los valores se encuentran entre  $1.46$  y  $1.79 \text{ W/m}^2\text{K}$ , para los de 17 cm, corresponde un rango de  $1.21$  a  $1.61 \text{ W/m}^2\text{K}$  y para el tercer paquete compuesto de ladrillos de 20 cm de ancho, valores de  $1.08$  a  $1.45 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

El mejor comportamiento aislante, en cuanto a ladrillos con incorporación de poliestireno triturado, se atribuye a la dosificación 1:0.95 mostrando buenos resultados en cuanto a confort higrotérmico, con valores de 1.70, 1.45 y 1.31 W/m<sup>2</sup>K, correspondientes a muros de 13 cm, 17 cm y 20 cm, respectivamente.

## CONCLUSIÓN

Incorporando al ladrillo cerámico residuos tales como carbonilla y poliestireno expandido, puede concluirse que los ladrillos alivianados con poliestireno expandido triturado presentan mejor comportamiento ante esfuerzos de compresión, debido a la forma esférica de los macroporos formados en el seno del ladrillo y a la inexistencia de fisuras en su perímetro.

A partir de los resultados de los ensayos y cálculos realizados, es posible identificar una dosificación que presenta un resultado óptimo respecto de los requisitos de resistencia a compresión, conductividad térmica y densidad. Así, se establece como proporción óptima a 1:1 (barro: poliestireno expandido triturado) que corresponde a una interpolación entre las dosificaciones 1:0.95 y 1:1.10.

Aplicando esta dosificación óptima se consigue una resistencia característica a compresión suficiente para clasificar a los ladrillos alivianados como portantes, un nivel de confort higrotérmico aceptable (mínimo) para anchos de ladrillos de 13 cm y una disminución de 29 % con respecto al patrón.

## AGRADECIMIENTOS

La concreción de este trabajo fue posible gracias a la colaboración de la empresa LADRIMAR S.C. de los Sres. Marinoni.

Agradecemos también la colaboración de investigadores del LEMIT (Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica) por la realización de los análisis microscópicos sobre el material resultante.

## BIBLIOGRAFIA

[1] J. Citroni, A. González, M.F. Carrasco, M. Avendaño, A. Botterón. "Ladrillos cerámicos alivianados elaborados a partir de la utilización de residuos", VIII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y X Congreso de Control de Calidad en la Construcción (CONPAT 2005). Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de las Construcciones (ALCONPAT). Asunción (Paraguay), 19 - 21 de Septiembre/2005

[2] S. Mindess & J. Young. Concrete. Prentice. Hall, inc. Englewood, Cliffs. p. 194-197. New Jersey. 1981.

[3] "Hormigones Celulares", R.E.Miretti, R.O.Grether, M.F.Carrasco – "Hormigones Especiales", XV Reunión Técnica de la Asociación Argentina de tecnología del Hormigón.

Norma IRAM 11605/96 "Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos"

Norma IRAM 12566-1/05 Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de tabiques y muros. Parte 1: Macizos.

Norma IRAM 12586/04 Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros. Método de ensayo de resistencia a la compresión.

Norma IRAM 12588/80 Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros. Método de ensayo de la resistencia a la intemperie. Capacidad de absorción de agua por inmersión en agua fría y en agua hirviendo.