

## **LADRILLOS DE PET RECICLADO. MODIFICACIONES PARA LA RENOVACIÓN DEL CERTIFICADO DE APTITUD TÉCNICA SEGÚN LA NORMATIVA ACTUAL**

**Rosana Gaggino<sup>1</sup>, Halimi Sulaiman<sup>2</sup>, Jerónimo Kreiker<sup>3</sup>, Lucas Peisino<sup>4</sup>, Julián González Laría<sup>5</sup>**

Centro Experimental de la Vivienda Económica - CEVE, dependiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas -CONICET- y de la Asociación de Vivienda Económica -AVE, Córdoba. Tel. 0351-4894442 email: rgaggino@ceve.org.ar

*Recibido 19/08/18, aceptado 27/09/18*

**RESUMEN:** En esta investigación se utiliza un material novedoso en la fabricación de ladrillos: el polietilén – tereftalato (PET) reciclado, procedente de botellas gaseosas descartables. Estos ladrillos se utilizan en mamposterías para muros. El objetivo de este trabajo es verificar el cumplimiento de la normativa actual vigente en el país en lo referido al Acondicionamiento Higrotérmico, en este tipo de cerramientos. La metodología usada fue diseñar el cerramiento con sus diferentes capas constitutivas, y realizar el cálculo de la Transmitancia Térmica y la verificación de Condensación superficial e intersticial, para verificar que no se supere el valor máximo establecido en el Nivel B de la Norma IRAM 11605:1996, en cumplimiento de la Norma IRAM 11603:2012. Se aplicó el Programa para el cálculo de Transmitancia Térmica y verificación de Condensación superficial e intersticial, desarrollado por el CEEMA (Centro de Estudios Energía y Medioambiente-IAA-FAU-UNT). El resultado fue la verificación del cumplimiento de la normativa.

**Palabras clave:** ladrillos, plástico reciclado, acondicionamiento higrotérmico.

### **INTRODUCCION**

La construcción del hábitat humano ha perjudicado notablemente el medio ambiente natural. Para satisfacer su necesidad de vivienda, el hombre construye utilizando materiales que obtiene de la naturaleza (tierra fértil, madera, etc.) devastando el suelo, y aplicando tecnologías contaminantes del medio ambiente, con una visión a corto plazo no ecológica.

Además, la producción de residuos de las grandes ciudades es enorme y creciente. En la mayoría de las grandes ciudades de Argentina se produce 1 kg. de basura por persona por día, de la cual un 4,7% (en peso) corresponde al plástico PET (Leider y Dekker, 1990). En nuestro país el porcentaje de reciclado es muy bajo, no supera el 10 %, a diferencia de otros países de Europa como España, Suiza y Francia, y otros de Latinoamérica como Brasil y México, los cuales están más adelantados en cuanto a la conciencia ecológica (Ministerio de Salud y Ambiente de Argentina, 2010).

Por esta razón en el CEVE (Centro Experimental de la Vivienda Económica CONICET- AVE) de Córdoba se han desarrollado elementos constructivos para la vivienda de interés social, fabricados con materiales reciclados, con el doble propósito de colaborar en paliar la crisis habitacional del país y en la descontaminación del medio ambiente, problemáticas ambas de importancia indiscutible. Uno de estos elementos constructivos es el ladrillo elaborado con polietilén-tereftalato (PET) proveniente de botellas de bebidas descartadas trituradas, y cemento Pórtland como ligante. El desarrollo tecnológico de este elemento constructivo está detallado en la siguiente publicación (Gaggino, 2003).

Es una alternativa ecológica, porque se aprovecha un material de descarte, evitando la quema o acumulación de los mismos en basurales, o su enterramiento en el predio sanitario municipal; y porque

<sup>1</sup> Doctora. Investigadora Independiente CONICET

<sup>2</sup> Doctora. Investigadora Asistente CONICET

<sup>3</sup> Doctor. Investigador Adjunto CONICET

<sup>4</sup> Doctor. Investigador Asistente CONICET

<sup>5</sup> Becario Doctoral CONICET

el proceso de elaboración de los elementos constructivos no es contaminante del medio ambiente.

También propone el reemplazo de una tecnología muy arraigada en nuestra sociedad latinoamericana, para la construcción de viviendas, como es la mampostería de ladrillo común de tierra cocida (elaborado con un recurso no renovable). Este tipo de ladrillo, por sus dimensiones y condiciones físicas, ha resultado ser un material constructivo de aceptación universal. No obstante, su forma de producción, a partir de la extracción de la capa de tierra superficial vegetal (humus), y posterior quemado en grandes hornos a cielo abierto, constituye un verdadero problema ecológico que se puede corregir, ya que produce desertificación del suelo, contaminación atmosférica (por el humo generado), y tala de árboles para obtener la leña necesaria para el funcionamiento del horno.

En esta investigación se presenta una alternativa para la realización de ladrillos que, continuando o mejorando los logros del ladrillo común, puedan ser producidos sin las consecuencias negativas indicadas, para la construcción de mamposterías en viviendas.

Estos ladrillos con plástico reciclado poseen la calidad técnica necesaria para ser utilizados en cerramientos no portantes en la construcción, según la normativa de nuestro país, establecida en los Estándares Mínimos de Calidad para la Vivienda de Interés Social, aprobados por Resolución N° 9/2017 de la Secretaría de Vivienda del Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda de la Nación. Se han realizado todos los ensayos requeridos para la aprobación del Certificado de Aptitud Técnica -CAT, en los laboratorios normalizados de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, y en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial -INTI- de Buenos Aires. Luego de la aprobación inicial del CAT en el año 2006, hubo sucesivas renovaciones anuales de este Certificado; y en julio del año 2017 se produce un nuevo requerimiento por parte de la Secretaría de Vivienda del Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda de la Nación para proceder a su renovación: que el valor de la Transmitancia térmica no supere el Nivel B de IRAM 11605:1996, cumpliendo IRAM 11603:2012. Esto surge por la necesidad de reducir el consumo energético en climatización de viviendas, desde una óptica sustentable. Por lo cual se realizó una propuesta de modificación en los revoques de la mampostería, y un nuevo cálculo de Acondicionamiento Higrotérmico que se presenta en este trabajo.

## **OBJETIVOS DEL TRABAJO**

### **Objetivos generales:**

- Dar un destino útil a parte de la basura urbana, con una visión ecológica.
- Desarrollar una tecnología apropiada para la vivienda de interés social.
- Desarrollar elementos constructivos que cumplan con la normativa vigente en el país en cuanto a la calidad técnica.

### **Objetivos específicos:**

- Rediseñar el cerramiento con mampostería de ladrillos de PET para cumplir la normativa vigente en nuestro país en cuanto al Acondicionamiento Higrotérmico, establecida en los Estándares Mínimos de Calidad para la Vivienda de Interés Social, aprobados por Resolución N° 9/2017 de la Secretaría de Vivienda del Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda de la Nación.
- Realizar un nuevo Cálculo de la Transmitancia Térmica del cerramiento de mampostería de ladrillos de PET modificado, para cumplir con la Norma IRAM 11605:1996 (Nivel B) según requerimiento de la Secretaría de Vivienda del Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda de la Nación.
- Renovar el Certificado de Aptitud Técnica -CAT, luego de cumplimentar todos los requisitos.

## **ANTECEDENTES**

Existen numerosos ejemplos internacionales de utilización de plásticos reciclados en elementos constructivos.

Se diferencian de los elementos constructivos desarrollados en esta investigación por:

- Utilizar distintos procedimientos de elaboración.
- Incorporar otros materiales constitutivos.
- Tener diferente dosificación de materiales.
- Poseer distinto diseño.

- Tener diferentes propiedades técnicas (densidad, resistencia mecánica, aislación térmica, absorción de agua, etc.).

Los principales antecedentes que se citan son composiciones patentadas en E.E.U.U.: (Magnani, 1991), (Sawyers, 1995), (Berg y Rinno, 1997), (Han, 1996), (Hammond y Warren, 1999), (Lupo y Tre, 1999), (Spakousky, 1999), (Porter, 2001), (Nosker y Renfree, 1998), (Avakian y Parekh, 1991), (Prusinski, 1984), (Nagayasu, 1989), (Raponi, 1977), (Fontein y Dreissen, 1977), (Hoedl, 1991), (Jenkins, 1994).

También las siguientes publicaciones: (Betoli, Silva, Gleize, Roman y Gómez, 2004), (Cáceres, Giaccio, Positieri, Oshiro, 2006) y (Rebeiz 1995).

En todos estos trabajos arriba mencionados, que se han analizado como antecedentes, se han utilizado materiales plásticos descartables en elementos constructivos.

En algunos casos se han obtenido productos de alta calidad utilizando tecnologías complejas, con procesos de reciclado químico del PET, altamente mecanizados y automatizados, impracticables en nuestro medio por su alto costo.

La originalidad del trabajo desarrollado en esta investigación es que se utiliza una tecnología barata, de fácil aprendizaje, con proceso de reciclado mecánico del PET, adecuada para la ejecución de viviendas económicas y ecológicas, tema con mínimos antecedentes en nuestro país. El análisis de antecedentes formó parte de la documentación presentada para obtener la patente del ladrillo de PET. Esta patente fue otorgada en el año 2008, por parte del Instituto Nacional de Propiedad Intelectual, y tiene una vigencia de 20 años (Berretta, Gaggino y Arguello, 2008).

## PROCESO DE FABRICACIÓN

*Materias primas:* Cemento Portland común, Polietileno-tereftalato (PET) proveniente de envases descartables de bebidas, aditivo para mejora de resistencia y fraguado, y agua de red.

*Equipamiento:* molino triturador de plásticos, hormigonera, y bloquera manual para moldeo de ladrillos.

*Procedimiento de fabricación:* Las botellas de PET se trituran para llegar a un tamaño máximo de partículas de 3 mm. (Ver molino en Fig. 1). Se mezcla en una hormigonera el PET, el cemento, el agua y el aditivo. Luego, se procede al moldeo de los componentes, mediante compactación por golpes. Se realiza la postura en una pista cementicia alisada (Ver Fig. 2). Los componentes permanecen en la pista de postura 24 horas. Luego se levantan y se los lleva para el proceso de curado durante 28 días con agua, por rociado o sumergido en batea con agua para asegurar un correcto fraguado (Ver Fig. 3). Transcurrido este tiempo, los ladrillos están listos para su uso (Ver Fig. 4). Se pueden aplicar en mamposterías no portantes (Ver Fig. 5) o en placas de ladrillos. En diversos tipos de construcciones: viviendas, oficinas o galpones (Ver Fig. 6).



Fig. 1. Molino para el triturado de PET.

Fig. 2. Moldeo de los ladrillos.



Fig. 3. Acopio para el curado.

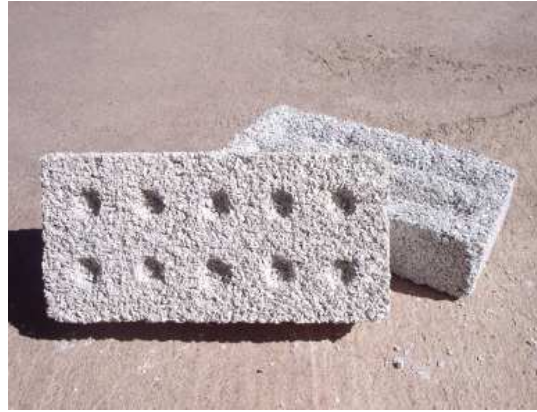


Fig. 4. Ladrillos de PET terminados.



Fig. 5. Montaje de una mampostería.



Fig. 6. Prototipo con ladrillos de PET en Unquillo.

## ESPECIFICACIONES PARA SU USO

*De los morteros a aplicar en juntas:* Son morteros reforzados de albañilería, al igual que los que se utilizan en mamposterías de ladrillos de tierra cocida.

Dosificación:  $\frac{1}{4}$ : 1: 3 (cemento: cal: arena gruesa, en proporción de volúmenes).

*De los revoques a aplicar en superficies:* Cuando se realizó el trámite de obtención del Certificado de Aptitud Técnica -CAT- otorgado en el año 2006, se había especificado que se utilizarían morteros reforzados de albañilería, al igual que los que se aplican en mamposterías de ladrillos de tierra cocida.

Dosificación: Azotado grueso: 1: 3 (cemento: arena gruesa); Grueso:  $\frac{1}{4}$ : 1: 3 (cemento: cal : arena gruesa) y Fino:  $\frac{1}{8}$  : 1 : 3 (cemento : cal : arena fina).

Pero a partir de julio de 2017, la Secretaría de Vivienda del Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda de la Nación ha aumentado la exigencia en cuanto al Acondicionamiento Higrotérmico, requiriendo que se aplique la Norma IRAM 11605:1996 (Nivel B). Esta nueva exigencia está motivada en la necesidad de una mayor eficiencia energética en las construcciones, para disminuir gastos y promover la Construcción Sustentable.

Por esta razón en el CEVE se realizó un nuevo diseño del cerramiento de mampostería con ladrillos, de PET, reemplazando los revoques cementicios de tipo tradicionales (azotado, grueso y fino) por un tipo de revoque conocido en el mercado como Base Coat. Consiste en un mortero cementicio compuesto por agregados minerales seleccionados, aditivado con polímero. Se utiliza generalmente en la construcción como revoque en sistemas de construcción en seco y aislaciones térmicas; especialmente diseñado para sistemas EIFS, de muy buena adherencia e hidro repelencia. Es apto para ser aplicado sobre paneles de poliestireno expandido, placas de yeso, bloques de hormigón celular en autoclave (HCCA), hormigón etc. Se utiliza también en sistemas de aislación térmica para adherir o fijar placas de poliestireno a soportes, o malla y base niveladora de revestimiento final.

Con dos capas de revoque de Base Coat de 1,5 cm. de espesor, una en el paramento interior y otra en el paramento exterior de los muros exteriores de la vivienda, la Transmitancia Térmica del cerramiento verifica cumpliendo los requisitos de la Norma IRAM 11605:1996 (Nivel B).

## PROPIEDADES TÉCNICAS DE LOS COMPONENTES

En la tabla 1 se muestran las principales propiedades técnicas de los componentes.

Propiedades técnicas	Dimensiones	Valor
Dimensiones	cm	5,50 x12,50 x 26,20
Peso	kg	1,4
Peso específico	kg/m <sup>3</sup>	1150
Absorción de agua (en peso)	%	19,1
Absorción de agua en volumen	kg/m <sup>3</sup>	214
Resistencia a la compresión	MPa	2,00
Adherencia de revoques	Mpa	0,25
Conductividad Térmica	W/mK	0,15
Permeabilidad al vapor de agua	g/mhkPa	entre 1,76 y 3,81 x 10 <sup>-2</sup> ± 4%
Resistencia acústica	db	41

Tabla 1. Propiedades técnicas de los ladrillos con PET reciclado

### Otros Ensayos

*Envejecimiento con tratamiento de QUV Panel:* El resultado del ensayo fue Satisfactorio. El ensayo consiste en la colocación de las muestras durante 1500 hs, 9 semanas, en una cámara donde se las somete al siguiente ciclo diario: 4 hs. de radiación ultravioleta a 60 °C, y 4 hs. de condensación de vapor de agua a 40 °C. Antes y después de someter las muestras a estas condiciones, se realiza un Ensayo de Resistencia a la Compresión, para verificar la variación de la misma. La resistencia a la compresión característica posterior al envejecimiento disminuyó un 25 %, siendo 2,00 MPa el valor obtenido previo al tratamiento y 1,5 MPa el valor obtenido posterior al tratamiento.

*Resistencia al fuego:* El ladrillo de PET se clasifica como Clase RE 2: Material combustible de muy baja propagación de llama, según el laboratorio del INTI de Buenos Aires.

*Aptitud para el clavado y aserrado:* Este ladrillo es fácil de clavar y aserrar, por lo que tiene aptitud para constituir sistemas constructivos no modulares.

## CÁLCULO DE ACONDICIONAMIENTO HIGROTÉRMICO

La presente propuesta de Muro de ladrillo de cemento y PET cumple con la Zona Bioclimática III del país. El cálculo contempla una temperatura exterior de diseño de -4,3°C (tabla 1 apartado 5.2 de la Norma IRAM 11605:1996 Para la determinación del K se utilizó el método y los coeficientes de conductividad térmica contenidos en la Norma IRAM Nro. 11601:2002. El sistema sólo ha sido modificado en sus revoques para que sus resultados cumplan con el Nivel B requerido de la Norma IRAM 11605, obligatorio desde julio 2017.

Para los cálculos se utilizó el Programa Para el Cálculo de Transmitancia Térmica y Verificación de Condensación Superficial e Intersticial, Desarrollado por el CEEMA (Centro de Estudios Energía y Medioambiente-IAA-FAU-UNT). (Gonzalo et al., 2005), (Gonzalo, 1989). Los datos de conductividad térmica de los materiales fueron tomados de la Norma IRAM Nro. 11601:2002, en el caso del Base Coat los datos fueron tomados de las siguientes referencias:

[https://marmoline.s3.amazonaws.com/system/uploads/document/file/191/TDS\\_\\_TL\\_2\\_\\_eng\\_.pdf](https://marmoline.s3.amazonaws.com/system/uploads/document/file/191/TDS__TL_2__eng_.pdf).

[http://panelrey.com/sites/default/files/BeseCoat\\_PermaBase.pdf](http://panelrey.com/sites/default/files/BeseCoat_PermaBase.pdf).

Se destacan los parámetros claves en el cálculo correspondientes a la Norma IRAM 11603:2012 Córdoba AERO Zona bioclimática IIIa: la temperatura exterior de diseño -4,3 °C y la humedad



relativa exterior de diseño 67%. (ver Tabla 1). El valor de conductividad térmica del ladrillo de PET corresponde a los ensayos realizados y presentados en el CAT aprobado anteriormente.

- El  $k_{max}$  admisible se calculó según la Tabla 1 de la norma IRAM 11605:1996. Para una  $TED = -4,3^{\circ}C$ , los  $K_{max}$  admisibles son para los niveles A (ecológico) =  $0,31 W/m^2K$ ; B (recomendado) =  $0,83 W/m^2K$ ; y C (mínimo) =  $1,45 W/m^2K$ .

- Las resistencias térmicas superficiales ( $R_s$ ) se obtuvieron de la tabla 2 de la norma IRAM 11601:2002. En el invierno, para un flujo de calor ascendente, corresponde un  $R_{sinterior} = 0,13 m^2K/W$  y un  $R_{sexterior} = 0,04 m^2K/W$ .

A continuación, se presentan el detalle constructivo del muro calculado (Fig. 7) y las condiciones de cálculo, al igual que los mismos con sus nuevas capas respecto a la versión original.

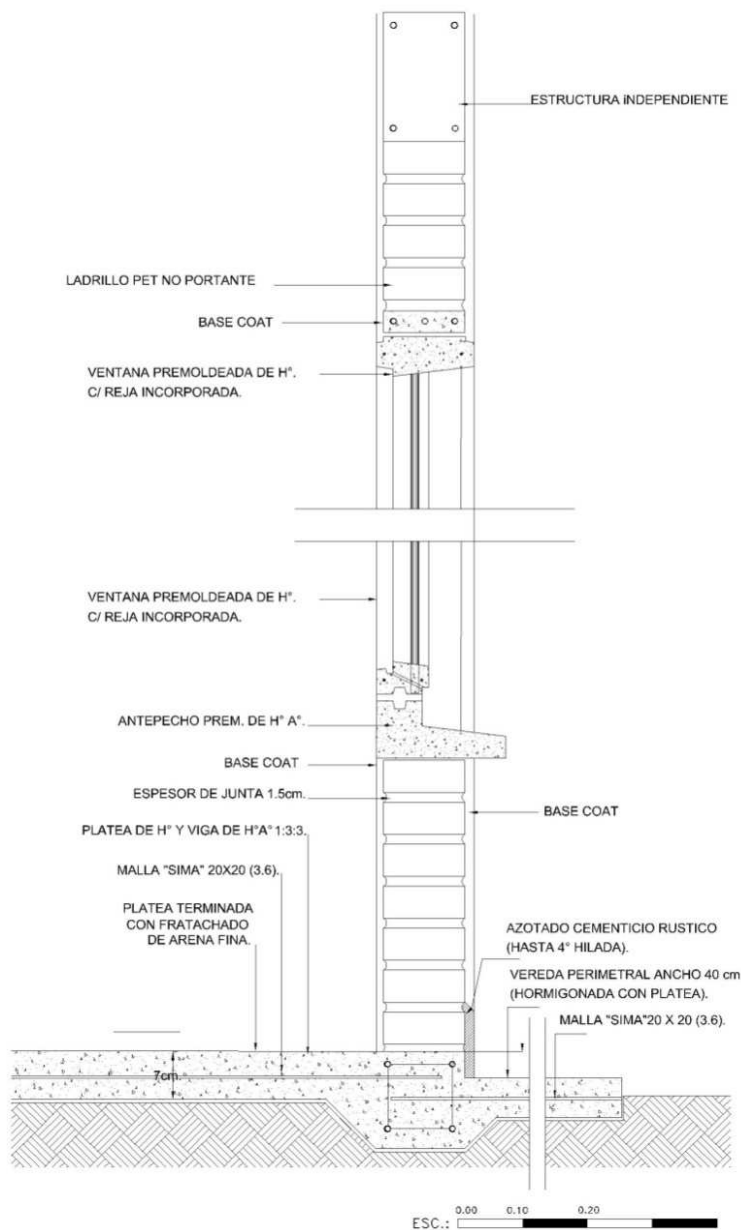


Figura 7. Detalle del sistema constructivo calculado.

**CENTRO DE ESTUDIOS ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE - IAA - FAU - UNT**

<b>OBRA:</b>	CAT
<b>SITUACION:</b>	CORDOBA OBS.
<b>OPERADOR:</b>	HALIMI SULAIMAN
<b>FECHA:</b>	30/11/2017

CARACTERISTICAS DEL LUGAR	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIONES
Nombre de la localidad:		CORDOBA	
Altura sobre el nivel del mar:	m	400	
Zona bioambiental: (x)		3	
Tipo de cerramiento:		M	
Temperatura interior de diseño invierno: (x)	°C	18	
Temperatura exterior de diseño invierno: (x)	°C	-4,3	
Humedad relativa interior de diseño :	%	63	
Humedad relativa exterior de diseño:		67	VALOR PRESCRIPTO POR NORMAS
Presión de vapor interior:	kPa	1,36	
Presión de vapor exterior:	kPa	0,31	

CARACTERISTICAS DEL CERRAMIENTO	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIONES
Características del cerramiento		Muro doble con aislación, BENO	
Resistencia de cámara de aire invierno:	m <sup>2</sup> .K/W	0,17	VER PLANILLA RECA
Resistencia superficial interior invierno:	m <sup>2</sup> .K/W	0,13	VER PLANILLA RECA
Resistencia superficial exterior invierno:	m <sup>2</sup> .K/W	0,04	VER PLANILLA RECA
Coefficiente absorción (color) sup.exterior:		0,35	VER PLANILLA COLOR
Resistencia de cámara de aire verano:	m <sup>2</sup> .K/W	0,17	VER PLANILLA RECA
Resistencia superficial interior verano:	m <sup>2</sup> .K/W	0,13	VER PLANILLA RECA
Resistencia superficial exterior verano:	m <sup>2</sup> .K/W	0,04	VER PLANILLA RECA

Tabla 2. Datos considerados en el Cálculo

**CENTRO DE ESTUDIOS ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE - IAA - FAU - UNT**

PLANILLA PARA LA INCORPORACION DE

DATOS PARA CADA CAPA DEL CERRAMIENTO

Nº Elem.	CAPAS	Espesor m	Conduc-tividad W/m.K	Resist. térmica m <sup>2</sup> .K/W	Peso Espec. Kg/m <sup>3</sup>	Peso Unit. Kg/m <sup>2</sup>	VERIFICA K SINO		VERIFICA QUE NO CONDENSA		Temp. real (°C)	Temp. rocío (°C)	
							MINIMO	SI VERIFICA	SUPERFICIAL	SI VERIF.			
	AIRE INTERIOR												
	R.S.I												
			Ver Planilla CONDUC	0,130			Ver Planilla PERM	Ver Planilla PERM			1,36	18,00	
1	revoque	0,0150	0,470	0,5	1450	21,8		0,8100	1,23		1,36	16,07	10,76
2	PET	0,1250	0,150	0,833	1150	143,8	0,025		5,00		1,19	9,11	8,69
3	revoque	0,0150	0,470	0,032	1450	21,8		0,8100	1,23		0,48	-3,23	-3,76
4											0,31	-3,71	-8,15
5											#N/A	#N/A	#N/A
6											#N/A	#N/A	#N/A
7											#N/A	#N/A	#N/A
8											#N/A	#N/A	#N/A
9											#N/A	#N/A	#N/A
10											#N/A	#N/A	#N/A
11											#N/A	#N/A	#N/A
	R.S.E			0,040							0,31	-4,30	
	AIRE EXTERIOR										0,31	-4,30	
		Res.Ter.Tot:	K=1/Rt	Peso Total					Resis.paso vapor tot.				
	Espesor Total:	0,155		1,505	0,664	187,25			7,469				

Tabla 3: Cálculo de Transmitancia térmica del MURO PET.

Como se observa en la tabla 3 el muro propuesto verifica, no sólo el Nivel C, sino también el Nivel B, recomendado por la norma. El valor calculado es un 20% menor al requerido. Los beneficios más relevantes se detallan en las conclusiones finales.

PLANILLA PARA LA VERIFICACION DE K DE NORMA IRAM 11605/96 [°W/m2.K]

TIPO DE K	VERANO	INVIERNO	VERANO C/COLOR	VERIFICACION
K calculado:	0,66	0,66		
K mínimo C	2,00	1,45	2,40	SI VERIFICA
K recomendado B	1,25	0,83	1,50	SI VERIFICA
K ecológico A	0,50	0,31	0,60	NO VERIFICA

Tabla 4: Verificación de la Transmitancia térmica según Norma IRAM 11605/96

Verificación del riesgo de condensación superficial e intersticial según la Norma IRAM Nro. 11603:2012 y en la Norma IRAM Nro. 11625:2000. Se incluye todo el cálculo además de sus resultados y el gradiente térmico.

VERIFICACION CONDENSACION SUPERFICIAL

CONDICIONES SUP. INT.	UNIDAD	VALOR	VERIFICACION
Presión de vapor interior	kPa	1,36	
Presión de vapor exterior	kPa	0,31	
Diferencia de temperatura (Ti-Te)	°C	22,30	
Resistencia superficial interior	m².K/W	0,17	
Caída de temperatura en la sup. int.	°C	2,45	
Temperatura de la superficie interna	°C	15,55	
Temperatura de rocío sup. int.	°C	10,76	NO CONDENSA

Tabla 5: Verificación a la condensación superficial MURO PET.

La tabla 5 demuestra que la tecnología propuesta no presenta condensación superficial. Cabe destacar la importante amplitud térmica a la que está sometido el muro (22,30 °C) según los nuevos valores de la norma versión 2012.

Verificación a la condensación intersticial

Por su parte la Tabla 6 detalla las temperaturas de cada capa del elemento constructivo considerando las resistencias superficiales en cada una de las mismas y la temperatura real resultante. Como se muestra en las tablas 7 y 8 y figura 8 el muro propuesto no presenta condensación entre capas.

TEMP.DE CADA CAPA	DIF.TEMP	R.S.(n)	R.S.Tot.	Temp.Real
T INT	18,00			18,00
1º CARA	18,00			18,00
T 1	18,00	0,130		16,07
T 2	16,07	0,470		9,11
T 3	9,11	0,833		-3,23
T 4	-3,23	0,032		-3,71
T 5	#N/A	0,000		#N/A
T 6	#N/A	0,000		#N/A
T 7	#N/A	0,000	1,505	#N/A
T 8	#N/A	0,000		#N/A
T 9	#N/A	0,000		#N/A
T 10	#N/A	0,000		#N/A
T 11	#N/A	0,000		#N/A
ULT.CARA	-3,71	0,040		-4,30
T EXT	-4,30			-4,30

Tabla 6: Detalle de las temperaturas por capa del elemento constructivo MURO PET.

PRES.VAP. CADA CAPA	DIF.P.V.	R.Vap(n)	R.VapTot	Pres.Vap.	TemRoc.
P INT	1,36			1,36	
1º CARA	1,36			1,36	10,76
P 1	1,36			1,36	10,76
P 2	1,36	1,235		1,19	8,69
P 3	1,19	5,000		0,48	-3,76
P 4	0,48	1,235		0,31	-8,15
P 5	#N/A	0,000		#N/A	#N/A
P 6	#N/A	0,000		#N/A	#N/A
P 7	#N/A	0,000	7,469	#N/A	#N/A
P 8	#N/A	0,000		#N/A	#N/A
P 9	#N/A	0,000		#N/A	#N/A
P 10	#N/A	0,000		#N/A	#N/A
P 11	#N/A	0,000		#N/A	#N/A
ULT.CARA	0,31			0,31	
P EXT	0,31			0,31	

Tabla 7. Detalle de la presión de vapor y las temperaturas de rocío en cada capa MURO PET.



VERIFICACION CONDENSACION INTERSTICIAL

Nº CAPA	TEMP.	TEMP.ROCIO	VERIFICACIÓN
Aire interior	18,00		
revoque	16,07	10,76	NO CONDENSA
PET	9,11	8,69	NO CONDENSA
revoque	-3,23	-3,76	NO CONDENSA
0	-3,71	-8,15	NO CONDENSA
0	#N/A	#N/A	#N/A
0	#N/A	#N/A	#N/A
0	#N/A	#N/A	#N/A
0	#N/A	#N/A	#N/A
0	#N/A	#N/A	#N/A
0	#N/A	#N/A	#N/A
0	#N/A	#N/A	#N/A
Superficie exterior	-4,30	#N/A	#N/A
Aire exterior	-4,30		

Tabla 8. Verificación a la condensación intersticial MURO PET.

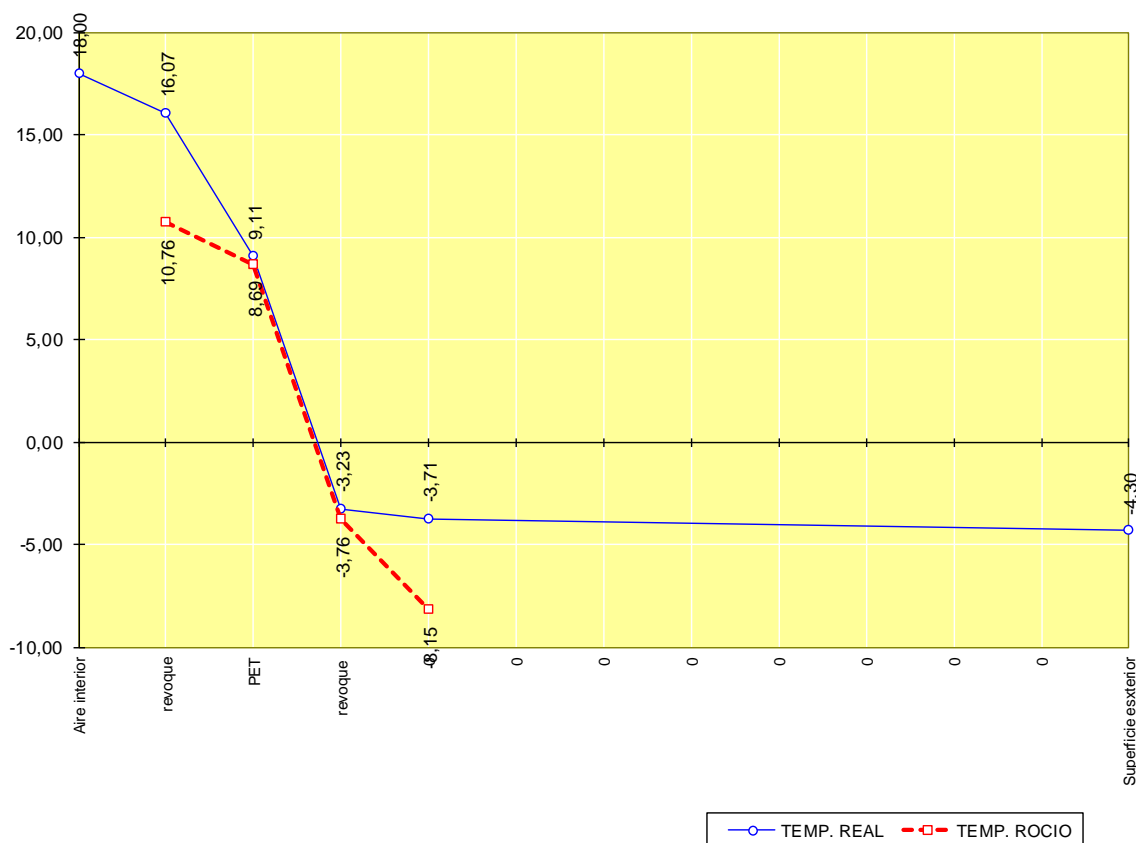


Fig. 8: Verificación gráfica a la condensación intersticial MURO PET.

Los puentes térmicos verifican el apartado A.4 de la Norma IRAM Nro. 11605:1996.

### CONCLUSIONES

Los ladrillos desarrollados utilizando PET reciclado son una alternativa posible para la ejecución de cerramientos de construcciones, más ecológica, más económica, más liviana y de mejor aislación térmica que la mampostería de ladrillos comunes de tierra cocida que se utilizan tradicionalmente en nuestra región.

Por ser una tecnología simple los elementos constructivos desarrollados son especialmente aptos para viviendas y construcciones de interés social. Generan una fuente de trabajo para personas de escasos recursos, tanto en las etapas de recolección de la materia prima, elaboración de los elementos constructivos y el montaje de las viviendas.

Esta tecnología pionera en la “construcción ecológica” (por reciclar un material que actualmente en gran cantidad se acumula o entierra, con un proceso de fabricación no contaminante; y por evitar la desertificación del suelo que produce la elaboración del ladrillo común de tierra cocida al cual reemplaza), constituye un paso adelante en la búsqueda de un desarrollo regional sustentable, con positivo impacto ambiental.

En cuanto al acondicionamiento térmico obligatorio, se respondió a la necesidad de cumplir con la Norma IRAM Nro. 11605:1996, obligatoria para todo nuevo sistema constructivo. Cabe destacar que en el CAT original también lo cumplía de modo voluntario. La diferencia radica en la modificación de la IRAM 11603:2012 donde la temperatura exterior de diseño para Córdoba pasó de 0,4 °C a -4,3°C. Esta importante variación, no sólo requiere modificaciones térmicas, sino de características de permeabilidad de los materiales utilizados, ya que el salto térmico provoca condensaciones intersticiales y superficiales en algunos casos. Se logró también cumplir con la premisa de no modificar esencialmente el sistema constructivo del muro cuyo Certificado de Aptitud Técnica se obtuvo en el año 2006.

El valor del K calculado ha resultado inferior al máximo establecido en la Norma IRAM Nro. 11605:1996 para el nivel B para invierno en la zona III. De este modo se cumple con los requerimientos para el CAT.

En base a la norma anteriormente citada página 7, Tabla 1 Valores de  $K_{adm}$  max para condición de invierno, la tecnología de muro cumple el Nivel C y el Nivel B en todas las localidades del País que presentan como temperatura de diseño exterior invierno entre 0°C y - 5°C. Para verano (Tabla 3 de la misma norma) cumple Nivel C y B con todas las zonas bioclimáticas del País. Si consideramos que las zonas mayormente pobladas son II, III y IV, el uso de esta tecnología permitiría un importante ahorro energético de climatización en verano. A su vez, es de destacar que no presenta condensaciones a hasta -6°C bajo cero. De este modo el alcance de la propuesta MURO PET se extiende a numerosas localidades del territorio argentino con las connotaciones ecológicas y de ahorro energético que ello implica.

Según los cálculos de riesgos de condensación superficial e intersticial se observa similar alcance territorial. No obstante, se podría evaluar aumentar el espesor del bloque a 0,16 m para alcanzar todas las zonas bioclimáticas del país o bien colocar multicapa con aislación exterior y de este modo hacer pruebas con prototipos previos en las zonas de mayor humedad relativa y menor temperatura (por ejemplo, en -15 °C, HR 80% exterior de diseño invierno).

El nuevo diseño de la mampostería reemplazando las capas de revoque tradicional por el revoque conocido como Base Coat resultó un avance tecnológico, que permitió cumplimentar la actual normativa vigente en el país en lo relativo a Acondicionamiento Higrotérmico. Este avance permitirá conseguir la renovación del Certificado de Aptitud Técnica -CAT.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos el apoyo y supervisión de datos en los cálculos higrotérmicos a la Dra. Celina Filippín. También al Dr. Ricardo Arguello, por su participación en el desarrollo tecnológico del ladrillo con plástico reciclado.

## **REFERENCIAS**

- Avakian R. y Parekh S. (1991). Articles from mixed scrap plastics. Patente de E.E.U.U. número: 5,073,416, propiedad de: General Electric Company, fecha: 17 de diciembre de 1991.
- Berg V. y Rinno H. (1997). Concrete molding with improved acid resistance. Patente de E.E.U.U. número: 5,691,050, propiedad de: Hoechst Aktiengesellschaft (DE), fecha: 25 de noviembre de 1997.
- Berretta H., Gaggino R., y Arguello R. (2008). Procedimiento para realizar una mezcla cementicia aplicable a la fabricación de elementos de construcción. Patente de Argentina. Titular: Consejo Nacional de Investigaciones Técnicas -CONICET. Número de Acta en INPI: P030101019. Número de Resolución: AR047617B1. Fecha: 27 / 08 / 08.

- Betioli A., Silva D., Gleize P., Roman H. y Gómez L. (2004). Degradacao de fibras de PET em materiais a base de cimento Portland. Anales de la Primera Conferencia Latinoamericana de Construcción Sustentable – ENTAC04. Edición digital. San Pablo, Brasil, 2004.
- Cáceres G., Giaccio G., Positieri M., Oshiro A. (2006). Utilización de residuos de procesos industriales en el hormigón, en Anales de la 16° Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Editorial: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. ISBN 13: 978-987-21660-2-1. Mendoza, Argentina, pp. 31 - 38.
- Fontein F. y Dreissen H. (1977). Process and installation for recovering usable materials from waste material containing metals and non metals. Patente de E.E.U.U. número: 4,034,861, propiedad de: Stamicarbon B.V, fecha: 12 de Julio de 1977.
- Gaggino R. (2003). Elementos constructivos con PET reciclado. Revista Tecnología y Construcción. ISSN: 0798-9601. Editorial: Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción –IDEC- Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. Número: II, Volumen 19. Pp.: 51 a 64. Mayo – agosto de 2003.
- Gonzalo G., Ledesma V, Nota V., Martínez C., Quiñones G., y Márquez Vega G. Conference paper: Metodología para el diseño bioclimático. Sustento informático para elección de pautas y estrategias. Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Tucumán. Noviembre de 2005.
- Gonzalo G.E. 1989 Soporte lógico para el cálculo de propiedades termofísicas de elementos constructivos: Retardo-Amortiguamiento y CTT. FAU-UNT, Tucumán.
- Hammond J. y Warren S. (1999). Pre-fabricated building system for walls, roofs and floors using a foam core building panel and connectors. Patente de E.E.U.U. número: 5,921,046, propiedad de: Recobond Inc., fecha: 13 de Julio de 1999. Leider J. y Dekker M. (1990). Plastic Waste. Recovery of economic value. E.E.U.U.
- Han E. (1996). Pre-fabricated title board. Patente de E.E.U.U. número: 5,816,005, fecha: 4 de Setiembre de 1996.
- Hoedl H. (1991). Manufacture of molded composite products from scrap plastics. Patente de E.E.U.U. número: 5,075,057, fecha: 24 de diciembre de 1991. Ministerio de Salud y Ambiente (2010). Proyecto nacional de gestión integral de residuos sólidos urbanos. Buenos Aires, Argentina. [https://marmoline.s3.amazonaws.com/system/uploads/document/file/191/TDS\\_\\_TL\\_2\\_\\_eng\\_.pdf](https://marmoline.s3.amazonaws.com/system/uploads/document/file/191/TDS__TL_2__eng_.pdf). [http://panelrey.com/sites/default/files/BeseCoat\\_PermaBase.pdf](http://panelrey.com/sites/default/files/BeseCoat_PermaBase.pdf).
- IRAM 11601 (2002) Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Aislamiento térmico de edificios Métodos de cálculo Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario. Buenos Aires, Argentina.
- IRAM 11603 (1996). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Acondicionamiento térmico. Clasificación Bioambiental de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina.
- IRAM 11559 (1995). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Acondicionamiento térmico. Determinación de la resistencia térmica y propiedades conexas en régimen estacionario. Método de la placa caliente con guarda.
- IRAM 11605 (1996). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Acondicionamiento térmico. Acondicionamiento Térmico de Edificios. Condiciones de Habitabilidad en Edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Buenos Aires, Argentina.
- IRAM 11625 (1996). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Aislamiento térmico. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en paños centrales de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general. Buenos Aires, Argentina.
- Jenkins R. (1994). Waste treatment process. Patente de E.E.U.U. número: 5,302,331, fecha: 12 de abril de 1994.
- Lupo J. y Tre L. (1999). Rubber composition obtained by recycling scrap material. Patente de E.E.U.U. número: 5,948,827, fecha: 7 de Setiembre de 1999.
- Magnani S. (1991). Cement mix and method for producing reinforced building sheets from a cement mix. Patente de E.E.U.U. número: 5,030,287, propiedad de: Fibronit S.R.L., fecha: 9 de Julio de 1991.
- Nagayasu N. (1989). Method for producing composite material of plastic and rubber. Patente de E.E.U.U. número: 4,795,603, fecha: 3 de enero de 1989.

- Nosker T. y Renfree R. (1998). Composite building materials from recyclable waste. Patente de E.E.U.U. número: 5,789,477, propiedad de: Rutgers, The State University, fecha: 4 de agosto de 1998.
- Sawyers J. (1995). Method for recycling plastic into cementitious building products. Patente de E.E.U.U. número: 5,422,051, fecha: 6 de junio de 1995.
- Spakousky J. (1999). Building block with insulated center portion. Patente de E.E.U.U. número: 5,983,585, fecha: 16 de noviembre de 1999.
- Sulaiman, H. (2017). Informe Técnico CONICET. Acondicionamiento Higrotérmico por Cálculo. Determinación del coeficiente de transmitancia térmica (K) SISTEMA DE LADRILLO PET. Verificación del riesgo de condensación superficial e intersticial de acuerdo a lo establecido en la Norma IRAM Nro. 11603:2012 y en la Norma IRAM Nro. 11625:2000.
- Porter W. (2001). Asymmetric structural insulated panel. Patente de E.E.U.U. número: 6,205,729, fecha: 27 de marzo de 2001.
- Prusinski R. (1984). Thermoplastic polymer concrete structure and method. Patente de E.E.U.U. número: 4,427,818, fecha: 24 de enero de 1984.
- Raponi D. (1977). Cementitious composition. Patente de E.E.U.U. número: 4,058,406, fecha: 15 de noviembre de 1977.
- Rebeiz K. (1995). Time-temperature properties of polymer concrete using recycled PET, en Cement and Concrete Composites número 17, Editorial Elsevier, Gran Bretaña, pp. 119-124.

**Páginas web consultadas:**

[https://marmoline.s3.amazonaws.com/system/uploads/document/file/191/TDS\\_\\_TL\\_2\\_\\_eng\\_.pdf](https://marmoline.s3.amazonaws.com/system/uploads/document/file/191/TDS__TL_2__eng_.pdf).  
[http://panelrey.com/sites/default/files/BeseCoat\\_PermaBase.pdf](http://panelrey.com/sites/default/files/BeseCoat_PermaBase.pdf).

**ABSTRACT**

In this research work a novel material is used in the manufacture of bricks: the recycled polyethylene terephthalate (PET), from disposable gas bottles. These bricks are used in masonry for walls. The objective of this work is to verify compliance with the current regulations in force in the country in regard to Hygrothermal Conditioning, in this type of enclosures. The used methodology was to design the enclosure with its different constituent layers, and perform the calculation of the Thermal Transmittance and the verification of surface and interstitial condensation, to verify that the maximum value established in Level B of IRAM Standard 11605: 1996 is not exceeded, in compliance with IRAM Standard 11603: 2012. The Program for the calculation of Thermal Transmittance and verification of surface and interstitial condensation was applied, developed by the CEEMA (Center for Energy and Environment Studies-IAA-FAU-UNT). The result was the verification of compliance with the regulations.

Key words: bricks, recycled plastic, hygrothermal conditioning