

Elementos constructivos con PET reciclado

Rosana Gaggino

Centro Experimental de la Vivienda Económica de Córdoba (Argentina)

Resumen

En esta investigación se propone utilizar un método novedoso en la fabricación de elementos constructivos a partir del reciclado de un material de costo muy bajo: el polietileno-tereftalato (PET) proveniente de botellas de gaseosas descartadas, el cual es incorporado en mezclas cementicias que dan como resultado un hormigón liviano que permite el reemplazo de una tecnología muy arraigada en la sociedad latinoamericana para la construcción de viviendas, como es la mampostería de ladrillo común de tierra cocida. Se trata de una alternativa ecológica porque el proceso de elaboración de los elementos constructivos no es contaminante del medio ambiente al tiempo que –al recuperar y reciclar parte de unos desechos cada vez mayores– permite reducir la producción de residuos y la contaminación en las grandes ciudades.

Abstract

In this research we propose a new fabrication method of construction elements through the recycling of a low cost material: Polyethylene Terephthalate (PET) coming from disposed soda bottles. This material would be incorporated to cement mixes, which results in a light concrete that allows the substitution of a technology highly rooted in Latin American with respect to construction: firebricks masonry. It is an ecological alternative since the elaboration of construction elements is not pollutant and at the same time it reduces pollution in big cities through the recycling of waste material.

Este trabajo se ha realizado en el CEVE-Centro Experimental de la Vivienda Económica de Córdoba (Argentina), instituto de investigación dependiente de CONICET-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, en el cual se desarrollan elementos constructivos para la vivienda de interés social fabricados con materiales reciclados, con el doble propósito de contribuir a paliar la crisis habitacional del país y a la descontaminación del medio ambiente, dos problemas de importancia indiscutible.

Esta propuesta constituye una alternativa más económica que las soluciones tradicionales porque para la fabricación de elementos constructivos se recicla un material de costo muy bajo: el polietileno-tereftalato (PET) proveniente de botellas de gaseosas descartadas, el cual es incorporado en mezclas cementicias que dan como resultado un hormigón liviano que se aplica en ladrillos, bovedillas bloques y placas de cerramiento lateral.

Se trata de una alternativa ecológica porque el proceso de elaboración de los elementos constructivos no es contaminante del medio ambiente y permite aprovechar un material de descarte, evitando la quema o acumulación del mismo en basurales, o su enterramiento en el predio sanitario municipal.

También se propone el reemplazo de una tecnología muy arraigada en la sociedad latinoamericana para la construcción de viviendas, como es la mampostería de ladrillo común de tierra cocida (elaborado con un recurso no renovable) que, por sus dimensiones y condiciones físicas, ha resultado 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 el posterior quemado en grandes hornos a cielo abierto constituye un verdadero problema ecológico 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.

Descriptores:

Polietileno-tereftalato (PET); Autoconstrucción "ecológica".

TECNOLOGIA Y CONSTRUCCIÓN. Vol. 19-II, 2003, pp. 51-64.
Recibido el 12/11/02 - Aceptado el 30/04/04

En esta investigación se presenta una alternativa para la realización de mampuestos y paneles que, continuando o mejorando las ventajas del ladrillo común, puedan ser producidos sin las consecuencias negativas indicadas.

Se trata pues de una tecnología "limpia y limpiadora", "apropiada y apropiable", posibilitadora de la autoconstrucción y generadora de nuevas fuentes de trabajo.

La materia prima

A raíz del incremento internacional del precio del petróleo, el polietileno-tereftalato (PET) se ha valorizado y ha dejado de ser considerado como un residuo, constituyéndose –a partir de su reciclado– en materia prima de diversos productos.

En la ciudad de Córdoba el PET reciclable se puede adquirir en la Planta de Recolección Diferenciada de Residuos ubicada próxima al predio de enterramiento sanitario municipal de Bower. Dicha planta es explotada por la cooperativa privada Villa Inés, la cual recibe parte de los residuos domiciliarios urbanos que recolecta la empresa concesionaria del servicio (actualmente la empresa CLIBA).

La planta comercializa el PET a distintas empresas en grandes packs y a un costo muy bajo¹.

Según datos provistos por la empresa CLIBA, la cantidad de material reciclable disponible por esta vía es muy abundante: "La cantidad de residuos que produce nuestra ciudad, cuya población es de 1.500.000 de habitantes aproximadamente, es de 40.000 a 42.000 ton/mes.(...) Sólo se recicla una parte, la cual se separa, clasifica y comercializa en una Planta de Recolección Diferenciada.

La recolección diferenciada de residuos con el propósito de obtener materiales reciclables abarca sólo algunos barrios de Córdoba (600.000 habitantes) y se realiza una vez por semana, siendo tarea de cada uno de los vecinos de la ciudad hacer el acopio para ese día en bolsas que serán recogidas por la empresa.

Por ese motivo, solamente 3.000 ton/mes ingresa a la planta clasificadora de residuos de la empresa. Este material es cartón, bolsas plásticas, latas de aluminio, vidrio y polietileno-tereftalato (PET).

La cantidad de PET reciclado que vende esta planta a diferentes empresas es aproximadamente 35 ton/mes².

La cantidad de PET que se encuentra en la basura urbana es sin embargo mucho mayor si se toman en cuenta las botellas que van mezcladas con los residuos comunes y que podrían reciclarse si se ampliara el circuito de recolección diferenciada de materiales reciclables,

abarcando más barrios, y si la población tomara conciencia de la importancia del reciclado y colaborara separando mayor cantidad de residuos útiles. Si esto se hiciera el reciclado podría reducir la cantidad de desechos que se disponen actualmente en el predio de enterramiento sanitario municipal, con lo cual se disminuirían los costos que debe pagar el Estado para la disposición de los mismos así como las consecuencias ambientales no deseadas.

También habría que considerar los envases de PET tomados de la basura urbana que no llegan al servicio de recolección de residuos municipal, porque son llevados en carros con caballos por recolectores domiciliarios marginales particulares los cuales a su vez lo venden a comerciantes mayoristas, quienes posteriormente los venden a empresas que los usan como materia prima para sus productos. No hay datos oficiales sobre la cantidad de material reciclado recolectado de este modo.

Por último, numerosas fábricas en nuestra ciudad embotellan agua mineral soda, gaseosas y jugos con envases de PET. Parte de su producción posee fallas de fabricación o se deteriora durante su manipuleo antes de ingresar al circuito comercial; estos envases son los que pueden ser reciclados. Para ilustrar sobre la cantidad de este tipo de residuos, se puede considerar, por ejemplo, que "una fábrica embotelladora pequeña como la cordobesa Jurado produce 160 kg/mes de botellas falladas"³ y que "una fábrica de mediana envergadura como la cordobesa Pritty, cuya producción promedio de botellas es de 70.000 packs/día, tiene un rezago de 0,05 %. Esto equivale a 400 kg/mes de rezago"⁴.

La ventaja de la utilización de los envases provenientes de las fábricas embotelladoras es que se trata de un material prácticamente limpio, por lo cual no es necesario proceder al lavado de los mismos antes de triturarlos para fabricar los elementos constructivos. En cambio, los envases provenientes de la recolección de la basura urbana suelen estar sucios y es necesario lavarlos, por razones de higiene, antes de triturarlos. El lavado consiste solamente en sumergirlos en agua fría y escurrirlos; no hay necesidad de esterilizarlos como cuando se destinan a un uso alimenticio,

Vale la pena destacar que no hay peligro para la salud humana por el uso de elementos constructivos con PET reciclado, pues las partículas de este material quedan recubiertas por la pasta cementicia, y además la superficie de los elementos constructivos se revoca con un mortero común de albañilería, elaborado con materiales pétreos convencionales (cemento, cal y arena).

Vemos entonces que en una ciudad mediana como Córdoba la producción de PET es significativa, y que es fácilmente reciclable, lo cual sustenta la validez del desarrollo de una investigación como la que se presenta en esta publicación.

La demanda de PET para fabricar elementos constructivos con la tecnología descrita es muy importante, pero puede ser satisfecha por la oferta local. Por ejemplo: cada ladrillo de 13 cm. x 26 cm. x 5 cm. lleva para su elaboración 300 gr de PET; y cada placa de techo de 40 cm x 163 cm x 6 cm lleva para su elaboración 15 kg de PET. Para construir una vivienda de 36 m² se necesitan 5.500 ladrillos y 64 placas de techo. Por lo tanto, para construir esta vivienda hacen falta 2.610 kg de PET. Siendo el peso promedio de una botella de PET 55 gr, esto equivale a 47.454 botellas. Un plan de 100 viviendas de este tipo ejecutable en 7 meses demandaría 261 ton de PET en total, a razón de 35 ton por mes que es la producción mensual total de PET reciclable de la Planta de Recolección Diferenciada de Residuos de Bower.

Esta cantidad de PET ocupa un volumen enorme (considerando que sólo un *pack* de envases aplastados de aproximadamente 400 kg. de peso mide 1,5 m de ancho por 1,5 m de largo por 1,5 m de altura, es decir que su peso específico es 178 kg/m³), por lo que es indispensable ir triturando el material a medida que es acopiado, lo cual reduce sustancialmente el volumen a ocupar (el peso específico del PET triturado es 570 kg/m³, es decir tres veces menor).

Objetivos del trabajo

- Reemplazar en parte los áridos tradicionales de un concreto o mortero por partículas de PET reciclado, con el fin de obtener elementos constructivos más livianos, de mejor aislación térmica y más ecológicos.
- Abaratar costos en la construcción de viviendas de interés social.
- Dar un destino útil a parte de la basura urbana, con una visión ecológica.
- Reemplazar en parte sistemas constructivos tradicionales (por ejemplo, la mampostería de ladrillos comunes de tierra cocida) que producen a la larga deterioro del medio ambiente.
- Desarrollar una tecnología apropiada para la autoconstrucción y la autogestión, para generar nuevas fuentes de trabajo y organización comunitaria para sectores de escasos recursos.

Antecedentes

Existen numerosos ejemplos a nivel nacional e internacional de utilización de plásticos reciclados en elementos constructivo entre los cuales están:

- Los materiales fabricados con fibras de madera ligados con polímeros fundidos (ambos materiales de desecho) desarrollados por el Arq. Juan Giaccardi de la Escuela Federal de Lausana, Suiza (cf. Nicod, 1990).
- Las viguetas y bloques elaborados con arena y PET proveniente de envases descartables, producidos por la empresa Eco & Red de Esteban Echeverría, Provincia de Buenos Aires en Argentina (cf. " Productos desechados de plástico y PET se convierten en placas, bloques y viguetas" , en *La Nación*).
- Las placas de revestimiento elaboradas con poli-propileno proveniente de bolsas de plástico y parachoques de autos, mezclados con fibras de madera, lino o yute, producidas por la Fábrica Woodstock, de Quilmes, provincia de Buenos Aires.
- Los juegos de jardín, pasamanos, señales viales, etc. fabricados con plásticos procedentes de embalajes reciclados por la empresa Innovaciones Plásticas de Madrid (IMADE, 1996).
- Los paneles con termoplásticos provenientes de residuos sólidos urbanos, combinados con papel, cartón o viruta de madera, obtenidos en el Centro Tecnológico Gaiker del País Vasco, España (cf. Instituto Tecnológico Gaiker, 1997).
- Las placas TEPLAK elaboradas con *tetrabricks* provenientes de envases de bebidas descartables molidos, ligados con polímeros, que se comercializan ampliamente en nuestro país (cf. TEPLAK, 1997).
- Las numerosas composiciones patentadas en Estados Unidos (ver referencias de patentes citadas en la bibliografía, al final de este trabajo).

– En todos los trabajos 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 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, adecuada para la ejecución de viviendas económicas y ecológicas, tema con mínimos antecedentes en nuestro país.

Características de los elementos constructivos

Costo

Los cerramientos realizados con placas de PET o con mampuestos de PET cuestan menos que otros realizados con soluciones tradicionales, como podemos ver en el cuadro 1. Los cálculos detallados de los precios de la placa con PET, del bloque con PET y del bloque común se proporcionan en los cuadros 2, 3 y 4.

La economía está basada en los aspectos siguientes:

Gran parte de la materia prima es muy económica o gratuita (el PET).

La técnica de fabricación es muy simple, fácilmente reproducible por personal no especializado. El costo de mano de obra no es mayor que el requerido para fabricar un hormigón "común" (con áridos convencionales: grancilla y arena gruesa).

No es necesaria una infraestructura de gran envergadura para producir el material.

Las placas se fabrican en taller, pueden ser manipuladas por dos operarios y permiten un montaje de la obra rápido, lo cual permite economía de mano de obra y tiempo y, en consecuencia, una inmediata solución para familias con necesidades urgentes. Se ahorra también en material de unión entre elementos y en transporte.

Hay un "ahorro a largo plazo" por la reducción de la contaminación del medio ambiente, mediante el reciclado de materiales de descarte.

Peso

Los cerramientos realizados con mampuestos o placas elaborados con PET son livianos por el bajo peso específico de la materia prima (570 kg/m³). Su peso es sustancialmente menor al de otros cerramientos tradicionales que se usan para la misma función, como podemos ver en el cuadro 5.

Conductividad térmica

Los cerramientos fabricados con PET son malos conductores del calor, por lo que proveen una excelente aislación térmica, superior a la de otros cerramientos tradicionales, como podemos ver en el cuadro 6.

Resistencia mecánica

Un cerramiento realizado con placas de PET tiene una resistencia similar a la de otros cerramientos realizados con elementos constructivos tradicionales (cuadro 7).

Por su resistencia, las placas de PET pueden ser utilizadas en viviendas de hasta dos pisos de altura con losas de hormigón, con estructura independiente, o con cubiertas livianas como chapas de zinc, sin estructura independiente.

Absorción de agua

Los mampuestos con PET tienen una baja absorción de agua, por ser el PET un material muy impermeable (ver cuadro 8).

Comportamiento a la intemperie

Las placas y mampuestos con PET, en ensayos preliminares realizados en el CEVE, fueron dejados a la intemperie durante un año y sometidos a la lluvia y al sol, período durante el cual no presentaron alteraciones dimensionales ni daños aparentes. Faltan completar ensayos normalizados en el INTI-Instituto Nacional de Tecnología Industrial de la República Argentina.

Aptitud para el clavado y aserrado

Las placas y mampuestos con PET son fáciles de clavar y aserrar, según ensayos preliminares realizados en el CEVE, por lo que tienen aptitud para constituir sistemas constructivos no modulares.

Cuadro 1
Precios de cerramientos

| Tipo de Cerramiento | Precio (\$/m ²) |
|---|------------------------------|
| Mampostería de ladrillos comunes de tierra de 15 cm. de espesor | 19,6 |
| Mampostería de ladrillos cerámicos huecos de 18 cm. de espesor | 12,56 |
| Mampostería de bloques de hormigón de 20 cm. de espesor | 23,84 |
| Placa de hormigón tradicional, de cemento, grancilla y arena | 11,1 |
| Placa monolítica con PET de 5 cm. de espesor | 8,9 |

Fuente: *Revista Vivienda*, n° 480, julio de 2002, Buenos Aires.
El precio del cerramiento con placa de PET obedece a cálculos propios.

Cuadro 2
Cálculo del precio de un bloque con PET

| A - Costo de Materiales ¹ | | | | | | |
|--|------------|-------------------------------------|--|-------------------|---------|---------------------|
| Materiales | Unidad | Cómputo | Precio Unitario ² | Precio por Item | | |
| Cemento | kg | 1.810,00 | 0,31 | 561,10 | | |
| PET | kg | 1.810,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| Arena gruesa | m3 | 5,00 | 20,00 | 100,00 | | |
| Subtotal A | | | | (pesos) \$ 661,10 | | |
| B - Costo de Mano de Obra ³ | | | | | | |
| Operarios | Unidad | Cómputo | Precio Unitario (PU) | Carga Social (CS) | PU + CS | Precio por Item |
| Oficial | hora | 26,40 | 4,37 | 3,95 | 8,32 | 219,53 |
| Ayudante | hora | 52,80 | 1,58 | 1,43 | 3,01 | 158,75 |
| Subtotal B | | | | | | (pesos) \$ 378,28 |
| Total A + B | | | | | | (pesos) \$ 1.039,38 |
| C - Otros Costos ⁴ | | | | | | |
| Concepto | % de A + B | Precio por Item | Observaciones | | | |
| Amortización | 3 | 31,58 | Comprende uso de hormigonera, moldes, moledor. | | | |
| Gastos Generales | 5 | 51,97 | Comprende alquiler del terreno y electricidad. | | | |
| Beneficio | 12 | 124,73 | Del empresario dueño del negocio | | | |
| Subtotal C | | US \$ 207,88 | | | | |
| Total A + B + C = | | (pesos) \$ 1.247,26 / 1.000 bloques | | | | |
| Precio final de 1 bloque = | | (pesos) \$ 1,2 = US \$ 0,33 | | | | |

1 Los precios no incluyen IVA.

2 Los precios unitarios de materiales y mano de obra fueron tomados de la Revista Vivienda, n° 480, julio de 2002, Buenos Aires.

3 El trabajo de mano de obra comprende el molido del PET, la elaboración de los bloques así como el moldeado, estibado y curado. No se incluye descarga de los bloques en obra ni flete.

4 La cotización del dólar para el momento de realizar el cálculo era de US \$ 1 = 3,60 pesos.

Datos Técnicos:

Dosificación: Cemento 1: PET 4: Arena gruesa 4 (en proporción de volúmenes)

Medidas: 20 x 20 x 40

Fecha de actualización: abril 2003

Cálculo para 1.000 bloques

Datos de fábrica: producción diaria de 303 bloques; N° de operarios: 1 oficial y 2 ayudantes

Cuadro 3
Cálculo del precio de un bloque común

| A - Costo de Materiales ¹ | | | | | | |
|--|------------|-------------------------------------|--|-------------------|---------------------|-----------------|
| Materiales | Unidad | Cómputo | Precio Unitario ² | Precio por Item | | |
| Cemento | kg | 1.666,00 | 0,31 | 516,46 | | |
| Arena gruesa | m3 | 9,33 | 20,00 | 186,60 | | |
| Subtotal A | | | | (pesos) \$ 703,06 | | |
| B - Costo de Mano de Obra ³ | | | | | | |
| Operarios | Unidad | Cómputo | Precio Unitario (PU) | Carga Social (CS) | PU + CS | Precio por Item |
| Oficial | hora | 26,40 | 4,37 | 3,95 | 8,32 | 219,53 |
| Ayudante | hora | 46,00 | 1,58 | 1,43 | 3,01 | 138,30 |
| Subtotal B | | | | | (pesos) \$ 357,84 | |
| Total A + B | | | | | (pesos) \$ 1.060,90 | |
| C - Otros Costos ⁴ | | | | | | |
| Concepto | % de A + B | Precio por Item | Observaciones | | | |
| Amortización | 3 | 31,83 | Comprende uso de hormigonera, moldes, moledor. | | | |
| Gastos Generales | 5 | 53,04 | Comprende alquiler del terreno y electricidad. | | | |
| Beneficio | 12 | 127,31 | Del empresario dueño del negocio | | | |
| Subtotal C | | (pesos) \$ 212,18 | | | | |
| Total A + B + C = | | (pesos) \$ 1.273,08 / 1.000 bloques | | | | |
| Precio final de 1 bloque = | | (pesos) \$ 1,27 = US \$ 0,35 | | | | |

1 Los precios no incluyen IVA.

2 Los precios unitarios de materiales y mano de obra fueron tomados de la Revista Vivienda, n° 480, julio de 2002, Buenos Aires.

3 El trabajo de mano de obra comprende el molido del PET, la elaboración de los bloques así como el moldeado, estibado y curado. No se incluye descarga de los bloques en obra ni flete.

4 La cotización del dólar para el momento de realizar el cálculo era de US \$ 1 = 3,60 pesos.

Datos Técnicos:

Dosificación: Cemento 1 : Arena gruesa 8 (en proporción de volúmenes)

Medidas: 20 x 20 x 40

Fecha de actualización: abril 2003

Cálculo para 1.000 bloques

Datos de fábrica: producción diaria de 303 bloques; N° de operarios: 1 oficial y 2 ayudantes

Cuadro 4

Cálculo del precio de una placa con PET

| A - Costo de Materiales ¹ | | | | | | |
|--|------------|-------------------------------|--|-------------------|---------|-----------------------|
| Materiales | Unidad | Cómputo | Precio Unitario ² | Precio por Item | | |
| Cemento | kg | 875,00 | 0,31 | 271,25 | | |
| PET | kg | 855,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| Hierro del 4,2 | varilla | 55,00 | 2,00 | 110,00 | | |
| Subtotal A | | | | (pesos) \$ 271,25 | | |
| B - Costo de Mano de Obra ³ | | | | | | |
| Operarios | Unidad | Cómputo | Precio Unitario (PU) | Carga Social (CS) | PU + CS | Precio por Item |
| Oficial | hora | 8,00 | 4,37 | 3,95 | 8,32 | 66,53 |
| Ayudante | hora | 24,00 | 1,58 | 1,43 | 3,01 | 72,16 |
| Subtotal B | | | | | | (pesos) \$ 138,68 |
| Total A + B | | | | | | (pesos) \$ 409.933,00 |
| C - Otros Costos ⁴ | | | | | | |
| Concepto | % de A + B | Precio por Item | Observaciones | | | |
| Amortización | 3 | 12,30 | Comprende uso de hormigonera, moldes, molador | | | |
| Gastos Generales | 5 | 20,50 | Comprende alquiler del terreno y electricidad. | | | |
| Beneficio | 12 | 49,19 | Del empresario dueño del negocio | | | |
| Subtotal C | | (pesos) \$ 81,99 | | | | |
| Total A + B + C = | | (pesos) \$ 491,92 / 50 placas | | | | |
| Precio final de 1 placa = | | (pesos) \$ 9,8 = US \$ 2,73 | | | | |

1 Los precios no incluyen IVA.

2 Los precios unitarios de materiales y mano de obra fueron tomados de la Revista Vivienda, n° 480, julio de 2002, Buenos Aires.

3 El trabajo de mano de obra comprende el molido del PET, la elaboración de las placas así como el moldeado, estibado y curado. No se incluye descarga de las placas en obra ni flete.

4 La cotización del dólar para el momento de realizar el cálculo era de US \$ 1 = 3,60 pesos.

Datos Técnicos:

Dosificación: Cemento 1 : PET 3 (en proporción de volúmenes)

Medidas: 240 cm x 41 cm x 5,6 cm

Fecha de actualización: abril 2003

Cálculo para 50 placas

Datos de fábrica: producción diaria de 50 placas; N° de operarios: 1 oficial y 3 ayudantes

Cuadro 5

Peso específico de cerramientos

| Tipo de Cerramiento | Peso Especifico (kg/m ³) |
|--|--------------------------------------|
| Mampostería de ladrillos comunes de tierra | 1.578 |
| Mampostería de ladrillos cerámicos huecos | 855 |
| Mampostería de bloques de hormigón | 1.000 |
| Placa de hormigón tradicional, de cemento, grancilla y arena | 2.400 |
| Placa monolítica con PET | 840 |

El peso específico de la placa de PET fue obtenida en el Laboratorio de Ensayos del Departamento Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba.

Fuente: Chamorro, H. Funciones de las paredes.

Cuadro 6

Conductividad térmica de cerramientos

| Tipo de Cerramiento | Conductividad Térmica I (W/mK) |
|---|--------------------------------|
| Muro de mampostería de ladrillo común 15 cm. de espesor revocado ambos paramentos | 2,67 |
| Idem anterior de 30 cm. de espesor | 1,88 |
| Muro de ladrillo cerámico hueco 15 cm. de espesor revoque común ambos paramentos | 2,16 |
| Idem anterior 20 cm. de espesor | 1,86 |
| Bloque de mortero de cemento 20 cm. de espesor relleno de agregado liviano y revoque común en ambas caras | 1,48 |
| Placa con PET, de 10 cm. de espesor, con revoque común en ambas caras | 0,18 |

La conductividad térmica de la placa de PET fue obtenida en el Laboratorio de Ensayos del INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial de la República Argentina).

La medición de la conductividad térmica se efectuó siguiendo los lineamientos establecidos en las Normas IRAM 11559 (Determinación de la resistencia térmica y propiedades conexas en régimen estacionario. Método de la placa caliente con guarda), ASTM C 177 (Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurement and Thermal Transmission Properties by means of the Guarded Hot Plate Apparatus) and ISO 8302 (Thermal Insulation. Determination of Steady-State Thermal Resistance and Related Properties Guarded Hot Plate Apparatus).

Fuente: Chamorro, H. Funciones de las paredes.

Cuadro 7

Resistencia a la compresión axial y a la flexión de cerramientos

| Tipo de Cerramiento | Resistencia a la Compresión Axial Carga Máxima de Rotura (Kg) | Resistencia a la Flexión Carga Máxima de Rotura (Kg) |
|---|--|---|
| Placa de ladrillos comunes de 5 cm de espesor | 3.465 | 166 |
| Placa de ladrillos de PET de 5 cm de espesor | 3.468 | 147,5 |
| Placa monolítica de PET de 5 cm de espesor | 2.040 | 91,7 |

Para la medición de la resistencia a la compresión se siguieron los lineamientos de la norma IRAM 11588; y para la medición de la resistencia a la flexión se siguieron los lineamientos de la norma IRAM 11555.

IRAM representa a la Argentina ante la Organización Internacional para la Estandarización (ISO), la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) y el Comité MERCOSUR para Normalización (CMN).

Fuente: Todos los valores de resistencia mecánica fueron obtenidos en el Laboratorio de Ensayos del Departamento Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba.

Cuadro 8

Absorción de agua en elementos constructivos

| Tipo de Cerramiento | Absorción de Agua (%) |
|---------------------|-----------------------|
| Ladrillo común | 21,6 |
| Ladrillo con PET | 9,7 |

Fuente: Todos los valores de absorción de agua fueron obtenidos en el Laboratorio de Ensayos del Departamento Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba.

Adherencia de revoques

De acuerdo con ensayos preliminares realizados en el CEVE las placas y mampuestos con PET, por su alta rugosidad superficial, permiten recibir revoques con morteros convencionales.

A este respecto vale la pena destacar que, variando la dosificación, se consiguen diferentes características. A medida que aumenta la relación cemento / PET se obtiene mayor resistencia, durabilidad y peso específico aparente, con mayor costo, y disminuyen la capacidad de aislación térmica, la capacidad de absorción de agua del material, así como la facilidad para el clavado y aserrado.

Procedimiento de elaboración

Se utiliza polietileno-tereftalato (PET) proveniente de botellas de gaseosas descartables. En el caso de que las botellas estén muy sucias, se debe proceder a un mínimo lavado superficial con agua fría.

Se tritura con una máquina para obtener partículas con las siguientes dimensiones: 2 - 7 mm x 2 - 7 mm, espesor: 0,1 - 0,2 mm.

Se miden en volúmenes las cantidades de PET, de cemento y eventualmente de arena gruesa necesarias según la dosificación elegida y se las coloca en una hormigonera.

Se mezcla hasta obtener una distribución homogénea de partículas.

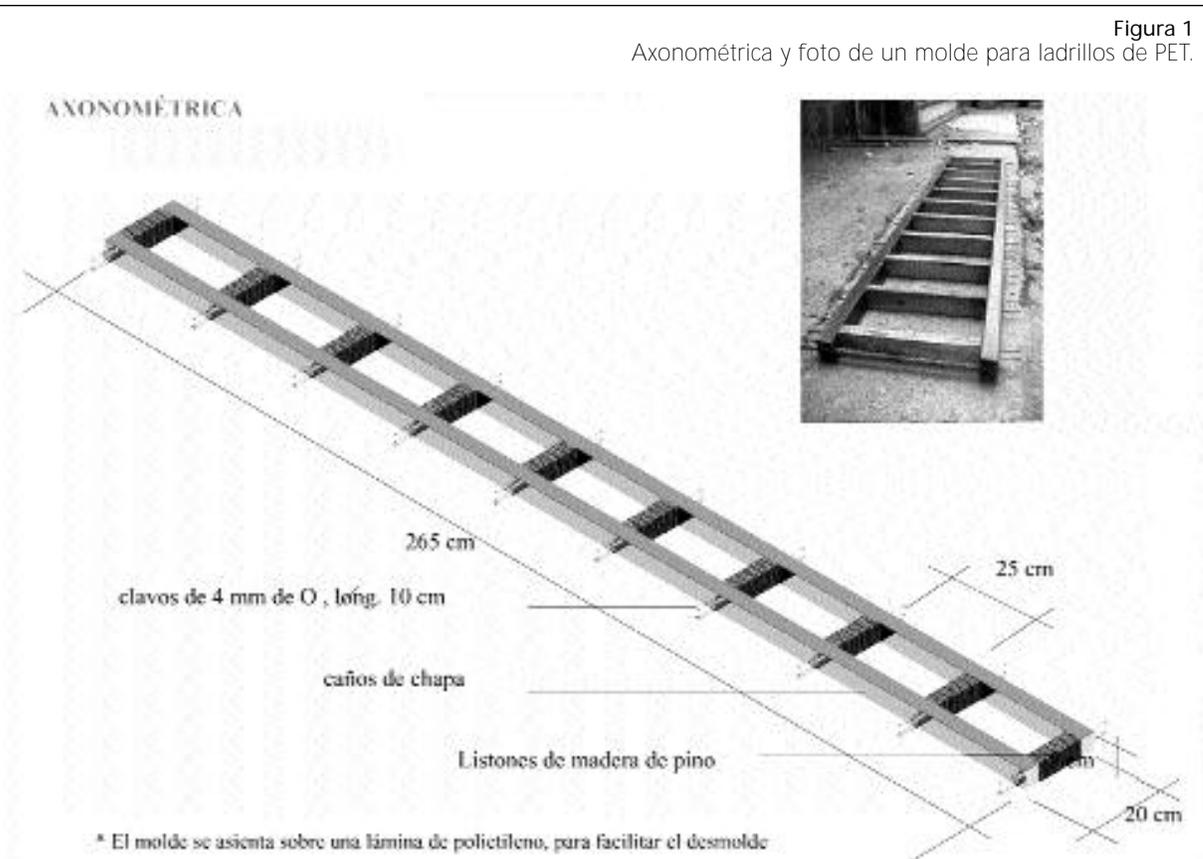
Se incorpora el agua, y se mezcla hasta obtener una consistencia uniforme.

En el caso de utilizar esta mezcla en bloques, se vierte la mezcla en una máquina bloquera común, de las mismas que se usan para fabricar bloques de hormigón con cemento y arena.

En el caso de utilizar la mezcla en ladrillos, ésta se vierte en moldes aceitados cuyo diseño se puede ver en la figura 1, y se deja reposar 24 horas. Se desmoldan los ladrillos fabricados y se acomodan para su curado sumergidos en agua (la figura 2 muestra el aspecto de un ladrillo terminado).

A los 28 días de haber sido elaborados estos ladrillos pueden ser utilizados en obra, para mampostería o placas de ladrillos, siguiendo el procedimiento A).

En el caso de utilizar esta mezcla en placas monolíticas, se seguirá el procedimiento B.



Procedimiento A: para fabricar placas de ladrillos con PET

Se utiliza un molde de chapa o de madera cuyo diseño se puede ver en la figura 3. El mismo debe ser ubicado sobre piso bien nivelado y alisado.

Se ubican los ladrillos elaborados con PET dentro del molde, según la disposición que se puede observar en la figura 4.

Se realiza el colado de las juntas hasta la altura de la mitad de los ladrillos utilizando un mortero común de albañilería consistente en una mezcla con una parte de cemento por 3 partes de arena gruesa, en proporción de volúmenes.

La armadura de hierros que se describe en la figura 4 se coloca sobre las juntas de mortero.

Se coloca el mismo mortero descrito sobre las armaduras, hasta completar la altura de las juntas.

Se realiza un barrido cementicio con una escoba mojada, sobre la superficie de la placa, desparramando la mezcla sobrante.

A las 4 horas se realiza el desmolde de la placa que se deja reposar durante 24 horas antes de ser movilizada para su estiba y curado.

A la semana puede ser utilizada en obra. En la figura 5 se puede observar el aspecto de la placa terminada.

Procedimiento B: para fabricar placas monolíticas con PET

Se utiliza un molde de chapa o de madera cuyo diseño se puede ver en las figuras 6 y 7. El mismo debe ser ubicado sobre piso bien nivelado y alisado.

Figura 2
Foto de un ladrillo de PET.



Figura 3
Axonométrica y foto de un molde para placas de ladrillos de PET.

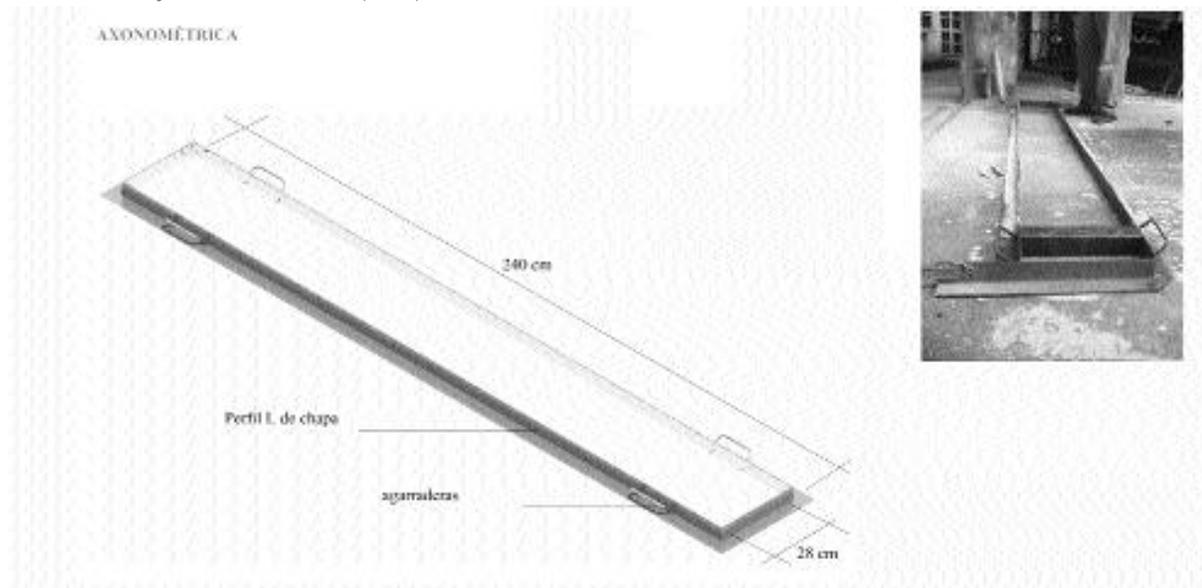


Figura 4
Planta, vistas y axonométrica de una placa de ladrillos de PET.

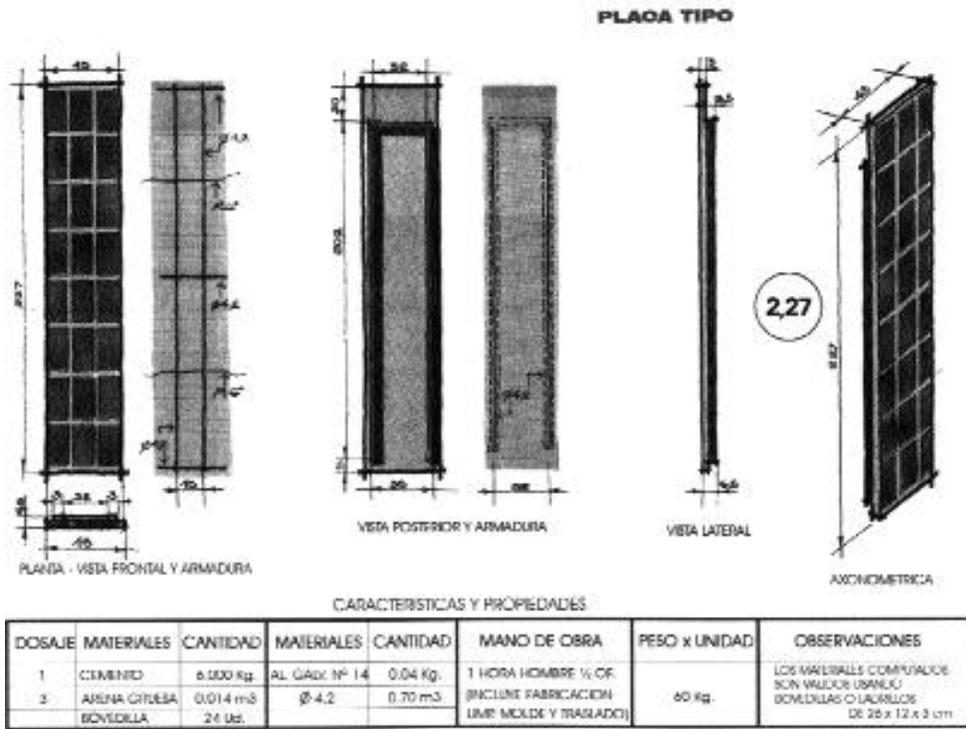


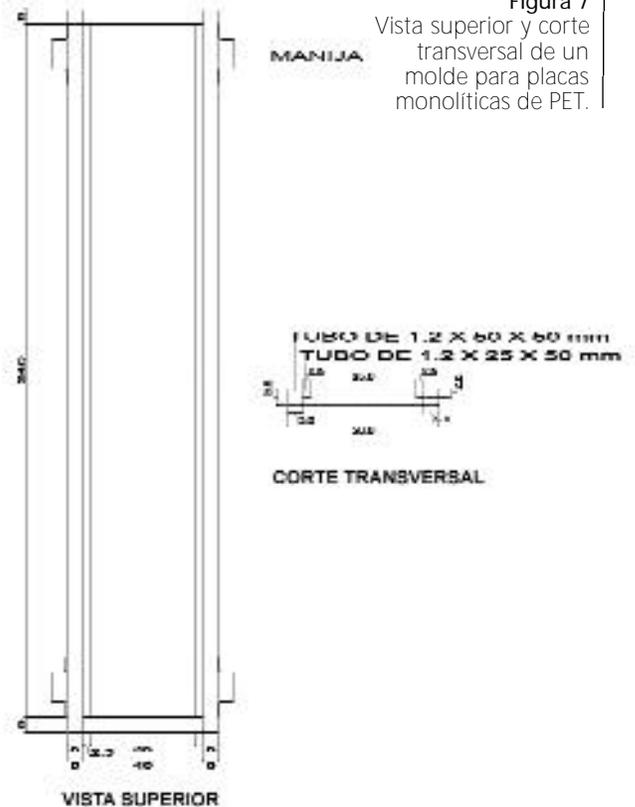
Figura 5
Foto de placas de ladrillos de PET.



Figura 6
Foto de un molde para placas monolíticas de PET.



Figura 7
Vista superior y corte transversal de un molde para placas monolíticas de PET.



Se realiza la mezcla cementicia con PET.

Se aplica una primera capa de la mezcla en el molde, hasta completar una altura de 1 cm.

Se coloca una armadura de hierros tipo "parrilla" cuyo diseño se puede ver en la figura 8.

Se vierte el resto de la mezcla hasta completar la altura del molde.

Se alisa con una madera.

Se desmolda a las 4 horas. La placa puede ser movilizada 3 días después, para ser llevada a estiba y curado.

El curado consiste en mojar con agua para que la placa permanezca húmeda (se puede cubrir con plástico para que pierda menos humedad).

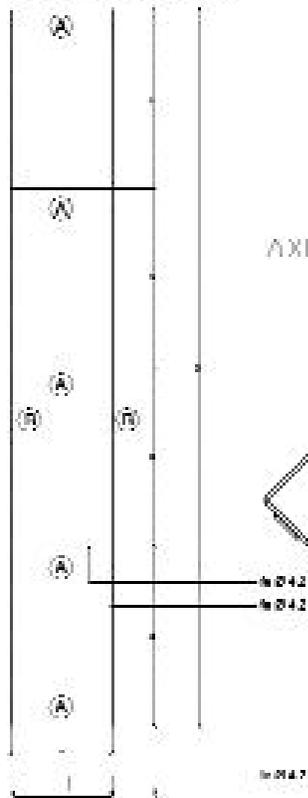
A los 28 días de ser elaborada puede ser utilizada en obra. En la figura 9 se puede observar el aspecto de la placa terminada.

Figura 8
Vista superior, corte transversal y axonométrica de la armadura "parrilla" de una placa de PET.



Figura 9
Foto de placas monolíticas de PET.

VISTA SUPERIOR



AXINOMÉTRICA



CONEXIONES Y DETALLES

- (A) Espesor = 70 mm - mod. B
- (B) Longitud = 230 cm - mod. A

CORTE TRANSVERSAL

Conclusiones

Los nuevos elementos constructivos 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 utiliza tradicionalmente en nuestra región, y presenta una resistencia mecánica similar.

El PET reciclado utilizado en los elementos constructivos desarrollados reemplaza parcialmente a los áridos de un hormigón convencional (grancilla y arena gruesa) para ciertos usos específicos con la ventaja de que tiene un bajo peso específico aparente por lo que el hormigón realizado con ellos es más liviano y tiene mala conductividad térmica por lo que el hormigón realizado con ellos provee una mejor aislación térmica.

Por su bajo costo y 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 la etapa de recolección de la materia prima como en la de elaboración de los elementos constructivos.

Esto es de interés permanente para la Institución donde se desarrolló esta investigación (CEVE) buscando cubrir necesidades socio-económicas y ambientalistas de los sectores mayoritarios y pobres de nuestro país.

Esta tecnología pionera en la "construcción ecológica" (ya que recicla un material que actualmente se acumula o entierra en gran cantidad, con un proceso de fabricación no contaminante; y evita 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.

Notas

1 El precio del PET reciclado durante el año 2003 fue de 0,14 \$/kg, que equivale a 0,046 US \$/kg.

2 Información suministrada por el Ing. Hugo Scacchi, Jefe de Tratamiento y Disposición final de residuos de CLIBA (actual concesionaria de la recolección de basura domiciliaria de Córdoba); dato del año 2002.

3 Información suministrada por José Antonio Jurado, propietario de la empresa embotelladora Jurado, ubicada en Villa Corina, Córdoba; dato del año 2003.

4 Información suministrada por el Ing. Néstor Schachner, gerente de Control de Calidad de la fábrica Pritty, ubicada en Córdoba; dato del año 2003.

Referencias Bibliográficas

Chamorro, H. "Funciones de las paredes". (completar)

IMADE-Instituto Madrileño de Desarrollo (1996) "Innovaciones plásticas", en Iniciativas de desarrollo local, Madrid, 1996. (completar)

Instituto Tecnológico Gaiker (1997) Catálogo de Productos, País Vasco, 1997.

Idelsohn, A. (2003) "Hacer con desechos", en Revista Nueva, n° 628, pp. 16-19, julio de 2003, Córdoba, Argentina.

Kruk, W. (2001) "Construyendo con lo que se descarta", en Vivienda Popular, n° 8, pp. 33-35, abril de 2001, Montevideo, República Oriental del Uruguay.

Nicod, G. (1990) "Paneaux isolants pour Bariloche. Un projet d'Ingenieurs du Monde", en Polyrama n° 87, diciembre de 1990, Escuela Politécnica Federal de Lausana.

Rocha, L. (2002) "Productos desechados de plástico y PET se convierten en placas, bloques y viguetas", diario La Nación, 30 de junio de 2002, Buenos Aires, Argentina.

- TEPLAK (1997) Folleto técnico de la empresa, Buenos Aires, Argentina.
- En Internet: Patentes sobre materiales plásticos reciclados, en <http://www.patft.uspto.gov>, información actualizada al 20/08/2002:
- "Articles from mixed scrap plastics", número: 5.073.416, propiedad de: General Electric Company, autores: Avakian, Roger y Parekh, Shashi, fecha: 17 de diciembre de 1991.
 - "Asymmetric structural insulated panel", número: 6.205.729, autor: Porter, William, fecha: 27 de marzo de 2001.
 - "Building block with insulated center portion", número: 5.983.585, autor: Spakousky, John, fecha: 16 de noviembre de 1999.
 - "Cement mix and method for producing reinforced building sheets from a cement mix", número: 5.030.287, propiedad de: Fibronit S.R.L., autor: Magnani, Silvio, fecha: 9 de julio de 1991.
 - "Cementitious composition", número: 4.058.406, autor: Raponi, Dante, fecha: 15 de noviembre de 1977.
 - "Composite building materials from recyclable waste", número: 5.789.477, propiedad de: Rutgers, The State University, autores: Nosker, Thomas y Renfree, Richard, fecha: 4 de agosto de 1998.
 - "Concrete molding with improved acid resistance", número: 5.691.050, propiedad de: Hoechst Aktiengesellschaft (DE), autores: Berg, Volkmar y Rinno, Helmut, fecha: 25 de noviembre de 1997.
 - "Manufacture of molded composite products from scrap plastics", número: 5.075.057, autor: Hoedl, Herbert, fecha: 24 de diciembre de 1991.
 - "Method for producing composite material of plastic and rubber", número: 4.795.603, autor: Nagayasu, Nobuhiko, fecha: 3 de enero de 1989.
 - "Method for recycling plastic into cementitious building products", número: 5.422.051, autor: Sawyers, John, fecha: 6 de junio de 1995.
 - "Pre-fabricated building system for walls, roofs and floors using a foam core building panel and connectors", número: 5.921.046, propiedad de: Recobond Inc., autores: Hammond Jr. y Warren, Scott, fecha: 13 de julio de 1999.
 - "Pre-fabricated title board", número: 5.816.005, autor: Han, Eddie Eui In, fecha: 4 de septiembre de 1996.
 - "Process and installation for recovering usable materials from waste material containing metals and non metals", número: 4.034.861, propiedad de: Stamicarbon B.V, autores: Fontein, Freerk y Dreissen, Hubert, fecha: 12 de julio de 1977.
 - "Rubber composition obtained by recycling scrap material", número: 5.948.827, autores: Lupo, Joaquin y Tre, Luis Jacinto, fecha: 7 de septiembre de 1999.
 - "Thermoplastic polymer concrete structure and method", número: 4.427.818, autor: Prusinski, Richard, fecha: 24 de enero de 1984.
 - "Waste treatment process", número: 5.302.331, autor: Jenkins, Robert, fecha: 12 de abril de 1994.