

## DISEÑO EXPERIMENTAL DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS UTILIZANDO MATERIALES RECICLADOS, PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL. SÍNTESIS DE TESIS DOCTORAL

## EXPERIMENTAL RESEARCH IN DESIGN OF CONSTRUCTION ELEMENTS USING RECYCLED MATERIALS TO BE USED IN SOCIAL HOUSING. DOCTORAL THESIS SYNTHESIS

Rosana Gaggino<sup>1</sup>

### RESUMEN

Este artículo es una síntesis de una Tesis Doctoral de la Carrera de Doctorado en Ciencias de Diseño de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba, presentada en el año 2009.

Trata sobre el desarrollo de un nuevo material para la construcción: el mortero elaborado con plásticos reciclados y cemento. Con este material se han fabricado ladrillos, bloques, placas y ladrillones que se utilizan como cerramiento no portante en viviendas.

Estos elementos constructivos son más ecológicos que otros tradicionales porque se utilizan residuos como materia prima principal, colaborando así con la descontaminación del medio ambiente. La mayor parte de estos residuos hasta el presente son enterrados en predios municipales, sin utilidad alguna; o acumulados y quemados en basurales, produciendo degradación del entorno.

Desde el punto de vista técnico, se logran elementos constructivos con ventajas con respecto a otros tradicionales (como por ejemplo ladrillos de tierra y bloques de hormigón) en lo que respecta a liviandad y aislamiento térmico. La importancia económica de la implementación de esta tecnología es que se reducirían gastos para los municipios en recolección y disposición final de residuos; y en general en la descontaminación del medio ambiente.

### PALABRAS CLAVE

Elementos constructivos; mortero para construcción; ecología; plásticos reciclados; vivienda social

### ABSTRACT

*This article is a synthesis of a Doctoral Thesis of the Doctorate in Design Science at the Faculty of Architecture, Urbanism and Design of the National University of Córdoba, presented in 2009.*

*It is about the development of a new material for construction: mortar made with recycled plastics and cement. With this material, bricks, blocks, plates and big bricks have been manufactured to be used as non-bearing enclosures in homes.*

*These construction elements are more ecological than traditional ones because waste material is used as the main raw material, thus collaborating with the decontamination of the environment. Most of these residues up to the present are buried in the municipal land without any use; or accumulated and burned in landfills, causing degradation of the environment.*

*From the technical point of view, construction elements are obtained with advantages over traditional ones (such as earth bricks and concrete blocks) in terms of lightness and thermal insulation. The economic importance of the implementation of this technology is that it will reduce costs for municipalities in waste collection and final disposal; and in general, in the decontamination of the environment.*

### KEYWORDS

*Construction elements; construction mortar; ecology; recycled plastics; social housing*

Fecha recepción: 31 enero 2019 - Fecha aceptación: 5 junio 2019

<sup>1</sup> Arquitecta egresada de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba en 1990. Magister en Diseño Arquitectónico y Urbano, en 2000. Doctora en Ciencias del Diseño, en 2009, FAUD-UNC. Investigadora Independiente de CONICET. Actualmente es Directora del Centro Experimental de Vivienda Económica -CEVE- instituto de investigación dependiente de CONICET y de la Asociación de Vivienda Económica, ubicado en Córdoba, Argentina.



## Introducción

La hipótesis de trabajo que fue el punto de partida de esta investigación, es que se pueden construir viviendas más ecológicas que las tradicionales, con cualidades técnicas y económicas, utilizando elementos constructivos fabricados con “nuevos materiales”, a partir del reciclado de residuos plásticos.

La originalidad de este trabajo radica en que se han desarrollado y estudiado productos que no existían hasta el presente, si bien hay antecedentes nacionales e internacionales con algunos aspectos similares. La novedad de estos productos radica en el material constitutivo, ya que están fabricados con un mortero en el cual el plástico reciclado es la materia prima principal. Se trata de una tecnología barata, no sofisticada y ecológica para la construcción de viviendas; utilizando materiales descartables de los que se dispone en abundancia. El desarrollo tecnológico de componentes constructivos para cerramientos, su diseño, y el conocimiento de sus propiedades y ventajas constituye el aporte original de este trabajo. También se realiza una propuesta de diseño aprovechando al máximo el potencial del material estudiado, como ejercicio final.

Los elementos constructivos estudiados en esta Tesis se fabrican con cemento Portland y botellas descartables de jugos, gaseosas, agua mineral y soda, constituidas por PET (polietilen tereftalato). Foto 1. En algunos casos se utiliza también arena gruesa como agregado. Los materiales que se reciclan con esta tecnología no necesitan estar limpios, pueden contener tierra, arenillas, etc. sin que se afecten por ello sus buenas propiedades (a diferencia de otros procedimientos de reciclado químicos en los cuales es imprescindible la perfecta limpieza de los materiales).

El reciclado de estos materiales para su uso en esta tecnología es muy simple y económico, de tipo mecánico. El procesamiento de estos materiales plásticos no deja residuos sin procesar porque incluso el sobrante molido y cementado se puede agregar a una nueva mezcla.



Foto 1. Envases de PET. Fuente: archivo fotográfico de CEVE.

## Objetivos

Los objetivos generales fueron:

- Desarrollo de una tecnología ecológica para la construcción, basada en el reciclado de residuos plásticos.
- Desarrollo de una tecnología productiva económica, para colaborar en la solución del déficit habitacional de nuestro país.

Los objetivos específicos fueron:

- Avance en el conocimiento de materiales plásticos reciclados para ser utilizados en la elaboración de elementos constructivos.
- Desarrollo de nuevos procedimientos para fabricar elementos constructivos buscando mejorar propiedades técnicas y abaratar costos.
- Estudio del comportamiento de los elementos constructivos que se desarrollen en la investigación (aspectos técnicos, ecológicos y económicos).

## Marco teórico

La naturaleza produce residuos, pero tiene la suficiente capacidad de procesarlos, integrándolos de nuevo al ciclo vital. En las cadenas tróficas, animales herbívoros consumen vegetales, animales carnívoros consumen animales herbívoros u otros carnívoros, y finalmente, organismos que viven en el suelo (hongos y bacterias) están encargados de descomponer o degradar a los organismos muertos. De esta sabia manera, la naturaleza busca mantener el delicado equilibrio del sistema ecológico.

El ser humano representa una amenaza en este mecanismo, al producir residuos en grandes cantidades por su afán de consumo. Algunos de ellos son posibles de “absorber” nuevamente (por ejemplo, el caso de los residuos de alimentos, que pueden ser reciclados como abono para cultivos) y otros que, por su escasa o nula biodegradabilidad, como en el caso de los plásticos, se acumulan, entierran o incineran en basurales (legales o ilegales) produciendo contaminación, y desaprovechando irracionalmente los recursos. De esta manera, el hombre causa un impacto negativo en el medio ambiente, con una miope visión cortoplacista.

La disminución de la producción de residuos, el reciclado de los materiales reutilizables y la correcta disposición final de los residuos que realmente no pueden aplicarse para un nuevo uso, se visualizan como las mejores soluciones posibles dentro de esta problemática. El reciclado es además la mejor forma de evitar la extracción de materias primas.

La disposición de los residuos constituye un problema en las ciudades, y las soluciones que los municipios han dado al mismo evolucionaron notablemente. Antiguamente las ciudades se deshacían de los residuos mediante el alejamiento y ocultamiento de los mismos respecto de los asentamientos humanos, sin importar la contaminación ambiental consecuente en estos sitios. A esta modalidad de disposición de residuos se la denomina “*vertedero incontrolado*”.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Vertedero incontrolado: basural a cielo abierto, que genera contaminación de aguas, aire, suelo y alimentos, deterioro paisajístico y cultural del entorno, pérdida de valor inmobiliario, etc. En el mismo se justifica la combustión de los residuos para prolongar la vida útil del predio de disposición, el control de vectores de enfermedades con insecticidas de elevada toxicidad, la alimentación de animales— principalmente cerdos— con residuos a cambio de la cesión gratuita del sitio de disposición, el trabajo insalubre de los recuperadores para mantener fuentes de trabajo, etc. Todo ello contribuye a una situación de deterioro ambiental y de la salubridad, cuyas consecuencias incluso escapan fuera de los límites del lugar donde ocurre.

Persiste lamentablemente aún en la actualidad y en la mayoría de las ciudades, y es difícil de erradicar por razones de facilidad y economía a corto plazo, pero han surgido en las dos últimas décadas nuevos conceptos sanitarios que han revolucionado la disposición final de los residuos. Entre ellos se encuentra el método de ingeniería ambiental denominado “*vertedero controlado*”<sup>3</sup>, que minimiza o evita los impactos ambientales de la disposición final de los residuos.

En estos predios los desechos son cubiertos con una delgada capa de tierra sobre la cual crece sólo pasto. Se va aumentando así gradualmente la superficie de pradera, sin otra utilidad (no se puede plantar árboles o cultivar en ella; tampoco edificar por la vulnerabilidad de los estratos inferiores).

Nuestra ciudad es un caso testigo de esta realidad: según datos de la Agencia Córdoba Ambiente, organismo provincial encargado de proteger el medio ambiente de la Provincia de Córdoba,

*“Actualmente los sitios de disposición final de residuos con vertido incontrolado constituyen el 43% del total, y los sitios con vertido controlado constituye el 57 % restante. Se constata además que existen 700 basurales a cielo abierto en nuestra provincia” (Gobierno de la Provincia de Córdoba, 2000).*

Otro concepto sanitario que ha cobrado auge en estas dos últimas décadas es el de *reciclar*, como una forma de aprovechamiento racional de los residuos, y de minimizar la cantidad que se debe enterrar.

El reciclado es imprescindible por los altos costos que tiene la disposición de los residuos y las consecuencias ambientales no deseadas. Todos estos son fuertes incentivos para realizarlo, no siempre correctamente evaluados.

Sin embargo, es aún muy bajo el porcentaje de residuos que se recupera, en parte debido a la escasa conciencia ambiental de nuestra población, a diferencia de la europea.

Según datos de la Agencia Córdoba Ambiente,

*“Se estima que en la actualidad la provincia de Córdoba genera alrededor de 1.300.000 toneladas de residuos sólidos urbanos no industriales. Hay además un incremento del orden del 15 al 20 % anual, considerando el crecimiento vegetativo de la población. Casi el 30 % de los residuos son de difícil o imposible recuperación (por sus características intrínsecas, estado de mezcla, tamaño, etc.), pero nos queda aún el 70 % o sea 910.000 ton/año, susceptibles de algún tipo de recuperación o aprovechamiento. Del total producido un 34 % está constituido por materia orgánica compostable y un 36 % corresponde a materiales inorgánicos reciclables. Se está recuperando alrededor de un 10 % (130.000 ton) principalmente por el sistema informal de recuperación, llamado “*cirujeo*” (Gobierno de la Provincia de Córdoba, 2001).*

La construcción del entorno humano es una actividad que siempre ha generado impacto ambiental en todas sus etapas: durante la fabricación de los materiales, la construcción de los edificios, la utilización de los mismos y su demolición.

La construcción implica el consumo de recursos naturales en algunos casos no renovables, el gasto de energía, contaminación por las emisiones, y generación de residuos.

Se coincide con la definición de “recurso no renovable” de Calvo: “Recursos no renovables son la materia o la energía del medio natural utilizables por el hombre que no pueden ser obtenidas otra vez por la misma vía” (Calvo, 2000).

La degradación del medio ambiente causada por las construcciones humanas ha comenzado a ocurrir con la existencia misma del hombre, pero ha aumentado notablemente desde el siglo XIX, en coincidencia con la Revolución Industrial.

---

<sup>3</sup> Vertedero controlado: sitio de disposición de residuos con las siguientes instalaciones: planta de tratamiento de lixiviados, módulos para depósito de residuos con impermeabilización de bases y taludes, coberturas de los mismos, sistemas de control de gases, control de accesos, tratamiento del paisaje con barreras forestales y visuales, etc.

En el siglo pasado surge el concepto de Construcción Sostenible, con la preocupación ecologista de posibilitar que las generaciones futuras no se vean perjudicadas por la actividad constructora del hábitat humano (hasta la presente destructora del medio ambiente).

En palabras de Lanting, “La construcción sostenible se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales causados por los procesos de construcción, uso y derribo de los edificios y por el ambiente urbanizado” (Lanting, 1996).

Siguiendo a Cáceres,

*“La sostenibilidad consiste en la adaptación del entorno de los seres humanos a un factor limitante: la capacidad del entorno de asumir la presión humana de manera que sus recursos naturales no se degraden irreversiblemente” (Cáceres, 1996).*

Coincidiendo con Kibert, se debe tratar de construir en base a unos principios, que podríamos considerarlos ecológicos y se enumeran a continuación:

*“Conservación de recursos.*

*Reutilización de recursos.*

*Utilización de recursos Reciclables y Renovables en la construcción.*

*Consideraciones respecto a la gestión del ciclo de vida de las materias primas utilizadas, con la correspondiente prevención de residuos y de emisiones.*

*Reducción en la utilización de la energía.*

*Incremento de la calidad, tanto en lo que atiende a materiales, como a edificaciones y ambiente urbanizado”.*

## **Protección del Medio Ambiente**

*“Creación de un ambiente saludable y no tóxico en los edificios”  
(Kibert, 1994).*

Las tecnologías tradicionales utilizadas en la República Argentina para la construcción causan impacto ambiental, en mayor o menor medida. Todas ellas implican la extracción de materias primas (piedra, arena, madera, suelo fértil, metales, etc.), en algunos casos recursos no renovables.

Es muy bajo el porcentaje de utilización de materiales reciclados, y se trata en general de residuos recuperados de demoliciones, por ejemplo, en el caso de la fabricación de hormigones utilizando parcialmente como agregados restos de hormigones viejos triturados o cascotes de ladrillos.

La actividad de fabricar ladrillos de barro cocido (una de las tecnologías de uso predominante para la construcción en la República Argentina) es un claro ejemplo de destrucción de suelo, puesto que para su elaboración se utiliza la capa fértil de la tierra. El consumo de suelo de la misma es semejante a la de los viveros y las fábricas de cerámicos. El suelo es un recurso difícilmente renovable. Se produce deforestación, puesto que se talan los árboles de montes próximos para obtener la leña necesaria para el funcionamiento de los hornos, habitualmente sin reponer los ejemplares extraídos. Además, produce contaminación atmosférica por el humo que emiten los hornos. Este tipo de actividad es tolerada debido a la amplia aceptación que tienen estos ladrillos por sus buenas propiedades técnicas y bajo costo.

En este trabajo de investigación se han desarrollado elementos constructivos con plásticos reciclados, que pueden ser alternativas posibles al ladrillo tradicional de tierra cocida, con el objetivo de colaborar en frenar la desertificación del suelo, la deforestación, y la contaminación.

Los plásticos son materiales que se caracterizan por su ligereza, su resistencia a la intemperie y a muchos productos químicos. Pero estas cualidades que los hacen útiles se convierten, al finalizar su uso y transformarse en residuos, en desventajas desde el punto de vista ambiental. Son materiales de escasa o nula bio-degradabilidad, por lo que la naturaleza no puede absorberlos como a otros residuos: “*Las botellas de polietilen-tereftalato (PET) tardan más de 500 años en descomponerse, y duran más si están enterradas*” (Gobierno del Estado de México, 2004).

Aproximadamente el 50 % en peso de los desechos son prácticamente no bio-degradables, correspondiendo a los plásticos el 13,3 % del total (en peso), en la República Argentina. Esto equivale al 30 % del total en volumen (CEAMSE, 1992).

Si bien es cierto que los plásticos son inertes y su composición no contamina los suelos de por sí, contribuyen, considerablemente, a la modificación negativa del ambiente:

*“Los plásticos suponen una contaminación estética y un problema de obstrucción de tuberías, canalizaciones y procesos industriales y de tratamiento de aguas. Asimismo, pueden causar alteraciones en el suelo al no degradarse con facilidad si se depositan sobre él o si son enterrados. Los polímeros abandonados, si no se mueven durante un tiempo, provocan además un efecto invernadero sobre la parte de suelo cubierta, calentándolo y reteniendo el calor” (Seoánez Calvo, 2000).*

Es por lo tanto sustentable desde el punto de vista ambiental reducir la producción de residuos plásticos, y realizar el reciclado de los mismos.

Se debe evaluar la conveniencia económica del reciclado, pues si bien los residuos son gratuitos para el municipio, hay gastos de recolección, separación y limpieza del material, y gastos inherentes al procesamiento del mismo. Naturalmente, el reciclado es más atractivo cuanto mayor sea el precio del material virgen a sustituir.

## **Estado de la técnica**

En el campo de la arquitectura y la construcción es muy reciente el comienzo del uso de materiales reciclados procedentes de otras industrias; no así el de materiales reciclados procedentes de la misma industria. Ejemplo de ello es el reciclado de escombros de construcciones para su uso en nuevas construcciones, ya conocido desde la antigüedad en diferentes civilizaciones: egipcia, maya, inca, griega, romana, etc. En cambio, el reciclado de residuos de otras industrias, en este caso plásticos procedentes de envases de bebidas descartables y empaquetados de alimentos, es una novedad de los siglos XX y XXI. Con ellos se ha desarrollado la tecnología que se presenta en esta Tesis.

Hay numerosos antecedentes a nivel mundial de utilización de plásticos reciclados en elementos constructivos, en los años recientes. Los mismos sirvieron como punto de partida y material de consulta permanente de esta investigación.

Sin embargo, se debe señalar que hay diferencias entre ellos y los elementos constructivos que se estudiaron y desarrollaron en esta investigación, en cuanto a:

- Dosificación.
- Materiales constitutivos.
- Procedimientos de elaboración.
- Diseño.
- Propiedades físicas y químicas.
- Aplicaciones.
- Costo.

En algunos casos como en los de Alemania, España y Suiza, se han obtenido productos de alta calidad utilizando tecnologías sofisticadas, con procesos altamente mecanizados y automatizados, impracticables en nuestro medio por su alto costo.

A continuación, se detallan las composiciones patentadas y/o publicadas con plásticos reciclados cuyo estudio fue el punto de partida de esta investigación, y se describen sintéticamente las diferencias con esta tecnología.

## Patentes

- Patente de Magnani Silvio: Se trata de un método para producir placas de construcción que contienen cemento, materiales inertes y aditivos (fluidificantes), reforzadas con una malla plástica. Se diferencia de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación porque el plástico se utiliza como una malla de refuerzo, no como árido triturado en partículas (Magnani, 1991).
- Patente de Sawyers John: Se trata de un método para realizar mezclas cementicias para aplicar en productos constructivos, incorporando plásticos triturados en partículas. Se diferencia los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por una diferente dosificación, puesto que la cantidad del plástico es un 25 % del volumen total del concreto, y por incorporar diferentes materiales constitutivos: arena y grava (Sawyers, 1995).
- Patente de Berg Volkmar y Rinno Helmut: Se trata de un método para realizar mezclas cementicias que incorporan plásticos triturados en partículas, especialmente resistentes a la corrosión de ácidos, impermeables a líquidos y gases y de gran estabilidad mecánica, producidas por moldeo a presión en máquinas extrusoras. Se utiliza principalmente en construcción de edificios, de caminos, de puentes y en obras de ingeniería civil, en particular en caños de agua bajo tierra. Se diferencia de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por utilizar un diferente procedimiento de elaboración (moldeo a presión con máquinas extrusoras), diferente diseño (los elementos moldeados no son placas ni ladrillos como los de este trabajo) y diferentes propiedades (resistencia a la corrosión de ácidos, e impermeables a líquidos y gases) (Berg y Rinno, 1997).
- Patente de Han Eddie y Eui In: Se trata de un método para realizar paneles de construcción consistentes en capas comprimidas de diferentes materiales con una base de una membrana de plástico rígido (por ejemplo, PVC) sobre la cual se aplica una “cama” de mortero cementicio. Se diferencia de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por utilizar el plástico no triturado en partículas como un árido, sino como una membrana que sirve de base para los otros materiales constitutivos; y por utilizar diferentes materiales constitutivos: metales, trozos de tejas cerámicas, y trozos de granito o mármol (Han y Eui, 1996).
- Patente de Hammond Jr. y Warren Scott: Se trata de un método para la fabricación de paneles con una parte central espumada y un recubrimiento de plástico y cemento portland aplicado sobre cada cara para dar rigidez. Las dimensiones de los paneles son: 24 pies de largo, 4 pies de ancho y 4-8 pulgadas de espesor. Se diferencia de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por utilizar un distinto procedimiento de elaboración y distinto diseño (Hammond y Warren, 1999).
- Patente de Lupo Joaquin y Tre Luis Jacinto: Se trata de la fabricación de elementos constructivos y accesorios de automóviles utilizando como materia prima neumáticos triturados, en cantidades variables entre 66 a 77 %, con tamaño de partícula entre 18 y 30 micrones, 15 al 22 % de plásticos molidos a igual granulometría. Todo esto se mezcla y se agregan solventes como tolueno o metil isobutil cetona junto con ácido láctico, fosfórico o fórmico con la finalidad de formar una pasta moldeable. Se diferencia de

los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por utilizar una diferente dosificación, incorporar otros materiales constitutivos y diferente diseño (Luppo y Tre, 1999).

- Patente de Spakousky John: Se trata de un sistema constructivo en el cual en una primera etapa se fabrican ladrillos usando cemento y barro, y luego se utiliza una malla plástica como soporte para colocar los ladrillos en la pared. Al finalizar, esta malla plástica es recubierta de un lado con cemento y del otro con una capa aislante. Se diferencia de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por utilizar un diferente procedimiento de elaboración y poseer un diferente diseño (Spakousky, 1999).
- Patente de Porter William: Se trata de la fabricación de paneles plásticos aislantes, los cuales tienen una parte central espumada (de P.S.E. o P.Ur. expandido). La cara exterior se recubre con madera terciada o mezclas de yeso o cemento. La cara interior se la empapela con recubrimientos plásticos impregnados con adhesivos, lo cual incrementa la resistencia mecánica. Se diferencia de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por utilizar un diferente procedimiento de elaboración, incorporar otros materiales constitutivos, distinta dosificación, y poseer un diferente diseño (Porter, 2001).
- Patente de Nosker Thomas y Renfree Richard: Se trata de un material que se utiliza para la construcción, compuesto por polietileno de alta densidad reciclado y fibras de vidrio recubiertas por un termoplástico. Esta mezcla de materiales, moldeada por extrusión, permite obtener productos de alta resistencia mecánica. Se usa en travesaños para vías de ferrocarril. Se diferencia de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por incorporar distintos materiales constitutivos, distinta dosificación, utilizar un diferente procedimiento de elaboración, y poseer un diferente diseño (Nosker y Renfree, 1998).
- Patente de Avakian Roger y Parekh Shashi: Se utilizan como materia prima P.E., P.P., policarbonatos, PVC, ABS, acrílicos, PET y otros, todos ellos reciclados, provenientes de la industria y de residuos hogareños. Todos estos materiales son molidos juntos obteniendo un tamaño de partículas de 0,3 x 0,8 mm., se agregan fibras cuyo diámetro es de 2-2,5 micrones, y largo entre 0,25-0,75 pulgadas. Todo se mezcla con agua y se forma una pasta, que se coloca en moldes, se la pone a secar en horno al vacío y luego es sometida a presión y temperatura para fundir al menos el 50 % de la mezcla. Se diferencia de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por incorporar distintos materiales constitutivos, utilizar un diferente procedimiento de elaboración, distinta dosificación, y poseer un diferente diseño (Avakian y Parekh, 1991).
- Patente de Prusinski Richard: Se trata sobre la composición y el método para fabricar elementos constructivos con plásticos moldeados en la forma deseada. Como materia prima se utilizan plásticos contaminados de composición muy variable, los cuales son molidos, se les agrega hasta un 25 % de arena, se dejan secar y luego se funden con calor en un molde. Se dejan enfriar y se desmolda. Se diferencia de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por incorporar distintos materiales constitutivos, utilizar un diferente procedimiento de elaboración, distinta dosificación, y poseer un diferente diseño (Prusinski, 1984).
- Patente de Nagayasu Nobuhiko: Se trata de un método para producir materiales compuestos para diversos fines. Se utiliza como materia prima caucho y materiales plásticos diversos reciclados, todos ellos son finamente molidos y se calientan para la fusión del plástico. Esta mezcla pastosa es inyectada en moldes y luego se deja enfriar y se desmolda. Se diferencia de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por incorporar distintos materiales constitutivos, utilizar un diferente procedimiento de elaboración, distinta dosificación, y poseer un diferente diseño (Nagayasu, 1989).
- Patente de Raponi Dante: Se trata de una composición tipo para utilizar en elementos constructivos. La composición descrita es: 1 a 4 partes de polietileno molido, 2 a 8 partes de agregados seleccionados (arena, cemento, ceniza volcánica, restos de paja y polvo, perlitas, y vermiculita), 1 a 2 partes de cemento y 1 a 4 partes de agua. Se diferencia de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación



por incorporar distintos materiales constitutivos, distinta dosificación, y poseer diferente diseño (Raponi, 1977).

- Patente de Fontein Freerk y Dreissen Hubert: Se trata de métodos físicos para separar residuos plásticos y residuos metálico por medio de un hidrociclón. Se diferencia de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por utilizar diferente procedimiento, y por tener distintos fines (Fontein y Dreissen, 1977).
- Patente de Hoedl Herbert: Se trata de un método para fabricar elementos constructivos utilizando plásticos reciclados. Se trabaja con plásticos procedentes de diversos reciclados los cuales son moldeados por acción del calor y la presión. Se diferencia de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por utilizar por incorporar distintos materiales constitutivos, utilizar un diferente procedimiento de elaboración, distinta dosificación, y poseer un diferente diseño (Hoedl, 1991).
- Patente de Jenkins Robert: Se trata de la fabricación de bloques para la construcción utilizando desechos de casas de familia. Los desechos plásticos son molidos finamente y se los mezcla con otros materiales. Dosificación: 10 partes de desechos, 10 partes de agua, 1 parte de carbonato de calcio, 3 partes de cemento portland y 2 partes de arena. Se vierte la mezcla en moldes calentados a 80° F por 2 hs. y luego se desmolda. Se diferencia de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por incorporar distintos materiales constitutivos, utilizar un diferente procedimiento de elaboración, distinta dosificación, y poseer un diferente diseño (Jenkins, 1994).

### **Elementos constructivos no patentados, pero sí publicados**

Los materiales fabricados con fibras de madera ligados con polímeros fundidos (ambos materiales de desecho) desarrollados por el arquitecto Juan Giaccardi de la Escuela Federal de Lausana, Suiza. Se diferencian de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por incorporar distintos materiales constitutivos, utilizar un diferente procedimiento de elaboración, distinta dosificación, y poseer un diferente diseño (Nicod, 1990).

Los paneles con termoplásticos provenientes de residuos sólidos urbanos, combinados con papel, cartón o viruta de madera, obtenidos en el Centro Tecnológico Gaiker de Barcelona, España. Se diferencian de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por incorporar distintos materiales constitutivos, utilizar un diferente procedimiento de elaboración, distinta dosificación, y poseer un diferente diseño (Gaiker, 1996).

Los ladrillos que desarrolló Carlos Levinton elaborados con cemento, cal y PET triturado, en el Centro Experimental de la Producción de la Universidad de Buenos Aires. Se diferencian de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por incorporar distintos materiales constitutivos (Idelsohn, 2003).

El sistema Ecoblock desarrollado por la Facultad de Arquitectura de la Universidad de la República Oriental del Uruguay, consistente en mampuestos de adobe trabados con envases de PET reciclados. Se diferencian de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por utilizar los envases de PET reciclados enteros, no como áridos sino como dispositivos de encastré (Kruk, 2001).

Los bloques con envases de botellas triturados desarrollados por Eco Builders Network en EEUU Se diferencian de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por la dosificación, y distinto procedimiento de elaboración (King, 2005).

Hay antecedentes de ensayos de degradación de fibras de PET en mezclas cementicias, realizados en la Universidad de San Pablo, Brasil (Betioli, Silva, Gleize y Gómez, 2004).

La investigación realizada por un grupo de la Universidad Tecnológica de Córdoba y del GinTeMac, sobre hormigones que utilizan polipropileno y polietileno reciclados, fundidos por extrusión y molidos, como áridos en reemplazo de agregados pétreos. Se diferencian de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación por realizar la fundición de los plásticos y una etapa más de molienda, previo a su incorporación en una mezcla cementicia (Cáceres et al., 2006).

Las investigaciones en donde se utiliza PET reciclado como parte constitutiva de morteros poliméricos, que se diferencian de los elementos constructivos que se estudiaron en esta investigación porque se modifica químicamente el PET mediante el proceso de glicólisis, produciendo resina poliéster insaturada, que se mezcla con arena, grava y cenizas volantes (Rebeiz, 1995; Rebeiz, 1996; Fareed et al, 2007).

## Metodología

Se ha aplicado una metodología integrada de Investigación-Acción, descrita de la siguiente manera por el arquitecto Horacio Berretta:

*“La metodología integrada de Investigación-Acción implica la ejecución inter-disciplinaria y grupal de tareas de gabinete y campo, con evaluaciones cíclicas capaces de ir generando un retorno para retro-alimento de la investigación. Presupone también la crítica razonada de prácticas empíricas (aprender haciendo) y participativas (hacer y aprender juntos), introduciendo grados de abstracción progresiva, y una dosis de agilidad mental, apertura y capacidad de síntesis. Evitando, por otra parte, caer en una preocupación exagerada por la pureza del método, sin la pasión por la finalidad social de procesos y productos buscados, que podría llevar a convertir la metodología en móvil último, más que en herramienta de trabajo. Dadas numerosas dificultades restrictivas para el desarrollo de nuevos métodos, técnicas, productos, herramientas, debido a limitaciones y condiciones particulares: económicas, culturales, ambientales, etc. se puede constatar que en este campo de investigación – acción, la justificación del procedimiento se nutre de la “teoría”, pero por sobre todo de la “eficacia evidente”, desarrollada en experiencias cíclicas convenientemente estudiadas” (Berretta, 1987).*

## Técnicas empleadas

- Para la actualización sobre el estado de la técnica sobre el tema se realizó una búsqueda bibliográfica en la red Internet, en anales de congresos y seminarios de la especialidad, en publicaciones de las Bibliotecas de las Facultades de Arquitectura y de Ingeniería Civil de la UNC, y contactos con empresas que fabrican y comercializan productos similares.
- Para el desarrollo de elementos constructivos se programaron pruebas con diferentes formulaciones, se diseñaron los componentes utilizando el programa de dibujo por computadora Autocad, y se realizaron probetas en el laboratorio.
- Para ordenar y sistematizar la información se diseñaron y aplicaron fichas donde se registraron procesos y resultados.
- Para el estudio de las propiedades técnicas de los componentes se realizaron ensayos en los laboratorios especializados de la Universidad Nacional de Córdoba y del INTI en Capital Federal.
- Para la evaluación de resultados de los ensayos de laboratorios se diseñaron y realizaron tablas donde se asentaron los datos, juntamente con los correspondientes a elementos constructivos tradicionales, a fin de poder hacer un análisis comparativo.

- Para evaluación de resultados de campo se realizaron prototipos de construcciones, que permitieron obtener conclusiones en cuanto a habitabilidad higrotérmica, adherencia de revoques, resistencia a la intemperie, procedimientos de montaje de los componentes, etc.

## **Materiales y métodos**

Las materias primas que se utilizan son: cemento Pórtland común y el plástico denominado “polietilen-tereftalato” (PET) procedente de envases descartables de bebidas triturados. Se agrega un aditivo químico en el agua de mezclado, consistente en polímeros acrílicos en suspensión, que mejora la adhesividad de las partículas plásticas con el cemento. En el caso de los bloques de losa, se utiliza también arena gruesa.

Las maquinarias que se utilizan son:

- Trituradora de plásticos, con motor trifásico blindado de 1400 rpm y 10 hp de potencia. La producción de esta máquina experimental es de 30 kg/hora, lo cual permite obtener plástico triturado para fabricar 30 ladrillos/hora.
- Hormigonera carretilla, motor  $\frac{3}{4}$  hp, 140 lt.
- Máquina rodante para moldear ladrillos (adaptación de una máquina para fabricar bloques Cayca) con capacidad para realizar la compresión y postura de 6 ladrillos simultáneamente.

El procedimiento de elaboración es el siguiente:

- Se realiza el triturado del PET con un molino diseñado para tal fin, hasta obtener partículas de 3 mm. de largo como máximo (ver foto 2 a).
- Las partículas de PET se mezclan con cemento Pórtland en una hormigonera, luego se agrega agua con aditivos químicos incorporados (ver foto 2 b).
- Cuando esta mezcla adquiere consistencia uniforme, se la vierte en una máquina de moldear ladrillos o bloques.
- Se realiza la compresión de la mezcla y la postura de los componentes constructivos utilizando la máquina rodante (ver foto 2 c).
- Se dejan en reposo los componentes constructivos durante un día y pasan a la etapa de curado con agua, en donde permanecen 7 días.
- Después de este tiempo, se los retira y se los almacena en pilas a cubierto hasta cumplir los 28 días desde su elaboración (ver foto 2 d).
- Luego son llevados a obra para su uso en mamposterías de elevación, o bien se los emplea para fabricar placas.

La técnica de fabricación de placas de ladrillos es similar al de la placa Beno desarrollada en el CEVE por los arquitectos Berretta y Novo (Patente 226794), que se usó como antecedente.



Foto 2. Proceso de fabricación de ladrillos con PET reciclado. Fuente: archivo fotográfico del CEVE.

## Resultados

En esta investigación se desarrollaron los siguientes elementos constructivos:

### LADRILLO

Propiedades técnicas:

- *Dimensiones:* 5,5 cm. x 12,5 cm. x 26,2 cm.

Peso por unidad: 1443 gr.

- *Peso por m<sup>2</sup> de superficie* (considerando que es utilizado en una mampostería de 12,5 cm. de espesor): 79,2 kg/m<sup>2</sup>.
- *Densidad:* 1150 kg/m<sup>3</sup>. Ensayo realizado en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba.
- *Resistencia característica a la compresión:* 2,00 Mpa. Se clasifica como No Portante, según Norma IRAM. Ensayo realizado en el Laboratorio del INTI de Capital Federal.
- *Absorción de agua:* masa 19,1 %, volumen 214 kg/m<sup>3</sup>. Ensayo realizado en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba.

- *Envejecimiento con tratamiento de QUV Panel*<sup>4</sup>: 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. Ensayo realizado en el Laboratorio del INTI de Capital Federal.
- *Permeabilidad al vapor de agua*: Entre  $1,76$  y  $3,81 \times 10^{-2} \pm 4\%$  g/mhkPa. Ensayo realizado en el Laboratorio del INTI de Capital Federal.
- *Resistencia al fuego*: Clase RE 2: Material combustible de muy baja propagación de llama. Ensayo realizado en el Laboratorio del INTI de Capital Federal.
- *Conductividad térmica*: coeficiente: 0,15 W/mK. Ensayo realizado en el Laboratorio del INTI de Capital Federal.
- *Adherencia de revoques*: 0,25 MPa. Ensayo realizado en el Laboratorio del INTI de Capital Federal.
- *Resistencia acústica*: Es de 41 db, en el caso de un muro de 0,15 m. de espesor revocado de ambos lados. Ensayo realizado en el CIAL (Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas de la U.N.C.).



Foto 3. Ladrillos elaborados con PET reciclado. Fuente: archivo fotográfico de CEVE.

#### Especificaciones de uso:

- *De los revoques a aplicar en superficies*: Son 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: ¼: 1: 3 (cemento: cal: arena gruesa).

Fino: 1/8: 1: 3 (cemento: cal: arena fina).

- *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.

<sup>4</sup> El Ensayo de Envejecimiento con tratamiento de QUV Panel 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.

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

#### BLOQUE PARA MURO

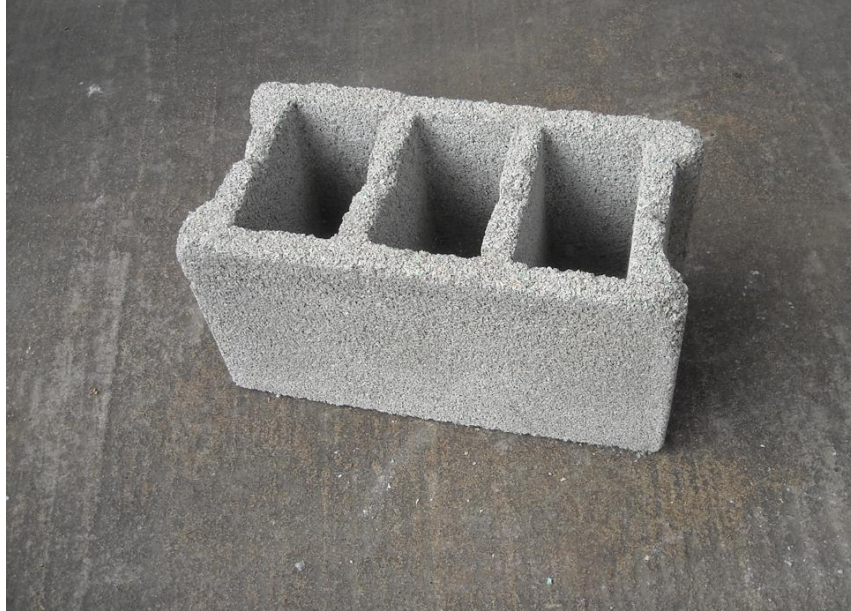


Foto 4: Bloque para muro elaborado con PET reciclado. Fuente: archivo fotográfico de CEVE.

#### Propiedades técnicas:

- *Dimensiones:* 20,00 cm. x 20,50 cm. x 40,00 cm.

Peso por unidad: 6200 gr.

- *Peso por m<sup>2</sup> de superficie* (considerando que es utilizado en una mampostería de 20 cm. de espesor): 77,5 kg/m<sup>2</sup>.
- *Densidad:* 1220 kg/m<sup>3</sup>. Ensayo realizado en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba.
- *Absorción de agua:* Masa: 15,96 %. Volumen: 188,66 kg/m<sup>3</sup>. Ensayo realizado en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba.
- *Resistencia a la compresión:* Tensión de rotura: 1,02 MPa. Se clasifica como No Portante, según Norma IRAM. Ensayo realizado en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba.
- Especificaciones de uso:  
Iguales que las de ladrillo.

## PLACA DE LADRILLOS



Foto 5. Placa de ladrillos con PET reciclado. Fuente: archivo fotográfico de CEVE.

### Propiedades técnicas:

- *Dimensiones:* 240 cm. x 28 cm. x 5,6 cm.

Peso por unidad: 45,21 kg.

- *Peso por m<sup>2</sup> de superficie* (considerando que es utilizado en un cerramiento de 5,6 cm. de espesor): 67,27 kg/m<sup>2</sup>.
- *Resistencia a la compresión axial:* Carga máxima de rotura: 3468 kg. Ensayo realizado en el Laboratorio de Estructuras de la UNC.
- *Resistencia a la flexión:* Carga máxima de rotura: 147,5 kg. Ensayo realizado en el Laboratorio de Estructuras de la UNC.
- *Resistencia al choque duro:* Diámetro de la impronta arrojando la esfera de acero desde la altura máxima de ensayo: 29 mm. Ensayo realizado en el Laboratorio de Estructuras de la UNC.
- *Resistencia al impacto blando:*

Número de golpes al producirse el colapso: 6.

Altura de caída de la bolsa de arena al producirse el colapso: 90 cm.

Flecha instantánea al producirse el colapso: 109 mm.

Flecha residual al producirse el colapso: 86 mm.

Ensayo realizado en el Laboratorio de Estructuras de la UNC.

- *Especificaciones de uso:*

El mortero a aplicar en las juntas entre placas es un mortero reforzado, dosificación: ¼ : 1 : 3 (cemento : cal : arena gruesa, en proporción de volúmenes).

## BLOQUE PARA LOSA

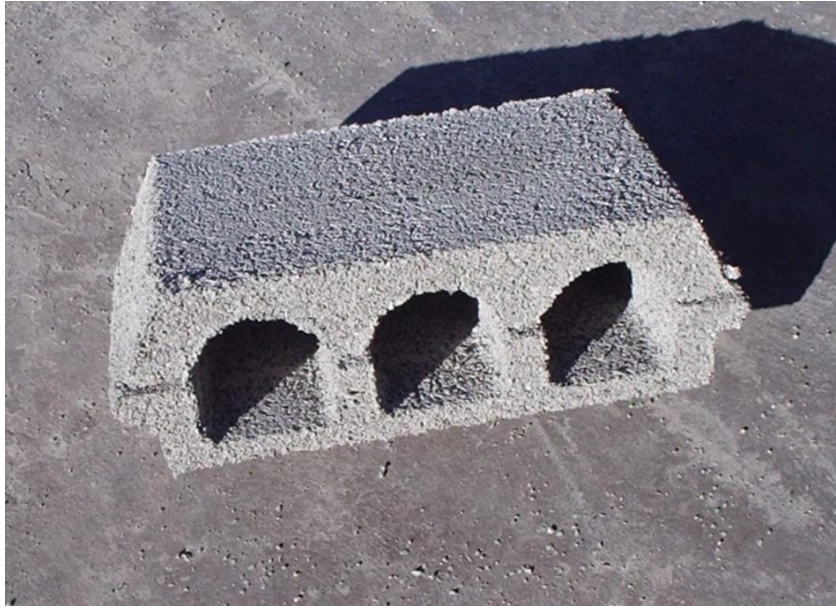


Foto 6: Bloque para losa elaborado con PET reciclado. Fuente: archivo fotográfico de CEVE.

## Propiedades técnicas:

- *Dimensiones:* 13,00 cm. x 39,70 cm. x 18,50 cm.  
Peso por unidad: 5650 gr.
- *Peso por m<sup>2</sup> de superficie* (considerando que es utilizado en una losa de 20 cm. de espesor): 45,2 kg/m<sup>2</sup>.
- *Densidad:* 1385,6 kg/m<sup>3</sup>. Ensayo realizado en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba.
- *Absorción de agua:* Masa: 9 %. Volumen: 511,6 gr. Ensayo realizado en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba.
- *Resistencia a la flexión:* Carga de rotura: 211,1 DaN. Se clasifica como No Portante, según Norma IRAM. Ensayo realizado en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba.
- Especificaciones de uso:

Los bloques deben apoyar sobre viguetas pretensadas de hormigón armado de tipo tradicional. El revoque es igual que el que se utiliza sobre mampostería de ladrillo tradicional. La carga de techos es de tipo tradicional.



### Prototipos experimentales construidos

Con ladrillos de PET se han construido las paredes de una oficina de 12 m<sup>2</sup> de superficie en planta del CEVE (ver foto 7 a), y de un galpón de 156 m<sup>2</sup> de superficie cubierta en Unquillo, Provincia de Córdoba, donde funciona la Planta Municipal de Recolección Diferenciada de Residuos (ver foto 7b).

Con bloques de losa de PET se ha construido el techo de una vivienda de 60 m<sup>2</sup> en barrio Patricios, ciudad de Córdoba (ver foto 7c). Con placas de ladrillos se construyó una tapia entre dos viviendas de 60 m lineales en el barrio José Ignacio Díaz, Córdoba Capital (ver foto 7 d).



Foto 7. Prototipos construidos con elementos constructivos con PET. Fuente: archivo fotográfico de CEVE.

### Estudio de costos de producción

Con los estudios de costos de producción a pequeña escala realizados, se comprueba que se reduce el costo global de la construcción, aunque el costo unitario de estos elementos constructivos es mayor al de otros tradicionales.

Se hizo el cálculo teórico del costo del ladrillo de PET producido en el laboratorio experimental de CEVE, con un equipamiento de baja productividad y mano de obra calificada (incluidas las cargas sociales), y su costo resultó ser el doble que el del ladrillo común de tierra cocida.

La economía está en que por su buena aislación térmica, se pueden utilizar en cerramientos con un espesor menor (una pared de 30 cm. de espesor de ladrillo común tiene la misma aislación térmica que una pared de 15 cm. de espesor de ladrillo con plástico), es decir, que se puede utilizar la mitad de ladrillos y de mortero de unión. Y ocupa la mitad de la superficie de suelo. Además, por su liviandad, se abarata en traslados y en cimientos.

Por otra parte, hay un “ahorro a largo plazo” por la reducción de la contaminación del medio ambiente mediante el reciclado de materiales, lo cual significa disminuir costos a los municipios que deben dar un destino adecuado a los residuos.

La factibilidad económica de realizar un emprendimiento productivo reciclando residuos plásticos está condicionada fuertemente por las posibilidades de obtención de este material mediante la recolección diferenciada de residuos, para evitar gastos de lavado de las botellas.

Por las transferencias de esta tecnología hasta el presente, se observa que municipios que realizan recolección diferenciada de residuos son los que les resulta más factible utilizar esta tecnología, pues tienen acceso gratuito a los residuos en cantidad y con las condiciones de limpieza necesarias, la necesidad de hacer la disposición final adecuada de los mismos, y también deben construir viviendas sociales para sectores carenciados.

#### PROPUESTA DE DISEÑO: LADRILLÓN

Habiendo realizado el estudio de un material nuevo (compuesto cementicio con plástico reciclado) en aplicaciones tales como: ladrillo, bloque para pared y para techo, y placas, cuyas formas son similares a las de otros elementos constructivos tradicionales que cumplen la misma función, se ha obtenido un conocimiento suficiente como para llegar el momento de hacer una propuesta que aproveche al máximo el potencial del material.



Foto 8. Ladrillón de PET y cemento, y montaje de un muro. Fuente: archivo fotográfico de CEVE.

Las ventajas técnicas de este material son:

- Bajo peso específico. Esto permite deducir que se puede aprovechar al máximo este material obteniendo un elemento constructivo de dimensiones mayores a las de otros tradicionales, para realizar un montaje más rápido de la construcción, utilizando menos mano de obra y material de unión.
- Baja conductividad térmica. Esto permite deducir que se puede aprovechar al máximo este material obteniendo un elemento constructivo con un espesor menor al de otros tradicionales, alcanzando el mismo grado de confort térmico.

La desventaja técnica de este material es:

- Menor resistencia mecánica, en relación a otros elementos constructivos tradicionales, lo cual limita su aplicación a elementos de cerramiento no portantes con una estructura independiente.

Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas técnicas del material, se realizó como propuesta de diseño un ladrillón en 2 modelos:

- Modelo 1: ladrillón para cerramiento lateral, caso general.
- Modelo 2: ladrillón para dintel (armado).

Ambos modelos pueden ser cortados con amoladora, para adaptarse al diseño arquitectónico, por lo cual no es indispensable que el proyecto tenga una modulación estricta.

Propiedades técnicas:

- Dimensiones:  
Modelo 1: 0,40 m x 0,40 m x 0,10 m.  
Modelo 2: 1,60 m x 0,40 m x 0,10 m.
- Peso por unidad:  
Modelo 1: 12500 gr.  
Modelo 2: 50000 gr.
- *Peso por m<sup>2</sup> de superficie* (considerando que es utilizado en una mampostería de 10 cm. de espesor): 78,1 kg/m<sup>2</sup>.
- *Densidad*: 1220 kg/m<sup>3</sup>. Ensayo realizado en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba.
- *Absorción de agua*: Masa: 15,96 %. Volumen: 188,66 kg/m<sup>3</sup>. Ensayo realizado en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba.
- *Conductividad térmica*: coeficiente: 0,15 W/mK. Ensayo realizado en el Laboratorio del INTI de Capital Federal.
- *Permeabilidad al vapor de agua*: Entre 1,76 y 3,81 x 10<sup>-2</sup> ± 4% g/mhkPa. Ensayo realizado en el Laboratorio del INTI de Capital Federal.
- *Resistencia al fuego*: Clase RE 2: Material combustible de muy baja propagación de llama. Ensayo realizado en el Laboratorio del INTI de Capital Federal.
- *Adherencia de revoques*: 0,25 MPa. Ensayo realizado en el Laboratorio del INTI de Capital Federal.

- *Resistencia mecánica:* A la flexión: Carga de rotura: 251 kg. A la compresión: Tensión de rotura: 0,54 MPa. El elemento individual se clasifica como No Portante, según Norma IRAM. Ensayos realizados en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Córdoba.

Especificaciones de uso:

- Revoques iguales que los de la mampostería de ladrillos de PET. La unión en las juntas se realiza con un pegamento impermeable del tipo que se aplica para adherir cerámicos a carpetas cementicias (marcas comerciales Klaucol, Perfecto, etc.). El pegamento se aplica tanto en las uniones verticales como en las horizontales, con un espesor de 3 mm.

Prototipo experimental construido:

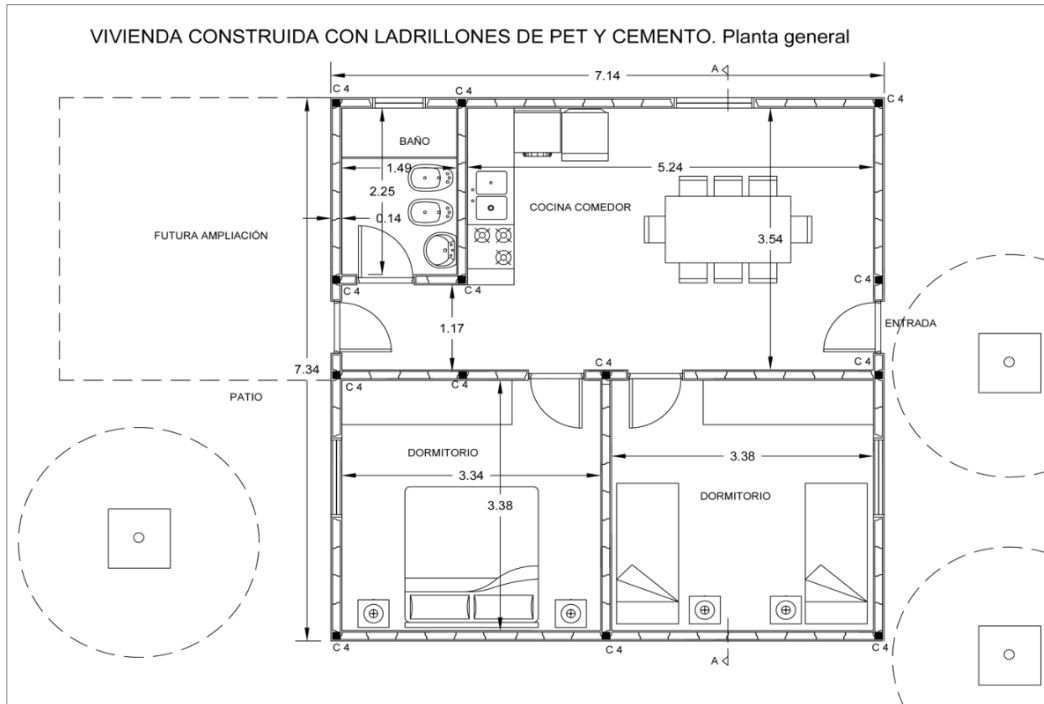
- Se ha realizado un modelo constructivo consistente en los muros de cerramiento de una oficina de 12 m<sup>2</sup>, en planta de CEVE, Córdoba.



Foto 9. Prototipo con ladrillones, en CEVE. Fuente: archivo fotográfico de CEVE.

## Ejercicio de diseño

Se realizó el diseño de una vivienda de interés social de 52 m<sup>2</sup> utilizando estos ladrillones. Ver gráfico 1.



**VIVIENDA CONSTRUIDA CON LADRILLONES DE PET Y CEMENTO**

Axonométrica general.

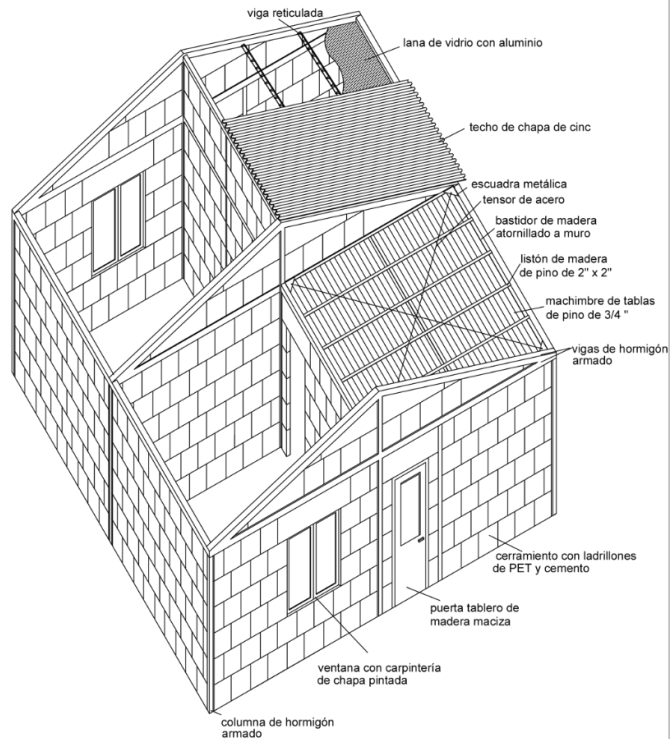


Gráfico 1. Diseño de una vivienda con ladrillos de PET. Fuente: Elaboración de la autora.

## Conclusiones

En esta investigación se han desarrollado y estudiado productos que no existían hasta el presente, si bien hay antecedentes nacionales e internacionales con algunos aspectos similares, cuyo estudio fue el punto de partida de este trabajo. La novedad de los productos y procedimientos desarrollados fue verificada por el INPI (Instituto Nacional de Propiedad Intelectual), quien otorgó una Patente de Invención por el término de veinte años (Número de Resolución: AR047617B1. Fecha de Resolución: 27 / 08 / 08).

La metodología utilizada de Investigación-Acción permitió llegar a la obtención de los elementos constructivos que se habían propuesto en esta Tesis.

Sintéticamente, se realizaron experiencias sucesivas, con la fabricación 350 tipos de probetas en las cuales se fueron modificando variables de a una por vez (tales como la dosificación de materiales, granulometrías, materiales constitutivos, procedimientos de elaboración, formas de compactación, métodos de curado, y diseño morfológico de componentes), se realizaron ensayos de laboratorio, se evaluaron resultados, se realizaron ajustes en base a conclusiones parciales, se construyeron prototipos y se evaluó su comportamiento en el tiempo, para finalmente tramitar los Certificados de Aptitud Técnica y la Patente.

Con el desarrollo de esta Tesis se comprobó la validez de la hipótesis de trabajo inicial: que se pueden construir viviendas más ecológicas que las tradicionales, con cualidades técnicas y económicas, utilizando elementos constructivos fabricados con “nuevos materiales”, a partir del reciclado de residuos plásticos.

Estos elementos constructivos fueron en una primera etapa ladrillos, bloques para muro, placas y bloques para techo, con formas similares a otros componentes constructivos tradicionales.

En la última etapa, se realizó una propuesta de diseño en la cual se optimiza el uso del material, con la obtención de elementos constructivos que aprovechan al máximo las cualidades técnicas del material: la liviandad y la baja conductividad térmica. En esta etapa, la búsqueda se centró en el desarrollo de ladrillones con un ancho y largo mayores que los del ladrillo tradicional, pero de menor espesor. Con ellos se puede realizar un montaje más rápido de la construcción, que con una mampostería de ladrillos comunes, utilizando menos mano de obra y material de unión, y alcanzando el mismo grado de confort térmico.

Se han cumplido los objetivos tecnológicos, ecológicos, sociales y económicos planteados en el Plan de Trabajo:

*Desde el punto de vista técnico*, se comprueba que los residuos plásticos pueden ser utilizados como áridos en mezclas cementicias para la fabricación de elementos constructivos, teniendo los productos obtenidos la calidad pautada por las normas vigentes en nuestro país (para mampuestos no portantes).

Prueba de ello son los resultados de los ensayos realizados en los laboratorios de la Universidad Nacional de Córdoba y en el INTI de Capital Federal, que permitieron la obtención de los Certificados de Aptitud Técnica de Elementos Constructivos que otorga la Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda de la Nación (Resoluciones número: 2659 y 2721).

Las cualidades principales de los productos son:

- bajo peso específico, a comparación de otros componentes constructivos tradicionales como ladrillos de tierra cocida o bloques de mortero de cemento.
- baja conductividad térmica, a comparación de estos componentes constructivos tradicionales.

En cuanto a las otras propiedades, se puede decir lo siguiente:

- por su resistencia mecánica pueden aplicarse a la construcción de cerramientos no portantes.
- por su porcentaje de absorción de agua y coeficiente de permeabilidad al vapor de agua no difieren demasiado de otros componentes constructivos tradicionales.

- por su resistencia acústica: ídem anterior.
- por su resistencia al fuego: son combustibles de baja propagación de llama, aptos para construcciones habitadas por la lentitud de la combustión.
- por su resistencia a la intemperie: son aptos para ser utilizados en cerramientos exteriores, con exposición a rayos ultravioleta y humedad.
- por su aptitud para el clavado y aserrado: tienen aptitud para constituir sistemas constructivos no modulares, por su facilidad para el clavado y aserrado.
- por su adherencia de revoques: poseen buena aptitud para recibir revoques con morteros convencionales.

*Desde el punto de vista ecológico*, se llega a la conclusión que esta tecnología de reciclado reduce la contaminación del medio ambiente, porque utiliza como materia prima principal un residuo que actualmente en gran medida se acumula o entierra.

Constituye un aporte para la “construcción sostenible”, disminuyendo el consumo de recursos naturales en la fabricación de elementos constructivos con respecto a otras tecnologías constructivas tradicionales.

Esta tecnología permite un ahorro energético, puesto los materiales plásticos utilizados tienen menor conductividad térmica que otros tradicionales, con lo cual se economiza en la climatización de la vivienda.

Al terminar la vida útil de las edificaciones construidas con estos componentes, los mismos pueden ser molidos y utilizados como agregados en mezclas cementicias para contrapisos o como relleno para dar pendientes, por ejemplo; dando lugar a un nuevo ciclo de reciclado, sin dejar residuos.

*Desde el punto de vista económico*, la importancia de la implementación de esta tecnología es que se reducirían gastos para los municipios en recolección y disposición final de residuos; y se reduce el costo global de la construcción, aunque el costo unitario de los elementos constructivos sea mayor.

También ahorran empresas que producen los residuos plásticos, al disminuir las tasas por disponer en un sitio oficial autorizado su rezago, en cumplimiento de Normas ISO.

*Desde el punto de vista social*, genera una fuente de trabajo para personas de escasos recursos, tanto en la etapa de recolección de la materia prima como en la elaboración de los elementos constructivos y en el montaje de las construcciones.

La técnica de fabricación es muy simple, fácilmente reproducible por personal no especializado. La mano de obra requerida es similar a que se necesita para fabricar un hormigón “común” (con áridos convencionales).

## **Financiamiento de la investigación**

La doctoranda tuvo el soporte económico de CONICET para la realización de esta Tesis doctoral, y además contó con los fondos de los siguientes proyectos:

- “*Apropiación de tecnologías ambientales para el hábitat por parte de jóvenes desocupados en Argentina*” (Proyecto 95.2074.3-002.00). Financiamiento: Agencia Alemana de Cooperación Internacional GATE-GTZ. Lugar: CEVE. Años: 2003 y 2004.

- “Estudio de las características físico-mecánicas de los desechos plásticos urbanos, para su reciclado como material alternativo para la construcción de viviendas en sectores de bajos recursos” (Proyecto PICT 13-11613). Financiamiento: de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Años: 2004, 2005, 2006 y 2007.

- Título del Proyecto: “Nuevos materiales de construcción sustentables. Investigación sobre la utilización de desechos agro-industriales y urbanos –reciclado de cáscaras de maní y envases de PET-, con aplicación a componentes de construcción de viviendas” (Proyecto PICT 33128). Financiamiento: de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Años: 2007, 2008 y 2009.
- “Aplicaciones de residuos plásticos y agrícolas para la fabricación de elementos constructivos en viviendas de interés social” (Proyecto PIP 6299). Financiamiento: de CONICET. Años: 2006, 2007 y 2008.
- “Investigación para optimizar la producción seriada de elementos constructivos con plásticos reciclados, para la transferencia de viviendas sociales” (Proyecto PICT 0197). Financiamiento: de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Años: 2008, 2009 y 2010.

## Agradecimientos

Se agradece especialmente a los miembros de la Comisión Asesora de la Tesis: Director: Arq. Horacio Berretta, y Miembros: Arq. Daniel Moisset de Espanés y Arq. Héctor Massuh, por el asesoramiento brindado.

También a personal de CEVE que colaboró en la realización de la Tesis: el Dr. Ricardo Arguello, asesor químico; y los operarios de taller Luis Sosa y Miguel González, quienes fabricaron las probetas.

Por último, se agradece a todas las instituciones que financiaron esta investigación.

## Bibliografía

- Avakian R. y Parekh S. (1991). Articles from mixed scrap plastics. Patente de EEUU. número: 5,073,416, propiedad de: General Electric Company, fecha de publicación: 17 de diciembre de 1991.
- Berg V. y Rinno H. (1997). Concrete molding with improved acid resistance. Patente de EEUU número: 5,691,050, propiedad de: Hoechst Aktiengesellschaft (DE), fecha de publicación: 25 de noviembre de 1997.
- Berretta, H. (1987). *Vivienda y Promoción para las Mayorías*. Editorial Humanitas, Buenos Aires, Argentina.
- 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.
- 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.
- Cáceres Teran J. (1996). Desenvolupament Sostenible. *Revista Tracte*, 66, octubre de 1996.
- Calvo, M. (2000). *Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, pp. 31.
- Fareed M., Asif A., Abbas H. (2007). Physiochemical properties of polymer mortar composites using resins derived from post-consumer PET bottles. *Cement and Concrete Composites*, 29. Gran Bretaña: Editorial Elsevier, pp. 241-248.



- Fontein F. y Dreissen H. (1977). Process and installation for recovering usable materials from waste material containing metals and non metals. Patente de EEUU, número: 4,034,861, propiedad de: Stamicarbon B.V, fecha de publicación: 12 de Julio de 1977.
- Gaiker Instituto Tecnológico. (1996). Catálogo de productos. Barcelona, España.
- Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado-CEAMSE (1992). Publicaciones periódicas CEAMSE, 1992. Editorial: Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.
- Gobierno de la Provincia de Córdoba. Agencia Córdoba Ambiente (2000). Diagnóstico Provincial de los sistemas de gestión de residuos sólidos urbanos. Editorial: Gobierno de la Provincia de Córdoba.
- Gobierno de la Provincia de Córdoba. Agencia Córdoba Ambiente. (2001). Programa Córdoba limpia. Córdoba: Editorial: Gobierno de la Provincia de Córdoba, Argentina.
- Gobierno del Estado de México. (2004). Cuánto tiempo tarda la naturaleza en transformar... Publicación digital del Programa México Limpio, del 17 / 09 / 2004. México.
- 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 de publicación: 13 de Julio de 1999.
- Han E. (1996). Pre-fabricated title board. Patente de EEUU, número: 5,816,005, fecha de publicación: 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 de publicación: 24 de diciembre de 1991.
- Idelsohn, A. (2003). Hacer con desechos. *Revista Nueva*, 628, Julio de 2003, pp. 16-19, Córdoba, Argentina.
- Jenkins, R. (1994). Waste treatment process. Patente de EEUU, número: 5,302,331, fecha de publicación: 12 de Abril de 1994.
- Kibert C. (1994). CIB-TG16. First International Conference on Sustainable Construction Acts, Florida, E.E.U.U.
- King, B. (2005). Movimiento de construcción ecológica en EEUU. Ponencia presentada en la III Conferencia Internacional de Ecomateriales, Santa Clara, Cuba, octubre de 2005.
- Kruk W. (2001). Construyendo con lo que se descarta. *Vivienda Popular*, 8. abril de 2001, pp. 33-35. Montevideo, Uruguay.
- Lanting, R. (1996). Sustainable Construction in The Netherlands-A perspective to the year 2010. Working paper for CIB W82 - Future Studies in Construction. TNO Bouw.
- Lupo J. y Tre L. (1999). Rubber composition obtained by recycling scrap material. Patente de EEUU, número: 5,948,827, fecha de publicación: 7 de Setiembre de 1999.
- Magnani, S. (1991). Cement mix and method for producing reinforced building sheets from a cement mix. Patente de EEUU. número: 5,030,287, propiedad de: Fibronit S.R.L., fecha de publicación: 9 de Julio de 1991.
- Nagayasu, N. (1989). Method for producing composite material of plastic and rubber. Patente de EEUU, número: 4,795,603, fecha de publicación: 3 de enero de 1989.
- Nicod, G. (1990). Paneaux isolants pour Bariloche. Un projet d'Ingenieurs du Monde. *Polyrama* N. 87, diciembre de 1990, Escuela Politécnica Federal de Lausana, pp.8-9.
- Nosker, T. y Renfree, R. (1998). Composite building materials from recyclable waste. Patente de EEUU, número: 5,789,477, propiedad de: Rutgers, The State University, fecha de publicación: 4 de agosto de 1998.

- Porter W. (2001). Asymmetric structural insulated panel. Patente de EEUU, número: 6,205,729, fecha de publicación: 27 de marzo de 2001.
- Prusinski, R. (1984). Thermoplastic polymer concrete structure and method. Patente de EEUU, número: 4,427,818, fecha de publicación: 24 de enero de 1984.
- Raponi D. (1977). Cementitious composition. Patente de EEUU, número: 4,058,406, fecha de publicación: 15 de noviembre de 1977.
- Rebeiz, K. (1996). Precast use of polymer concrete using unsaturated polyester resin based on recycled PET waste. *Construction and Building Materials*, 10 (3). Inglaterra, Editorial Elsevier, pp. 215-220.
- Rebeiz K. (1995). Time-temperature properties of polymer concrete using recycled PET. *Cement and Concrete Composites*, 17, Editorial Elsevier, Inglaterra, pp. 119-124.
- Sawyers J. (1995). Method for recycling plastic into cementitious building products. Patente de EEUU, número: 5,422,051, fecha de publicación: 6 de junio de 1995.
- Spakousky J. (1999). Building block with insulated center portion. Patente de EEUU, número: 5,983,585, fecha de publicación: 16 de noviembre de 1999.