

DESARROLLO DE UN MÓDULO HABITACIONAL A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS

DEVELOPMENT OF A HABITATION MODULE FROM RECYCLED MATERIALS

Edgar Alonso Salazar Marín¹, Juan Felipe Arroyave Londoño², Carlos Rene Yepes³.

^{1,2} *Tecnología Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira,*

³ *Empresario, gerente Soluciones arquitectónicas plásticas*

edgarsalazar@utp.edu.co

jfa@utp.edu.co

Resumen— El trabajo consiste en el montaje de un módulo habitacional, mediante el diseño y construcción de ladrillos y vigas de plástico. El módulo emplea materiales procedentes de desperdicios no útiles en las diferentes empresas; el proceso de obtención del ladrillo, la construcción del módulo y algunos ensayos mecánicos son presentados en este artículo.

Palabras clave—Energías alternativas, reciclaje de plásticos, Fuentes renovables, sectores vulnerables.

Abstract— The work involves the installation of a habitation module, through the design and construction of plastic bricks and beams. For this purpose, we used plastic waste packaging processes in different companies. As sustainable housing are used photovoltaic and solar collector systems to supply electricity and heat demands, besides having rain water-storage tank.

Key Word— Sustainable development, alternative energy, recycling plastics, renewable sources, vulnerable sectors.

I. INTRODUCCIÓN

El proyecto base de esta publicación se denomina “Desarrollo de un módulo ecosostenible para la fundación Kyrios”. Esta fundación está dedicada a desarrollar acciones de restauración integral a personas que se encuentren en situación de peligro, abandono, desprotección, indigencia entre otros; generando un ambiente que conlleve a su resocialización productiva. Tales personas han sido víctimas de problemas sociales como drogadicción, violencia familiar, desplazamiento, etc. La fundación carece de apoyo gubernamental, haciendo más efectivo el apoyo brindado en la generación de vivienda a través del proyecto. El proyecto se ha convertido en una referencia importante como motivación a la sociedad y entes gubernamentales que apoyen proyectos de vivienda social con impacto ambiental positivo y bajo costo.

Manejo de las basuras en la región

La gestión de los residuos sólidos, se ha convertido en un tema prioritario para el país dentro de una amplia gama de temas que guardan relación con la problemática ambiental. La gestión integrada de los residuos, es el término aplicado a todas las actividades asociadas con el manejo de los diversos flujos de residuos dentro de la sociedad, y su meta básica es administrarlos, de tal forma que sean compatibles con el medio ambiente y la salud pública [1].

El decreto 1713 del 2002 define el aprovechamiento dentro de la gestión integral de residuos sólidos, como: “el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales y/o económicos”.

En la tabla 1 muestra la composición física de los desechos sólidos en el municipio de Pereira en el año 2008 (más reciente encontrado). Tomada en una muestra en promedio de 2013 kilogramos; se puede evidenciar que los materiales plásticos presentan el mayor porcentaje de composición.

Componentes	Peso (%)
Desecho de alimentos	60
Papel	5,2
Cartón	3,2
Textiles	4
Caucho	0,6
Madera	1,3
Vidrio	3,2
Metales	2,2
Plástico	16,2
Otros	4,1
Total	100

Tabla 1. Composición física de desechos sólidos en Pereira año 2008

La tabla 2 registra la composición del plástico discriminada por estratos.

¹ Ingeniero Mecánico, Ph.D.

² Ingeniero Mecánico, M.Sc.

Estrato	Peso total (kg)	Peso Plástico (kg)	Kg/habitante día	% peso del plástico
1 y 2	1650	202,4	0,039	12,3
3 y 4	2060	372,5	0,072	18,1
5 y 6	2330	416,4	0,102	18,6

Tabla 2. Porcentaje en Peso del plástico por estratos de los residuos sólidos en el año 2008 [1].

Los valores de la tabla 1 determinan el plástico como material potencial de las basuras, para su aprovechamiento como materia prima en procesos de generación de nuevos productos; en este caso la construcción de ladrillos para vivienda. La tabla 2 deja en evidencia que estratos altos generan mayor material plástico, mostrando la influencia del consumismo con la generación de este desecho.

II. MATERIAL EMPLEADO

La construcción de las viviendas se realiza por medio de columnas y ladrillos modulares de acuerdo a la forma de la figura 1, están fabricados con material de desecho en procesos de empaque de gaseosas y frituras, el tipo de plástico empleado es polietileno de baja y alta densidad, polietileno tereftalato PET (botellas) y polipropileno (PP). Las mezclas se realizan en función de la resistencia que requieren las paredes y columnas.

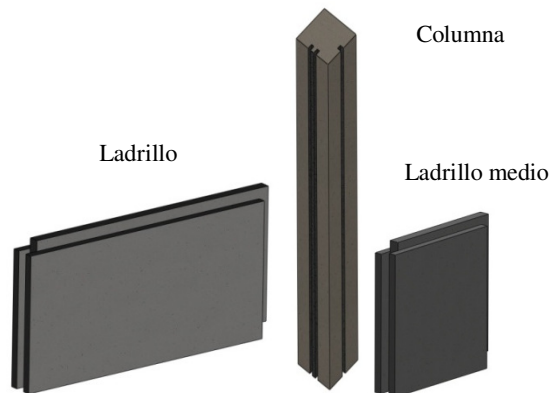


Figura 1. Formas tridimensionales de ladrillos y columnas [5]

La figura 2 muestra el proceso de elaboración de un ladrillo o de una columna, el cual se describe a continuación:

El material recepcionado es seleccionado manualmente de acuerdo al tipo de plástico, para pasar a picarlo y triturarlo; posteriormente se prepara la mezcla de polímeros compuestos y sus aditivos para homogenizar el material. Se precalienta el material en una calentadora en donde se extrae la humedad y se filtran los metales; finalmente el material es fundido y extruido en moldes de ladrillo entero, medio y columnas con la forma preestablecida. La figura 3 muestra las dimensiones de los ladrillos y de las columnas.



Figura 2. Producción de ladrillo plástico

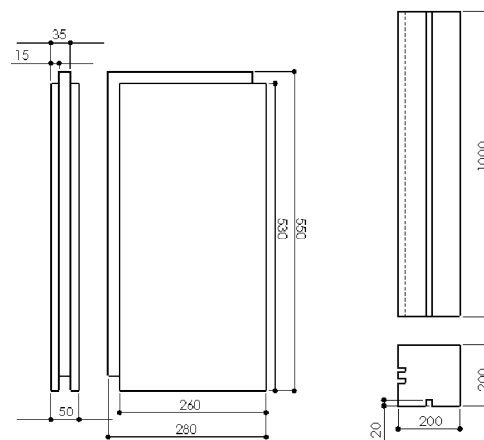


Figura 3. Dimensiones de ladrillo entero y columna

Las tejas empleadas son construidas de polyaluminio (tetrapack reciclado) las cuales presentan una baja conductividad térmica, disminuyendo hasta en un 30% la temperatura externa con respecto a la temperatura interna en la superficie de la teja, también presenta buena resistencia al impacto y roturas.

III. MÓDULO HABITACIONAL

El diseño arquitectónico del módulo habitacional se realizó teniendo en cuenta las dimensiones mínimas de habitabilidad para dos personas. La figura 4 presenta un plano de planta del módulo.

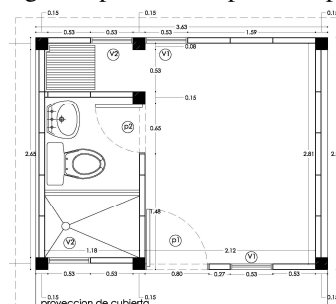


Figura 4. Plano de módulo habitacional

Construcción del módulo

El proceso de montaje del módulo empieza con la preparación de terreno (malla electrosoldada y afirmado) para vaciado de la placa base en concreto, formateando espacios necesarios para ubicación de columnas (Figura 5).



Figura 5. Placa base y columnas cimentadas

Una de las ventajas de este tipo de construcción es que no necesita cimientos para paredes por su relativo bajo peso¹. Una vez montada la placa base, se ubican las columnas con el cemento necesario para rigidizar el módulo habitacional. Con base en las columnas se ensamblan los ladrillos macho-hembra de forma traslapada hasta ajustar toda la pared (Figura 6).



Figura 6. Ensamble de ladrillos en traslape y fijación a columna

El diseño de estos ladrillos permite ensamblar de forma traslapada uno a uno hasta completar paredes según diseño arquitectónico previsto inicialmente. La figura 7 presenta el diseño tridimensional del ensamble de la vivienda previsto.



Figura 7. Diseño del módulo de vivienda construido.

¹ La densidad del concreto asciende a 2400 kg/m³ muy superior a la densidad de plástico promedio (910 kg/m³).

En síntesis, esta forma de construcción tiene las siguientes ventajas:

- No requiere cimientos (solo requiere para columnas) debido al bajo peso relativo de las placas.
- No requiere mezcla de concreto (ladrillo tradicional) al permitir el ensamble macho-hembra de ladrillos plásticos.
- Los ladrillos tienen perforaciones para disponer de ductos eléctricos y sanitarios.
- Permite la fácil manipulación en tornillería y adecuaciones que se requieran.
- Por esencia del plástico las características termodinámicas (aislantes) son excelentes.
- Bajo peso (hasta un 70% menos que los materiales tradicionales).
- Es inmune a plagas e insectos que atacan la madera.
- Termo - acústicos; Paredes totalmente aislantes.
- Menor deterioro; no se pudre por humedad, no se agrieta, ni se astilla resistente a la intemperie (100% impermeable) y a los cambios de la temperatura ambiental.
- Resistente al fuego, no requiere el uso de costosos aditivos impermeabilizantes.
- Tienen una larga vida, una fácil manipulación y transporte.

IV. PRUEBAS DE LABORATORIO

Pruebas de resistencia mecánica

Los ladrillos y columnas se sometieron a los ensayos de resistencia a tracción y compresión. La figura 5 presenta la curva esfuerzo-deformación del ensayo a tracción. En esta se observa un valor de fluencia en 30 kg/cm², a partir del cual se presentan grandes deformaciones para el esfuerzo aplicado hasta sufrir rotura en 65 kg/cm².

En esta curva se nota un comportamiento típico de un polímero termoplástico; inicialmente la gráfica muestra un comportamiento lineal, típico de una deformación elástica, que se presenta mientras las cadenas poliméricas, inicialmente amorfas, van sufriendo un estiramiento para convertir el material en un sólido cristalino (con cadenas poliméricas totalmente rectas).

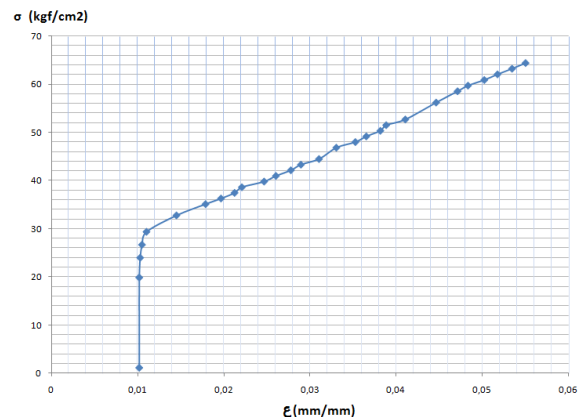


Figura 8. Prueba de tracción en probetas de plástico.

En esta etapa, la deformación se presenta gracias a que los enlaces entre las cadenas de polímero, de carácter débil o conocidos como fuerzas de *Vander Walls*, son vencidos por el esfuerzo. Una vez todas las cadenas están totalmente rectas, los enlaces que hay que romper son los fuertes enlaces covalentes entre las moléculas que conforman las cadenas de polímero y por tanto se requiere de un esfuerzo mayor para lograrlo, hasta que este se hace tan grande que el material falla súbitamente. La prueba se ha realizado según norma ASTM D638-10, empleando una probeta normalizada (figura 9)



Figura 9. Probeta de plástico para prueba de tracción según norma ASTM [3]

De igual manera se realizaron otras pruebas a tracción, compresión y flexión en probetas fabricadas con diferentes mezclas de plástico, la figura 10 presenta los resultados.

Las variaciones en las resistencias últimas encontradas en las diferentes pruebas de tracción y compresión se deben a presencia de vacíos (bolsas de aire) generados en el proceso de extrusión del material, situación que controla con la composición de la mezcla (Polietileno, Polipropileno, PET).

FICHA TÉCNICA INFORME DE LABORATORIO CARACTERÍSTICAS GENERALES		
CLIENTE:	SOLUCIONES ARQUITECTÓNICAS S.A.S. NIT. 9008665-9	
PROYECTO O ENSAYOS:	TRACCIÓN - COMPRESIÓN - FLEXIÓN	
ELEMENTOS DE PRUEBA:	BARRAS	
CLASE DE MATERIAL:	POLÍMERO COMPUESTO (POLIETILENO POLIPROPILENO)	
LUGAR DE INSPECCIÓN:	LABORATORIO FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA UTP	
FECHA DE ENSAYO:	28 DE AGOSTO DE 2010	
1. ELEMENTOS INSPECCIONADOS		
Las muestras son barras poliméricas numerados como se listan a continuación.		
Tabla No. 1 Resultados		
MUESTRA NUMERO	DESIGNACIÓN	PRUEBA
1	L1	Tracción
2	L2	Compresión
3	L3	Flexión
TRACCIÓN Tabla No. 2 Resultados		
DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	VALORES
σ_y	Esfuerzo de Fluencia	85 kgf/cm ² (1210 psi)
σ_u	Esfuerzo de Resistencia a la Tracción Último	94 kgf/cm ² (1331 psi)
% elongación	Porcentaje de elongación	0,95 %
COMPRESIÓN Tabla No. 3 Resultados		
DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	VALORES
σ_y	Esfuerzo de Fluencia	143 kgf/cm ² (2035 psi)
σ_u	Esfuerzo de Resistencia a la Compresión	244 kgf/cm ² (3465 psi)
FLEXIÓN		
El material fracturó a un valor de fuerza de 320 Kgf. Distancia entre apoyos 85 cm en posición de mayor inercia.		

Figura 10. Resultados de pruebas de resistencia (Laboratorio CECEND UTP)



Figura 11. Muestra de plástico extruido (base de probetas), presencia de grietas

La contracción del material debido al enfriamiento posterior al proceso de extrusión se realiza sin un control suficiente que garantice homogenización en todo el volumen solidificado.

Prueba de aislamiento acústico

Se realizaron pruebas de aislamiento acústico empleando un sonómetro ubicado en interior y exterior del módulo habitacional construido.

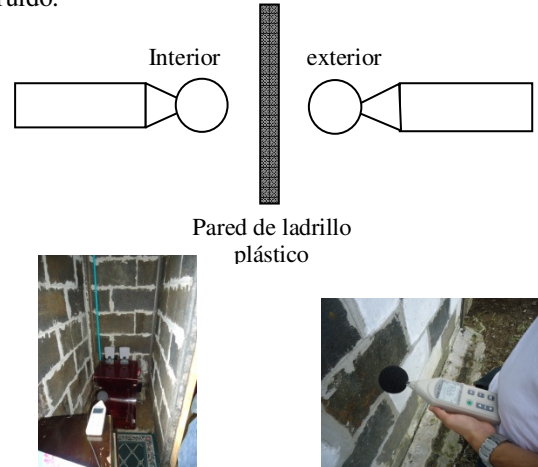


Figura 12. Posiciones del sonómetro en vivienda: interior y exterior

Para esta prueba se ubicó una fuente sonora en el interior del módulo de vivienda, a diferentes frecuencias y amplitudes, sensando los decibeles en interior y exterior del recinto. La tabla 3 presenta los resultados obtenidos.

interior	100,9	101,2	102,4	103,9
exterior	78,5	77,5	78,6	77
% reducción	22,20	23,42	23,24	25,89
% reducción promedio	23,69			

Tabla 3. Valores en decibeles dB registrados en pruebas con sonómetro

De esta prueba se logró detectar un porcentaje de reducción promedio de 23,7%. Debe reconocerse que existen aberturas en teja-pared, que evitan un aislamiento perfecto.

Pruebas de autoignición

Se realizaron pruebas de autoignición. Una de las preocupaciones estas viviendas es la posibilidad de incendio, por el potencial combustible que constituye el plástico. Para ello se realizaron pruebas de autoignición exponiendo el ladrillo a una llama directa (Figura 13).



Figura 13. Pruebas de autoignición

Estas pruebas mostraron que el ladrillo presenta resistencia a la ignición al entrar en contacto con una llama. Una vez el ladrillo es bien impregnado con combustible líquido, la combustión se presenta fundiendo lentamente el material. Cabe mencionar que cualquier pared impregnada de combustible sería susceptible de combustión.

V. COSTOS

Los costos totales del módulo habitacional están registrados en la tabla 4.

	Item	cantidad	costo unidad pesos	Total pesos
Ladrillo	entero	143	9000	1287000
	medio	70	4000	280000
	columna	5	100000	500000
Teja	unidad	6	60000	360000
Placa cemento	unidad	1	500000	500000
Combo sanitario y tuberías	unidad	1	300000	300000
Cableado eléctrico	unidad	1	200000	200000
total construcción				3427000
Sistema fotovoltaico	unidad	1	2500000	2500000
Colector solar	unidad	1	800000	800000
Total				6727000

Tabla 4. Costos implícitos en la construcción del módulo (año 2011).

Como puede observarse los costos totales del módulo de vivienda ascienden a \$ 3427000, sin contar con los costos de las fuentes renovables.

VI. RESULTADOS DEL PROYECTO

Como resultados tangibles y no tangibles del proyecto base de esta publicación, se pueden destacar:

- Satisfacción de una necesidad de vivienda para dos adultos mayores enfermos que requerían estar aislados del resto de la comunidad. Confort térmico en épocas cálidas y frías, debido a la característica aislante del plástico.
- Espacio de trabajo (en el proceso de construcción) de miembros de la comunidad beneficiaria, aumentando su sentido de pertenencia y

autoestima de personas útiles y gestores de un propósito cumplido.

- A nivel de grupo de investigación, experiencias y conocimientos valiosos en sistemas de energías alternativas y manejo de materiales reciclados.
- Desde el punto de vista ambiental, un aporte fundamental en la construcción de una cultura de lo sostenible aplicado en vivienda y utilización eficiente de recursos. Las energías alternativas son un aporte indispensable para la mitigación del cambio climático que tanto daño está haciendo al país.
- Los resultados del proyecto han servido para participar en concursos como Premio Corona Prohabitat “Hábitat, reciclaje y sostenibilidad”; y Concurso nacional de anteproyecto III Prototipos de vivienda autosostenible de bajo costo, Organismo + A57/Arquitectura en Colombia.
- Consolidación del semillero de energías alternativas de la Facultad de Tecnología, promoviendo la participación de varios estudiantes con sus trabajos de grado en el desarrollo del proyecto.



Figura 14. Casa fabricadas con ladrillo plástico

VII. CONCLUSIONES

- El trabajo desarrollado se convierte en una referencia importante de proyectos de tipo social y ambiental que pueden ser replicados a nivel gubernamental, para construcción de vivienda de interés social. El módulo de habitación considera en este proyecto solo el dormitorio, ducha y sanitario (sin cocina). No obstante se han elaborado viviendas de este material en diferentes partes (figura 14) con todas las condiciones de habitabilidad necesarias.
- Aunque los ladrillos elaborados hasta el momento han sido fabricados con plástico, resultado de desechos industriales de procesos de empaque (bolsas, botellas pet, etc), es factible a futuro aprovechar el potencial plástico de las basuras previamente descrito. Actualmente la norma que rige el manejo de materiales alternativos para construcción es la NSR10, que exige las pruebas de sismoresistencia. Los tipos de unión a traslape de estos ladrillo garantizan la absorción de las energía generada en un sismo, obstante se

están proyectando las pruebas necesarias para cumplir con la norma.

- El módulo fabricado permite la habitabilidad de dos personas, ya que contiene los requerimientos básicos para una permanencia digna (servicios sanitarios, electricidad, confort térmico y agua caliente de ducha). Aunque con el tiempo, las personas que habitan la vivienda han expresado total conformidad, es necesario realizar pruebas de emisión de gases que garanticen la salubridad de los habitantes.
- Los costos de construcción de la vivienda son relativamente bajos. Así se muestra, si se compara el costo del metro cuadrado construido ($\$3427000/10,5\text{m}^2 = \$326380/\text{m}^2$), con costos de vivienda de interés social ($\$415000/\text{m}^2$) realizados en diferentes estudios [4], y teniendo en cuenta que el módulo tiene $10,5\text{m}^2$. No obstante los costos de instalación de las fuentes renovables son altos, pero, son recuperados con el tiempo con el ahorro de los kw-h consumidos.
- Las pruebas de resistencia mecánica, sonido y otras realizadas (no reportadas en esta publicación) como temperatura y resistencia al fuego, han demostrado que estos ladrillos presentan muy buenas propiedades mecánicas, de aislamiento térmico y sonoro, además de resistencia a la autoignición. No obstante es necesario algunos ajustes como el control de enfriamiento de moldes, para lograr homogenización de los ladrillos e incrementar así su resistencia mecánica.

RECOMENDACIONES

Para que los proyectos de aplicación de tecnologías ambientales tengan mayores justificaciones económicas, es necesario que exista una política ambiental clara y decidida que regule los costos en aranceles e impuestos y que estimule las inversiones en este tipo de proyectos, más aún cuando pueden repercutir en la sociedad a través de proyectos de mayor envergadura en construcción de vivienda de interés social.

Se agradece de una manera muy especial al señor Rene Yepes, fabricante de los ladrillos, cuya participación ha sido fundamental en el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

[1] *Caracterización de residuos sólidos urbanos en el municipio de Pereira*, secretaría de planeación, http://www.pereira.gov.co/docs/secretarias/planeacion/unidad_ambiental/Documento%20%20final%20caracterizacion.pdf

[2] Constitución política de Colombia, 1991.

http://web.presidencia.gov.co/constitucion/index_06102009.pdf

[3] Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM D638-10, 2010.

[4] Prieto, J Mauricio, Flórez, Milton Ivan. *Estudio económico de sistemas estructurales prefabricados para vivienda de interés social*.

<http://micigc.uniandes.edu.co/Investigaciones%20y%20Desarrollo/estudioeconomico.pdf>

[5] E. A. Salazar, J.F Arroyave, W.P. Castro, *Energías Alternativas, experiencias desde el semillero de investigación en Tecnología Mecánica*, Scientia et Technica, año XVI, No 49, Dic. 2011.

[6] La Energía solar, una alternativa sostenible con un futuro prometedor.

http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/10_sostenible_energia.html

[7] J.F Sanz, L.M Navas, M.C Rey, A.Correa, “*Fundamentos de Energía Solar Fotovoltaica para los Grados de Titulaciones Científico-Técnicas*” Colección studium, 1. España, 2009.

[8] H. Zapata, “Energía Sostenible y Cambio Climático Avances en Colombia”, Congreso Internacional Cambio Climático, 2011, conf.

[9] C.A. Orozco, “Elementos de Ingeniería Solar”, Primera Edición. Pereira-Colombia, 1993.

[10] Albert Paul Malvino (2000). Principios de Electrónica. Mc Graw Hill. ISBN 84-481-2568-1.

[11] Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus, ASTM C177-10.