



UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CUENCA
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

Ladrillos de plástico reciclado para mampostería no portante

Autor:
Rosa Nathaly Flores Ramírez

Director:
Arq. Msc. Pedro Javier
Angumba Aguilar

Trabajo de Titulación presentado ante la
Universidad Católica de Cuenca
como requisito para optar al título de:

Arquitecta

Enero - 2019

Resumen

En el presente documento se desarrolla el diseño de dos prototipos de ladrillo en base a PET (polietileno tereftalato) derretido, sin aditivos para mamposterías no portantes; sustentado bajo un análisis crítico bibliográfico que recoge la problemática medio ambiental de los desechos plásticos como también casos de estudio en la que se implementa el PET como material de construcción entorno a la vivienda.

Así también la investigación recoge las pruebas técnicas de flexión, compresión y absorción de acuerdo a la ASTM D790, ASTM D695 y ISO 62 respectivamente, donde los resultados muestran que los prototipos llegan a alcanzar valores superiores a los que determina la norma, obteniendo un producto más liviano, con menos espesor y tamaño, reduciendo las cargas muertas de una obra civil, de fácil armado, el cual no requiere de mano de obra calificada para la construcción de muros, determinándose así que los prototipos desarrollados son amigables con el medio ambiente y cumple las características técnicas superiores a las que solicita la norma.

A su vez, en el documento se dejan por sentado observaciones que en el proceso de investigación se deben de tomar en cuenta para futuras investigaciones, animando al lector a continuar con la investigación y profundizar en ella.

Palabras clave: RECICLAJE, MAMPOSTERÍA NO PORTANTE, PRUEBAS TÉCNICAS, MEDIO AMBIENTE, LADRILLO PET

Abstract

In this document the design of two brick prototypes based on melted PET (polyethylene terephthalate) is developed, no additives for non-bearing masonry; supported by a critical bibliographic analysis that includes the environmental problem of plastic waste as well as case studies in which PET is implemented as a construction material around housing.

The research also includes the technical tests of flexion, compression and absorption according to ASTM D790, ASTM D695 and ISO 62 respectively, where the results show that prototypes reach values higher than those determined by the standard, obtaining a lighter product, with less thickness and size, reducing the dead loads of a civil work, easy to assemble, which does not require skilled labor for the construction of walls, thus determining that the developed prototypes are friendly to the environment and meets the technical characteristics superior to those requested by the standard.

At the same time, the document leaves for granted observations that in the research process should be taken into account for future research, encouraging the reader to continue with the research and deepen it.

Keywords: RECYCLING, NON-BEARING MASONRY, TECHNICAL TESTS, ENVIRONMENT, PET BRICK

Agradecimientos

Agradezco enormemente a mi padre celestial porque me brindó salud, fuerza y esperanza para luchar hasta culminar mi carrera. A mis padres mis mayores promotores durante todo este proceso, a mis maestros por su enseñanza y paciencia, a la UCACUE por haberme permitido ser parte de su comunidad educativa. A todos ellos muchas gracias por ser parte de este logro.

Dedicatoria

Llena de alegría y satisfacción al haber culminado mi carrera, mi gran sueño desde cuando apenas tenía 5 o 6 añitos de edad, dedico este triunfo a mis padres por su apoyo constante y sabios consejos, a mis hermanos Bryan, Alma y Krupskaia, quienes me apoyaron desde los inicios de mi carrera, pudiendo así culminarla con éxito. A mi amado hijo, quien ha sido mi motor para seguir luchando en este camino que no ha sido tan fácil, pero por él no he desmayado, gracias por ser parte de mi vida, ahora solo queda disfrutar de los grandes frutos que trae consigo esta hermosa carrera. . . . ARQUITECTURA

Declaración

Yo, **Rosa Nathaly Flores Ramírez**, con cédula de identidad 0705863025, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. Que, el trabajo aquí descrito es de mi autoría y soy responsable de las ideas, doctrinas, resultados y lineamientos alternativos realizados en la presente investigación.
2. Que, el trabajo es original, siendo resultado de mi trabajo personal, el cual no he copiado de otro trabajo de investigación, ni utilizado ideas, fórmulas, citas completas, ilustraciones, tablas, etc. sacadas de alguna publicación (en versión digital o impresa).
Caso contrario, referencio en forma clara y exacta su origen o autor.
3. Que, el trabajo no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.
4. Que, el patrimonio intelectual del trabajo investigativo pertenece a la Universidad Católica de Cuenca.

Me hago responsable ante la universidad o terceros, de cualquier irregularidad o daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado y asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, responsabilizándome por todas las cargas pecuniarias o legales que se deriven de ello, sometiéndome a la normas establecidas y vigentes de la UCACUE.



Rosa Nathaly Flores Ramírez

Certificación

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de ARQUITECTA con el título: "*Ladrillos de plástico reciclado para mampostería no portante*" ha sido elaborado por la Srta. **Rosa Nathaly Flores Ramírez**, mismo que ha sido realizado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor, por lo que certifico que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above a horizontal line.

Arq. Msc. Pedro Javier Angumba Aguilar

Introducción

En la actualidad el planeta afronta diferentes retos que ponen en duda la sostenibilidad y sustentabilidad, tanto del medio ambiente como del ser humano y por ende toda la cadena que esto representa, ya sea por la continua explotación de los recursos renovables, el déficit de vivienda o la creciente contaminación ambiental, etc.; el planeta deja interrogantes que desde las diferentes áreas se apunta a dar una solución.

Desde el campo de la arquitectura, la utilización de nuevos materiales amigables con el medio ambiente es una de las preocupaciones, siendo aquí donde la utilización de plásticos reciclados, motivo de la presente investigación se convierte en una de las alternativas desde este campo. Debido a la alta contaminación en mares, océanos, vida silvestre, terrenos, etc., que existe actualmente en nuestro medio a causa de los polímeros, el reciclarlo y darle un nuevo uso contribuye a la conservación del medio ambiente como mejorar las características de los materiales en el mercado.

Problemática

La alta contaminación que está sometido el planeta en la actualidad y el no contar con un espacio determinado para tratar todos los desperdicios plásticos, conlleva a que este material sea desechado en cualquier lugar creando una mayor contaminación en el ambiente.

La gran desventaja es su lenta descomposición, lo cual le convierte en un producto de desecho que afecta al medio ambiente, llegando a ser un material que la tierra ni el mar pueden digerir, siendo estos últimos los principales afectados. Cada objeto de plástico que existe, siempre existirá; al no desaparecer el plástico se va acumulando en el medio ambiente. (Rojas, 2015)

El plástico en el medio ambiente se va fragmentando en trocitos cada vez más diminutos que atraen y acumulan sustancias tóxicas; estos fragmentos contaminan ya todos los mares y costas del planeta, y están presentes en prácticamente todos los ecosistemas. Los fragmentos de plástico son ingeridos por animales, incluso por seres microscópicos como el plancton, contaminando la cadena alimentaria de la que dependemos. (Estévez, 2013)

Ante esto y sumando la imperativa necesidad de crear materiales que vayan de la mano con el medio ambiente en el campo de la arquitectura, se plantea el diseño de un ladrillo PET, que apunte a disminuir y canalizar este recurso en el campo.

Objetivos

GENERAL

- Realizar una propuesta de diseño de ladrillos de plástico reciclado como nuevo elemento alternativo y ecológico para mampostería no portante en un sistema constructivo tradicional.

ESPECÍFICOS

- Analizar proyectos donde se hayan empleado métodos similares de reciclaje y elaboración de ladrillos de plástico para que sirvan de guía en el proceso de investigación y establecer cuadros de materias primas.
- Elaborar un ladrillo con plástico reciclado y establecer su factibilidad de uso en la investigación para definir sus características a través de pruebas de laboratorio como resistencia, compresión, flexión y fabricar un prototipo de molde para los ladrillos de plástico el cual permita la fácil adherencia en los mismos para la construcción de un muro.
- Realizar las conclusiones y recomendaciones producto del análisis de los resultados.

Justificación

El abierto debate que se propone en esta investigación, se da por las problemáticas actuales como son: la contaminación ambiental por productos plásticos y la vivienda, tienden hacia la insostenibilidad, ya que los desechos de los polímeros se encuentran contaminando en su mayoría a los mares y océanos del mundo, puesto que estos llegan a ser uno de los materiales mas utilizados para empaquetar diferentes productos, existiendo una alta contaminación por productos plásticos; mientras que por el otro, la construcción de viviendas para el actual déficit de vivienda, merece un análisis de materiales que mejoren los sistemas constructivos tradicionales, por lo que plantearse crear un nuevo material que permita dar una ventana a la sostenibilidad y sustentabilidad de estas, no solo es necesario sino urgente.

Metodología

En el primer capítulo se realiza una revisión, recopilación y análisis bibliográfica de documentos virtuales y físicos, que permitan conocer el plástico, la vivienda y el medio ambiente; así también se recopila diferentes proyectos desarrollados bajo ladrillos PET, con una redacción crítica de los apéndices, creando una base documental.

En el segundo capítulo, bajo la recopilación del primer capítulo y la entrevista al Ing. José Alvarez, se desarrolla el diseño y elaboración de manera experimental un ladrillo PET. Se realizan pruebas físicas de compresión, absorción y de murete de acuerdo a la ASTM D790, (Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials - Métodos de prueba estándar para las propiedades de flexión de plásticos no reforzados y reforzados y materiales aislantes eléctricos.) ASTM D 695 (Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics - Método de prueba estándar para las propiedades de compresión de plásticos rígidos) y ASTM D570, (Standard Test Method for Water Absorption of Plastics - Método de prueba estándar para la absorción de agua de plásticos) correspondientes a la norma de polímeros de la American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).

En el tercer capítulo se recopila el análisis de resultados junto a las conclusiones y recomendaciones que la presente investigación deja.

Índice de Contenidos

Resumen	I
Abstract	II
Agradecimientos	III
Dedicatoria	IV
Declaración	V
Certificación	VI
Introducción	VII
Problemática	VIII
Objetivos	IX
Justificación	X
Metodología	XI
Índice de Contenidos	XII
Lista de Figuras	XV
Lista de Tablas	XVIII
1. Estado del Arte	1
1.1. “El plástico”, la vivienda y ¿el medio ambiente?	1
1.2. Tipos de polímeros	4
1.3. El PET - ¿Material de construcción?	6
1.3.1. Casos de Estudio	8

1.3.2.	Proceso de Reciclaje del PET	13
1.3.3.	Tipos de reciclado de plástico PET	15
1.3.4.	Reciclaje en el Ecuador	17
1.3.5.	Normativa Reguladora	19
2.	Diseño y Prototipo de Ladrillos de Plástico	21
2.1.	Diseño de Ladrillos de Plástico	22
2.1.1.	Dosificación	24
2.1.2.	Materiales a Emplearse	26
2.1.3.	Preparación de la Materia Prima PET	30
2.2.	Elaboración	31
2.2.1.	Prototipo 1; Ladrillo 1 (26x12x8 cm)	31
2.2.2.	OBSERVACIONES: Prototipo 1; Ladrillo 1 (26x12x8 cm)	34
2.2.3.	Prototipo 2; Ladrillo 2 (7,5x4x3,5 cm)	35
2.2.4.	OBSERVACIONES: Prototipo 2; Ladrillo 2 (7,5x4x3,5 cm)	37
3.	Ensayos, Resultados, Conclusiones y Recomendaciones	38
3.1.	Norma	38
3.2.	Moldes y Ensayos	38
3.2.1.	Flexión	39
3.2.2.	Compresión	41
3.2.3.	Absorción	42
3.3.	Resultados	44
3.3.1.	Ensayo a Flexión	44
3.3.2.	Ensayo a Compresión	44
3.3.3.	Ensayo a la Absorción de Agua	44
3.4.	Comparaciones de los resultados frente a los polímeros termoplásticos	45
3.5.	Conclusiones	46
3.6.	Recomendaciones	47
4.	Anexos	48
4.1.	Anexo 1	48
4.2.	Anexo 2	49
4.3.	Anexo 3	50
	Referencias bibliográficas	51

Referencias	51
-----------------------	----

Lista de Figuras

- 1.1. Reciclaje de plástico en Bangladesh, Se observar como una familia remueve las etiquetas de las botellas, clasificándolas por verdes y transparentes para su posterior venta Autor: Randy Olson, Fuente: https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/grandes-reportajes/ahogados-mar-plastico_12712/15 2
- 1.2. (1) - Tortuga atrapada en una red, Autor: Jordi Chias; (2) - Cangrejo ermitaño en el interior de un tapón de botella Autor: Shawn Miller, Fuente: https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/grandes-reportajes/como-afectan-residuos-plasticos-a-animales_12738/2 3
- 1.3. Características del Bloqueplas Fuente: <http://ekojunto.com/> 8
- 1.4. Proceso constructivo de una vivienda con el sistema de Bloqueplas, Fuente: https://www.facebook.com/pg/ekojunto/photos/?ref=page_internal . 10
- 1.5. Albergue para la protección en el Municipio Guapi, en el Departamento de Cauca - Colombia, (2015) desarrollado por la empresa Conceptos Plásticos, beneficiarios 42 familias desplazadas por la violencia en el municipio, Fuente: https://www.facebook.com/pg/conceptosplasticos/photos/?ref=page_internal 11
- 1.6. Proceso constructivo utilizado para anclar los bloques PET de la empresa Conceptos Plásticos., Fuente: https://www.facebook.com/pg/conceptosplasticos/photos/?ref=page_internal 12
- 1.7. (1) Primera vivienda hecha con ladrillo PET en Argentina, (2) Secado del Ladrillo PET Argentina, Fuente: (1) <https://www.infobae.com/sociedad/2017/03/13/se-inauguro-en-argentina-la-primera-casa-construida-con-ladrillos-de-plastico-reciclado/>, (2) <http://www.ceve.org.ar/materiales-1.php> 13
- 1.8. Ciclo de vida del polímero PET, Fuente: <https://docplayer.es/13060488-Escuela-superior-politecnica-de-chimborazo.html> 14
- 1.9. El reciclado mecánico del PET, Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/reciclado-mecanico-de-pet-super.html> . . . 15
- 1.10. Acopio de botellas, Fuente: <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/10/07/nota/6986588/como-se-recicla-botella-plastico-pet-ecuador> 17

1.11. Selección de Botellas por operario, Fuente: https://www.eluniverso.com/noticias/2018/10/07/nota/6986588/como-se-recicla-botella-plastico-pet-ecuador	17
1.12. Hojuelas de plástico, Fuente: https://www.eluniverso.com/noticias/2018/10/07/nota/6986588/como-se-recicla-botella-plastico-pet-ecuador	18
1.13. Pellets, Fuente: https://www.eluniverso.com/noticias/2018/10/07/nota/6986588/como-se-recicla-botella-plastico-pet-ecuador	18
2.1. Medidas de ladrillo PET N° 1, Fuente: Autor	22
2.2. Medidas de ladrillo PET N° 2, Fuente: Autor	23
2.3. Diagrama del reciclado Mecánico a emplearse, Fuente: Autor	24
2.4. Molde de Ladrillo N° 1, Fuente: Autor	26
2.5. Molde de Ladrillo N° 2, Fuente: Autor	26
2.6. Botellas PET, Fuente: Autor	27
2.7. Máquina trituradora PlasticMachiner, Fuente: Autor	27
2.8. Recipiente y espátula, Fuente: Autor	28
2.9. Cocina a Gas, Fuente: Autor	28
2.10. Balanza, Fuente: Autor	29
2.11. Aceite quemado, Fuente: Autor	29
2.12. ARUC - Asociación de Recicladores Urbanos de Cuenca, Fuente: Autor	30
2.13. Pesaje de PET, Fuente: Autor	31
2.14. (1) PET 2.13 kg, (2) PET derretido, Fuente: Autor	31
2.15. Vertido del PET, en el molde del Ladrillo 1, Fuente: Autor	32
2.16. Desmolde, Fuente: Autor	33
2.17. PET secándose antes de ser tapado el molde, Fuente: Autor	34
2.18. PET deteriorado a mayor tiempo de derretimiento, Fuente: Autor	35
2.19. Recipiente metálico alterado su forma, Fuente: Autor	36
2.20. Desmoldado Ladrillo 2, Fuente: Autor	36
3.1. Molde para ensayo a la flexión-Fuente: Autor	39
3.2. Probetas para ensayo a la flexión-Fuente: Autor	39

3.3. Esquema ensayo a la Flexión - Fuente: Autor	40
3.4. Esquema ensayo a la Flexión - Fuente: Autor	40
3.5. Molde para ensayo a la compresión-Fuente: Autor	41
3.6. Esquema ensayo a la Compresión - Fuente Autor	41
3.7. Esquema ensayo a la Compresión - Fuente Autor	42
3.8. Molde para ensayo a la absorción- Fuente: Autor	42
3.9. Ensayo de absorción de agua según ISO 62 - Fuente: Autor	43
3.10. Resultados de ensayo a la flexión - Fuente: Autor	44
3.11. Resultado de esfuerzo máximo a compresión - Fuente: Autor	44
3.12. Resultados de Absorción de Agua-Fuente: Autor	44
3.13. Comparaciones de resultados del PET con los termoplásticos-Fuente: (Lork Industrias, 2017)	45
3.14. Características físico-mecánicas del ladrillo cerámico macizo-Fuente: INEN 0297	45
4.1. Entrevista al Ing. José Álvarez, Propietario de la Fábrica de Accesorios Plásticos, Fabrica Álvarez, Fuente: Autor	48
4.2. Resistencia a la Compresión del ladrillo, Fuente: Laboratorio de Suelos . .	49
4.3. PET deteriorado a mayor tiempo de derretimiento, Fuente: Autor	50

Lista de Tablas

1.1. Datos Técnicos del Polietileno Tereftalato - PET	6
2.1. Dosificación de polímeros PET para Ladrillo 1	25

1.1. “El plástico”, la vivienda y ¿el medio ambiente?

Según la RAE,¹ la palabra “plástico” toma diferentes significados de acuerdo al contexto en la que se emplee; de los cuales, para efectos de la presente investigación se describe como un material que puede “moldearse fácilmente y está compuesto principalmente por polímeros”; citando a (Angumba Aguilar, 2016), existe una equivocada y generalizada utilización del término ya que como bien lo describe la RAE, al referirse como “plástico” se evoca a uno de los estados del material, debiendo referirse al material *-polímeros-* y no a la forma que toma.

Remontándose en los registros históricos, los primeros usos de los polímeros, se pueden remontar a civilizaciones tan antiguas como Egipto, India, Babilonia, China o Grecia; cuya utilización se puede encontrar, en el betún, rituales fúnebres, entre otros; sin embargo su uso de forma cotidiana no sería hasta en 1907, que se introdujeron los polímeros sintéticos, de la mano del Dr. Leo Baekeland. (García, 2009)

De acuerdo a (Arandes, Bilbao, y López Valerio, 2014), en la sociedad actual el consumo a nivel global de los polímeros se, estima crece a un 4% anualmente, a la par del desarrollo tecnológico, extendiéndose a más de los convencionales envases; a la industria como a todo tipo de bienes de consumo.

Para el análisis se debe tener en cuenta, que la mayoría de materiales plásticos que se generan, *“especialmente los destinados a la industria alimentaria para envases y embalajes, tienen como característica fundamental la resistencia al ataque microbiano lo que permite definirlos como no biodegradables”*, como lo menciona (Magarinos y Alderete, 1998).

Por lo tanto y de acuerdo a datos de (Geyer, Jambeck, y Law, 2017) que estiman a la fecha del 2015, una producción de 8.300 millones de toneladas de plásticos, cuya relación con la población mundial, correspondería a 1.100 kilos de plástico por persona; solo el 30% sigue en uso y del resto, unos 6.000 millones de toneladas han sido desechadas, de las cuales el 9% se ha reciclado, el 12% se ha incinerado y el 79% han ido a parar en vertederos o fueron arrojados al medio ambiente, dejando entrever el grave problema ambiental que se ha generado por la disposición final de los polímeros.²

¹Real Academia de la Lengua en: <http://dle.rae.es/?id=TLksL0y>

²Revise: Production, use, and fate of all plastics ever made, de (Geyer y cols., 2017)



FIGURA 1.1: Reciclaje de plástico en Bangladesh, Se observar como una familia remueve las etiquetas de las botellas, clasificándolas por verdes y transparentes para su posterior venta Autor: Randy Olson, Fuente: <https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/grandes-reportajes/ahogados-mar-plastico.12712/15>

Si bien la disposición de los residuos en general, no solo de los polímeros, en las ciudades constituye un problema de difícil solución, las alternativas por las que se optan no llegan a ser una solución racional desde cualquier punto de vista económico o ambiental, puesto que el proceso de descomposición de los desechos varía de acuerdo a su materialidad, siendo sumamente lento en el caso de los polímeros. (Chalchy García, 2008)

Es así como se puede notar la cotidianidad con la que los polímeros se han integrado a la vida común, pero son los residuos plásticos los que dejan una huella sobre el medio ambiente, ya que llegan a acumularse por su resistencia a la corrosión, los agentes climáticos o la degradación por microorganismos; de acuerdo a (GreenPeace, 2016), existen partículas de plásticos que se han depositado en mares, playas, etc., llegando a ser los más afectados por el desecho, representando un peligro para los organismos que sufren por su ingesta; llegando a ser tal la contaminación que existen zonas denominadas “la sopa de plástico” o “isla basura” en el centro del océano Pacífico del Norte entre Japón y California. ³ Ver Figura 1.2

³“Unos 1,5 millones de aves, peces, ballenas y tortugas mueren al año por desechos plásticos en el mar” “En el Pacífico Norte, 30 % de los peces han ingerido plástico en su ciclo de vida”, En: <https://bit.ly/2q1rMQe>

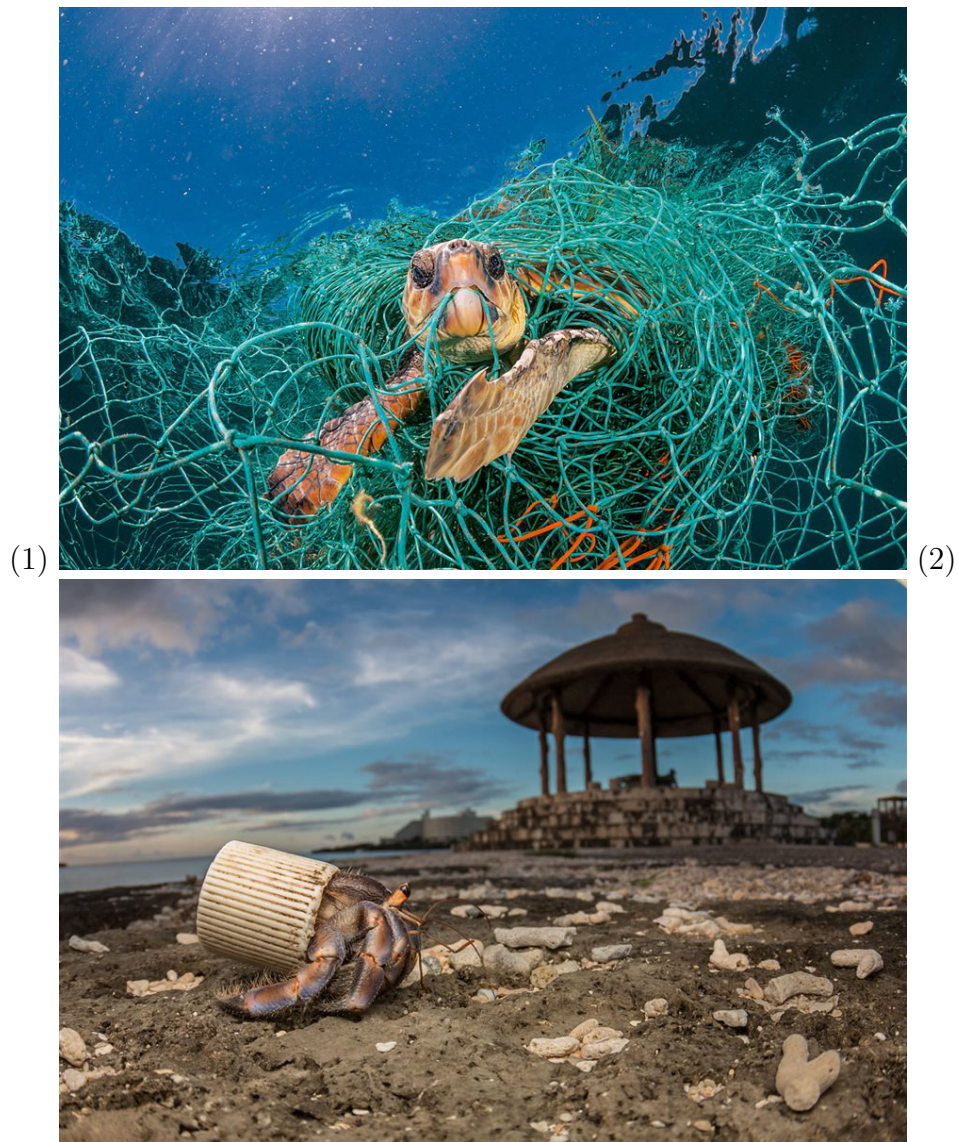


FIGURA 1.2: (1) - Tortuga atrapada en una red, Autor: Jordi Chias; (2) - Cangrejo ermitaño en el interior de un tapón de botella Autor: Shawn Miller, Fuente: https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/grandes-reportajes/como-afectan-residuos-plasticos-a-animales_12738/2

Así también (Estévez, 2013) recuerda, que los desperdicios plásticos se encuentran provocando una crisis global, que inclusive la Organización Mundial de la Salud ha declarado la disrupción endocrina (efectos del plástico en el organismo) como una crisis, llevando a un grupo de científicos a solicitar a los gobiernos, declarar el plástico como residuo peligroso.

Bajo la descrita problemática ambiental y sumando la creciente población mundial como también el aumento del consumo de los recursos naturales, las preguntas surgen y van dirigidas hacia la sustentabilidad y sostenibilidad del medio ambiente como del ser humano; ya que, de acuerdo a la ONU,⁴ la población mundial actual supera los siete mil

⁴Organización de Naciones Unidas, revise: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>

millones de personas, las mismas que llegan a ser potenciales usuarios de vivienda y de mantenerse las actuales soluciones habitacionales, se pueden generar graves consecuencias en los diferentes ecosistemas.⁵

En América Latina, (Gilbert, 2001) escribe, existe “...un déficit habitacional muy grande compuesto por una carestía en el número de viviendas y por deficiencias físicas dentro de las viviendas existentes... equivalente a un poco más de la mitad de todas las viviendas existentes...”

En consecuencia, ante el crecimiento del mercado y a pesar de la desactualización de datos al año de estudio, ¿Cómo se va a producir ese número de viviendas para estas personas?

Como se ha visto, durante mucho tiempo la humanidad a generado una gran cantidad de residuos, donde las mejores soluciones ante el impacto generado es la reutilización y el reciclaje; desde las soluciones habitacionales por su parte ha dado paso a la construcción sostenible, buscando un “...especial respeto y compromiso con el medio ambiente...” y que implique “...el uso eficiente de la energía y del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el medio ambiente”. (Ramírez Zarzosa, 1991)

1.2. Tipos de polímeros

Según (Valle Mayorga, 2013), “los plásticos” “...son sustancias orgánicas de alto peso molecular que se sintetizan a partir de compuestos de bajo peso molecular; se caracterizan por una alta relación resistencia/densidad...” con altas propiedades de “aislamiento térmico y eléctrico... resistente a los ácidos, álcalis y solventes”.

En la actualidad y dentro del campo de la construcción como en otros campos los polímeros se los puede encontrar en todo tipo de elementos tales como, tragaluces, muebles, pisos, cubiertas, botellas, recipientes, etc., pero así como se los encuentra se ha creado una dependencia que genera un problema medio ambiental, puesto que aun sabiendo que se pueden ser reutilizados, son desechados al medio ambiente. Antes de continuar, se debe comprender que existe una clasificación de acuerdo al comportamiento térmico que tienen estos y que se describe a continuación:

- Termoestables, llegan a distinguirse “por su estructura tridimensional de alto encajamiento” son más rígidos, no pueden ser refundidos, no se reciclan, al fundirse pierde sus propiedades originales haciendo que el material se destruya y no se ablande, los acabados son menores en comparación con los termoestables.
- Los elastoplásticos: se caracterizan por su gran elasticidad y resistencia a la flexión, tracción, torsión y compresión. Es un material que no permite ser fundido de nuevo ya que no toleran bien el calor, lo cual dificulta que sea reciclado.

es/sustainable-consumption-production/ <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>

⁵ Revise: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/05/110513.verde_recursos_naturales_lh

- Termoplásticos, son aquellos que en su estructura interna, forman cadenas lineales y se desmarcan con facilidad al contacto con el calor, es decir que pueden pasar de estado sólido hasta el estado líquido viscoso; volviendo a adoptar la forma sólida al enfriarse; pudiendo ser fundida y vuelta a fabricarse muchas veces, sin sufrir un cambio químico. Se recomienda que se recicle este plástico unas 5 - 7 veces porque van perdiendo sus propiedades al ser reutilizado.

De los señalados, los termoplásticos son a los que se hace referencia, en el párrafo anterior ya que de acuerdo a sus propiedades, llegan a ser reciclables; algunos de los polímeros que se consideran degradables o reciclables se encuentran ⁶ el polietileno tereftalato (PET), polipropileno (PP), poliestireno (PS), o el polietileno de alta densidad (PE), polietileno de baja densidad (LDPE), cloruro de polivinilo (PVC). ⁷.

- El PET: (Polietileno Tereftalato) El más usado, se destaca su dureza y su resistencia a la humedad - Uso: Botes de yogures, zumos, detergentes, etc.
- El PP: (Polipropileno) Resistente al calor, de gran dureza resiste la presión y a productos químicos - Uso: utensilios de cocina, baterías de coches, etc.
- El PS: (Poliestireno) Se puede pigmentar, característica principal transparencia - Uso: Filmes transparentes para envolver productos alimenticios como también para embalaje.
- El PE: (Polietileno de alta densidad) Resistente y rígido - Uso: Juguetes, utensilios domésticos.
- EL LDPE: (Polietileno de Baja Densidad) Maleable, transparente, ligero y blando - Uso: Vasos, platos, sacos y bolsas.
- El PVC: (Cloruro de Polivinilo) Es el más utilizado para embalar, rígido versátil y duro - Usos: Tuberías, guantes, suelas de zapatos, mangueras, trajes impermeables.

En esta clasificación se debe tener en cuenta que a diferencia de otro tipo de polímeros el PET, por su capacidad para reutilizarse junto con las propiedades intrínsecas del material, como también por la disponibilidad del material y su capacidad de reciclarse, es decir ser capaz de generar una nueva forma sin perder sus propiedades, lo hacen un material llamativo a manera de ladrillos, tejas, etc., dentro de la construcción, encontrándose en un constante estudio que ayude al medio ambiente.

⁶Para la degradación debe condicionarse a determinadas cantidades de luz solar como de humedad.

⁷Debe de tenerse en cuenta que su velocidad de degradación puede variar entre 5 para plásticos biodegradables y hasta 5000 años en no degradables

1.3. El PET - ¿Material de construcción?

El polietileno tereftalato (PET), perteneciente a la familia de los termoplásticos es un material de alta calidad, de gran ligereza y resistencia mecánica a la compresión, posee un alto grado de transparencia y brillo. El PET, fue desarrollado por la British Calico Printers, para ser usado como fibra sintética, pero con el pasar de los años su implementación llega al empaquetado y ya por los años 60's - 70's, con la técnica de expandir botellas se abrió camino al desarrollo comercial.

Tabla 1.1: DATOS TÉCNICOS DEL POLIETILENO TEREFTALATO - PET

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Peso específico:	139 gr/cm ³
Resistencia a la tracción fluencia/rotura:	900 kg/cm ²
Resistencia a la flexión:	1450 kg/cm ²
Alargamiento a la rotura:	15 %
Módulo de elasticidad (tracción):	37000 kg/cm ²
Resistencia a desgaste por roce:	MUY BUENA
PROPIEDADES TÉRMICAS	
Temperatura de fusión:	255 C
Conductividad térmica:	Baja
Temperatura de deformabilidad por calor:	170 C
Temperatura de ablandamiento de Vicat:	175 C
Coefficiente de dilatación línea de 23 a 100C:	0.00008 mm por C
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	
Absorción de humedad:	0.25 %
PROPIEDADES QUÍMICAS	
Resistencia a álcalis débiles a temperatura ambiente:	Buena
Resistencia a ácidos débiles a temperatura ambiente:	Buena
Comportamiento a la combustión:	Arde con mediana dificultad
Propagación de llama:	Mantiene la llama
Comportamiento a quemado:	Gotea

En la actualidad la resina de PET es considerada como el material predilecto para empaquetar y embotellar, pero también es uno de los desechos que mayor cantidad se encuentran en el medio ambiente, ya que su vida útil es relativamente corta, bajo estas primicias y sus múltiples ventajas intrínsecas, se vienen desarrollando diferentes emprendimientos donde los ladrillos PET, realizados a partir de polímeros reciclado PET, que reemplaza a los áridos, comúnmente utilizados para la elaboración de materiales para la construcción, es una de las mejores aplicaciones en las que se ha implementado este material; en la actualidad existen diferentes técnicas con las se han logrado desarrollar los ladrillos PET, siendo la mas utilizada el que se describe a continuación.

Para desarrollarlos, previo la dosificación el mortero y el PET se unen, luego se vierte en máquinas manuales o mecánicas que permitan moldear ladrillos, la mezcla obtenida con anterioridad, debe hacerse un curado por aspersión o inmersión durante 28 días antes de su utilización en obra, finalmente se traslada las muestras a laboratorios, donde se procede a realizar diferentes tipos de ensayos, que son procesos necesarios a los que todo material que será usado luego en construcción debe someterse, ya que sólo así se asegurará seguridad, y validación del material, verificando cada parámetro en la muestra de cada bloque PET.

Los ensayos luego de realizar las pruebas mecánicas y físicas, dan como resultado los siguientes parámetros, a partir de lo indicado por (Gaggino, Arguello, y Berretta, s.f.).⁸

- **Peso:** Un ladrillo PET, tiene un peso más bajo que el ladrillo de arena, se promedia cerca del 1.4 Kg.
- **Conductividad térmica:** los bloques PET cuentan con excelente aislación térmica, a diferencia de otras mamposterías tradicionales,
- **Resistencia mecánica:** aunque su nivel de resistencia sea menor a diferencia de otros materiales comunes, un ladrillo PET puede ser utilizado en construcción de viviendas con características sismo resistente, .
- **Comportamiento a la intemperie:** de acuerdo a los ensayos el PET a través de los años, demuestran que puede soportar daños, por exposición a rayos ultravioleta o factores climáticos de humedad.
- **Resistencia a fuego:** se califica a los componentes de construcción PET, “Clase RE2” significando que es resistente al fuego y cuenta con un nivel muy bajo de propagación de llama.
- **Aptitud para el clavado y aserrado:** según ensayos realizados, puede utilizar el material en sistemas constructivos que requieran de uso de cortes o clavados en placas o mampuestas.
- **Permeabilidad a vapor de agua:** al igual que otros materiales de construcción, el ensayo da como resultado 0,0176 g/mhkPa.
- **Adherencia de revoques:** consecuencia del ensayo de adherencia de revoques (tensión de 0,25 MPa.), se obtiene como resultado que, una placa o mampuesta PET está adecuada para recibir revoques con morteros convencionales.
- **Resistencia acústica:** a diferencia de los materiales comunes de construcción, si se construye con bloques PET un muro de 0.15 cm de espesor, se tiene una resistencia acústica de 46 db.

⁸Investigación realizada en el marco del CEVE - Centro Experimental de la Vivienda Económica, Argentina

1.3.1. Casos de Estudio

EKOJUNTO - Costa Rica

La empresa EkoJunto, con sede en la república de Costa Rica, ⁹ se encuentra desarrollando viviendas como infraestructura, a partir de plásticos reciclados con el sistema de Bloqueplas en base a diferentes tipos de plásticos reciclados principalmente el polipropileno y el polipropileno de alta y baja densidad, mediante un proceso de extrucción. (Ekojunto, 2018)

El sistema comprende las piezas estructurales (Vigas y Columnas), encontrándose amarradas mediante platinas metálicas, las cuales generan el marco estructural que soporta las cargas a las que está sometida la estructura, las piezas no estructurales son los bloques de cerramiento los cuales se unen utilizando el sistema de machiembrado, otras de las piezas que presentan son las banquinas que generan marcos de ventanas y puertas.



FIGURA 1.3: Características del Bloqueplas Fuente: <http://ekojunto.com/>

El ensamblaje de una casa promedio se puede realizar en dos semanas, comprende una alta resistencia al fuego y a la humedad, aislante térmico como acústico, se reconoce como un sistema sismo resistente con múltiples tipos de acabados por la porosidad de los materiales y no necesita mano de obra calificada.

Condiciones del sistema

A partir de la entrevista realizada al Ing. Francisco Rodriguez Bejarano, socio de la empresa en (Radio Rocas CR, 2018).

⁹Curridabat San José de Costa Rica

- **Resistencia:** Cumple las regulaciones del código sísmico de Costa Rica del 2010, resultando ser de acuerdo al diseño y al material una estructura altamente sismo-resistente.
- **Aislante:** La composición química de los bloques le dan la propiedad de ser aislantes de temperatura (35 % de la temperatura interior como exterior) como acústicos (30-32db) y eléctricos.
- **Resistencia a la humedad y al fuego:** De acuerdo a su diseño es resistente al fuego y no deja entrar el agua siendo 100 % impermeable.
- **Durabilidad en condiciones extremas:** Al ser un material liviano permite construir con facilidad en zonas de sedimentación difícil; soporta impactos directos, la erosión del clima como el el sol, el viento y la sal, a su vez resiste a ataques patógenos como bacterias, hongos, etc.
- **Uso:** Es de carácter evolutivo, permitiendo construir fácilmente extensiones y/o habitaciones adicionales.
- **Tuberías:** EL sistema incluye bloques con orificios internos, para facilitar la instalación de redes eléctricas, hidráulicas, telefonía y televisión por cables.
- **Modulo de elasticidad:** Bajo nivel, condiciona a construir con este sistema hasta una sola planta, sin embargo este puede ser utilizado en una construcción mixta con estructura metálica o madera, lográndose construir 2 o 3 plantas.
- **Reducción de mano de obra:** de un 35 % a un 15 %, por su facilidad de montura.
- **Retardantes:** contiene un retardante de llama, que permite 10-15 minutos antes de la combustión, a mas de esto permite que no se expanda.
- **Recubrimiento:** Fácil adición a morteros para recubrimiento.
- **Peso:** Menor masa, permitiendo que en caso de sismo permite mayor movimiento sin resquebrajarse.

Proceso constructivo con Bloqueplas



FIGURA 1.4: Proceso constructivo de una vivienda con el sistema de Bloqueplas, Fuente: https://www.facebook.com/pg/ekojunto/photos/?ref=page_internal

CONCEPTOS PLÁSTICOS - Colombia

La empresa Conceptos Plásticos, ubicados en Bogotá-Colombia,¹⁰ transforma los residuos plásticos y cauchos, en un sistema constructivo alternativo para viviendas temporales y permanentes, previniendo la contaminación generada por el desecho del plástico, esta empresa es la pionera en América Latina en cuanto al desarrollo del ladrillos con plásticos PET, sirviendo de base para Ekojunto de Costa Rica como a otras empresas a nivel latinoamericano.

El proceso que la empresa toma para el desarrollo de su producto viene determinado por fundir e inyectar en moldes para producir bloques de plástico, funcionando como “piezas de lego”. La implementación del sistema ha generado un impacto social y ambiental, reduciendo el consumo de agua y energía, al igual que la reducción de CO2. (Echeverri, 2016)

El producto final que se produce aquí es “...resistente a la humedad, durable, inmune a insectos, roedores y microorganismos, no requiere mantenimiento”; es “...de fácil instalación, no requiere mano de obra calificada, ecológico, amigable con el medio ambiente y sobre todo competitivo económicamente...” (Echeverri, 2016)



FIGURA 1.5: Albergue para la protección en el Municipio Guapi, en el Departamento del Cauca - Colombia, (2015) desarrollado por la empresa Conceptos Plásticos, beneficiarios 42 familias desplazadas por la violencia en el municipio, Fuente: https://www.facebook.com/pg/conceptosplasticos/photos/?ref=page_internal

¹⁰Carrera 13A N° 6-02 Parque Industrial Montana, Mosquera, Colombia

Proceso Constructivo



FIGURA 1.6: Proceso constructivo utilizado para anclar los bloques PET de la empresa Conceptos Plásticos., Fuente: https://www.facebook.com/pg/conceptosplasticos/photos/?ref=page_internal

CEVE + CONICET - Argentina

El Centro Experimental de la Vivienda Económica de Argentina,¹¹ en alianza con el Consejo Nacional de Investigación Científica, al observar que la mayoría de residuos que se producen en la Argentina son enterrados y que demanda una alta inversión económica para esto, por cuanto no llega a ser una solución efectiva, determina un proceso de clasificación y limpieza del material, clasificando los plásticos con la finalidad de darle un nuevo uso. (Gaggino y cols., s.f.)

Bajo requerimientos de limpieza y selección advierten que no deben incluirse aquellos que hayan estado en contacto con sustancias tóxicas, para luego pasar por un proceso de trituración e incorporado a la mezclas cementicias, con la finalidad de reemplazar áridos por plásticos.

Dicha investigación ha generado ladrillos con plástico PET en su composición para muros interiores como exteriores, utilizando cemento Portland y aditivos, que se moldea con una máquina manual rodante, cuyas aplicaciones dan ya resultados en la construcción de casas en las Villas de la ciudad de Córdoba. (Gaggino y cols., s.f.)

“Además de su preocupación por reducir la contaminación reciclando plástico y de su interés por ayudar a las familias necesitadas con la construcción de casas, entre sus

¹¹Igualdad 3585 - Código Postal X5003BHG Villa Siburu – Córdoba Argentina

objetivos también se encuentra crear conciencia de la importancia del reciclado y trabajar en proyectos de colaboración entre las comunidades” (Lucario, 2017)

Ventajas

A partir de la entrevista realizada por (Gonzáles, s.f.) a los investigadores:

- Capacidad de aislación térmica cinco veces mayor que los ladrillos convencionales. “Al tener mayor aislamiento térmico, se pueden construir muros de menor espesor. En vez de hacer paredes de 30 cm se pueden hacer de 15cm.”
- Peso, un kilo menos que un ladrillo convencional (ladrillo de PET pesa 1.400 kg)
- Los ladrillos de PET y cemento tienen buena resistencia al fuego con muy baja propagación de llama.
- “Es un ladrillo más ecológico que otros tradicionales porque su materia prima principal está constituida por residuos plásticos reciclados.”
- “A diferencia del ladrillo de barro cocido, en la producción del ladrillo de PET no se consume suelo fértil, por lo que no genera desertificación del suelo.”
- Dado que el ladrillo se moldea con una máquina manual rodante y no necesita cocción en grandes hornos a cielo abierto (como sí lo requiere la fabricación del ladrillo de barro), no produce contaminación atmosférica ni tala de árboles para obtener la leña necesaria para el funcionamiento del horno.

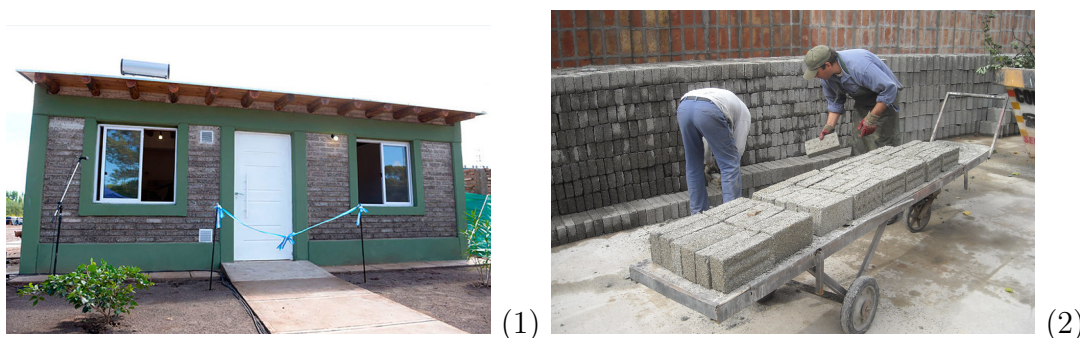


FIGURA 1.7: (1) Primera vivienda hecha con ladrillo PET en Argentina, (2) Secado del Ladrillo PET Argentina, Fuente: (1) <https://www.infobae.com/sociedad/2017/03/13/se-inauguro-en-argentina-la-primera-casa-construida-con-ladrillos-de-plastico-reciclado/>, (2) <http://www.ceve.org.ar/materiales-1.php>

1.3.2. Proceso de Reciclaje del PET

Desde la introducción de los polímeros a la vida cotidiana, el PET se ha convertido en el material que cada vez más se utiliza, debido a que son principalmente utilizados para

botellas de bebidas carbonatadas, teniendo un tiempo de vida útil relativamente corta, y por ende en uno de los residuos que más cantidad existen dentro de los residuos sólidos urbanos (RSU).

Ante aquello, el reciclaje, descrito como el proceso de aprovechar los materiales que han sido desechados para darles un nuevo uso, es decir, para crear un nuevo producto que puede ser diferente al original; resulta ser una alternativa muy conveniente para el ecosistema como para el tratamiento de los envases PET, ya que se disminuyen los residuos plásticos que son acumulados en los botaderos de basura al aire libre, y que muchas de las veces son quemados o enterrados para intentar eliminarlos. (Gaggino y cols., s.f.)

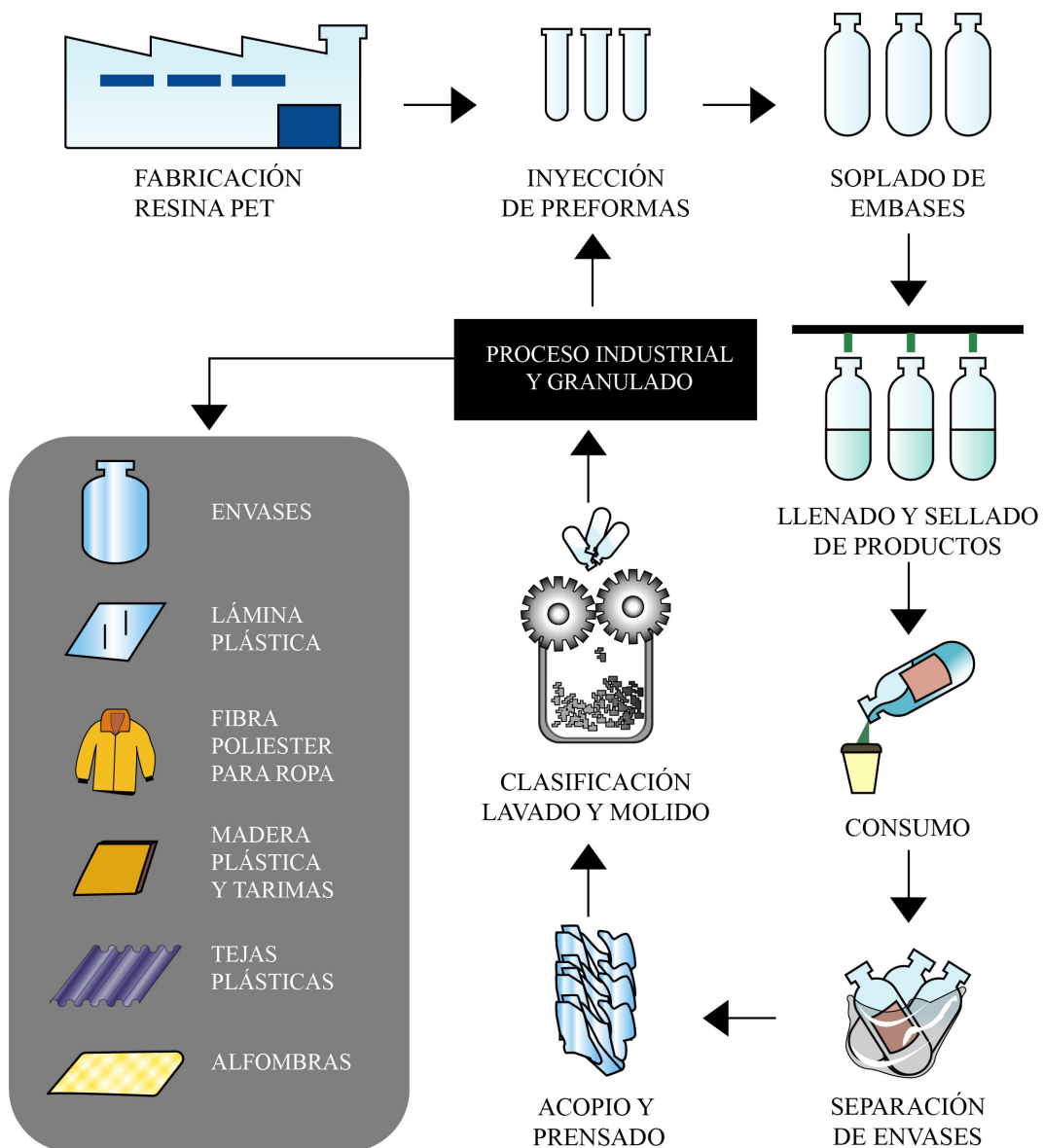


FIGURA 1.8: Ciclo de vida del polímero PET, Fuente: <https://docplayer.es/13060488-Escuela-superior-politecnica-de-chimborazo.html>

1.3.3. Tipos de reciclado de plástico PET

De acuerdo (Ojeda, 2011) existen tres formas de aprovechar los envases PET, una vez que se desecha:

1. Reciclado Mecánico

El reciclado mecánico, es el más habitual para el PET; ya que se tiene en cuenta el origen del residuo (residuo industrial o post consumo) y la finalidad para la cual se genera el reciclado, es decir, el fin que va a tener una vez reciclado.

En el reciclado mecánico se pueden diferenciar dos tipos de procesos complementarios, el mecánico convencional y el de súper-limpieza; llegando éste último a ser utilizado para su reutilización en el sector de envases de alimentario.

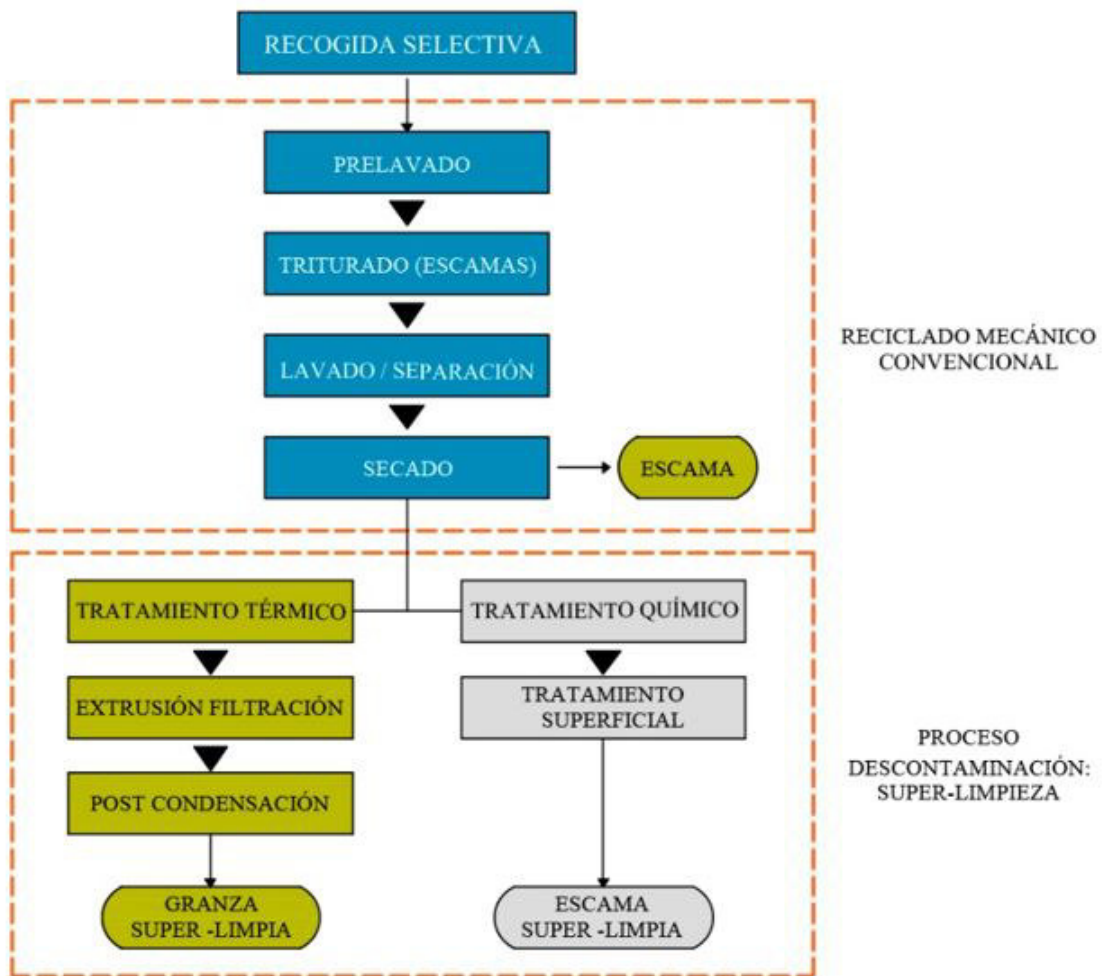


FIGURA 1.9: El reciclado mecánico del PET, Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/reciclado-mecanico-de-pet-super.html>

Etapas

1. **Separación manual:** Aquí se liberan las impurezas de otros materiales, basándose en diferentes criterios como color, materiales plásticos, forma o la eliminación de materiales metálicos.
2. **Triturado:** Una vez libre de impurezas, los envases son triturados, obteniéndose una escama menor a los 10mm libre de polvo.
3. **Lavado y almacenado:** Aquí se eliminan contaminantes orgánicos, tierra o arena, presente en las escamas; en ocasiones también se incluyen procesos de fricción, centrifugación, ciclón, etc, para mejorar el lavado, posterior al proceso y dependiendo del fin, se deja secar y se almacena.
4. **Secado:** El PET al caracterizarse por su alto grado de absorción de humedad del medio ambiente requiere una obligatoria etapa de secado.
5. **Extrucción / Granaceo:** El material se homogeniza por extrusión a altas temperaturas, dando paso a la forma final del producto, y a su vez procede a eliminar ciertos residuos contaminantes.
6. **Inmersión en agua:** Luego de mantener el material a altas temperaturas, es necesario enfriarlo con agua que permita su solidificación.
7. **Separación electrostática:** Mediante la separación electrostática se posibilita separar los materiales que anteriormente no fue posible separarlos mediante operaciones manuales o automáticas, en resumen, la separación electrostática consta en separar los materiales metálicos (conductores) de los no metálicos (no conductores) que podrían encontrarse luego del proceso de reciclado.

2. Reciclado Químico

El reciclado químico deshace el plástico, separando las moléculas que lo componen, para fabricar nuevo plástico, cabe recalcar que para un reciclaje químico es necesario que primero el producto pase por un reciclaje mecánico para poder obtener las escamas.

3. Reciclado Energético (Térmico o Incineración)

Consiste en incinerar el plástico para generar energía, ya que su alto grado calorífico lo permite, produciéndose así una combustión eficiente sin emisiones tóxicas sobre el ambiente (bióxido de carbono y vapor de agua).

En virtud de ello es considerado el procesos más costoso de los tres procedimientos, ya que permite obtener productos con un mayor valor agregado, llegando a ser el procedimiento de uso más corriente en países desarrollados como Estados Unidos de Norte América o los que integran La Comunidad Económica Europea.

1.3.4. Reciclaje en el Ecuador

En el Ecuador, de acuerdo a (Zambrano, 2018) se “produce 4,1 millones de toneladas de residuos sólidos al año. De esta cantidad el 25 % es potencialmente reciclable, pero los recicladores de base solo recuperan el 7 %”, siendo el proceso de reciclaje el siguiente:

1. Las botellas son recogidas por recicladores, los cuales llevan a los centros de acopio de las empresas autorizadas, recibiendo un pago aproximado de \$0.42 y \$0.65 /kg.



FIGURA 1.10: Acopio de botellas, Fuente: <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/10/07/nota/6986588/como-se-recicla-botella-plastico-pet-ecuador>

2. Los envases apilados, pasan a la etapa de clasificación y selección automático-manual, permitiendo separar el plástico por colores como también su calidad. Luego se lavan y separan las tapas como las etiquetas, para el posterior proceso de secado y molienda.



FIGURA 1.11: Selección de Botellas por operario, Fuente: <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/10/07/nota/6986588/como-se-recicla-botella-plastico-pet-ecuador>

3. Superada la limpieza, en alrededor de 2 minutos las botellas pasan por una máquina, la cual, las convierte en pequeñas hojuelas. (Zambrano, 2018)



FIGURA 1.12: Hojuelas de plástico, Fuente: <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/10/07/nota/6986588/como-se-recicla-botella-plastico-pet-ecuador>

4. Posterior al proceso anterior, las hojuelas son calentadas hasta formar una “resina manipulable que es transformada en pellets (pequeñas esferas) de PET grado alimenticio”, que se enfría, para luego pasan por un proceso de verificación de calidad para su venta. (Zambrano, 2018)



FIGURA 1.13: Pellets, Fuente: <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/10/07/nota/6986588/como-se-recicla-botella-plastico-pet-ecuador>

Reciclaje en Cuenca - Ecuador

De acuerdo a ([Angumba Aguilar, 2016](#)) en la ciudad de Cuenca, el sistema de reciclaje de materiales inorgánicos recolectados se entregan a las diferentes asociaciones de recicladores en coordinación con la Empresa Municipal de Aseo de Calles (EMAC), siendo éstas las siguientes: ¹²

- ARUC: “Asociación de recicladores urbanos de Cuenca” - Antigüedad: 18 años - Ubicación: Parque Industrial
- AREV: “Asociación de recicladores urbanos de Cuenca” - Antigüedad: 18 años - Ubicación: El Valle
- CHORRO: Antigüedad: 4 años - Ubicación: Pichacay
- Asociación Recicladores de Pichacay: Sin Local, acopio en casas propias.
- Asociación Recicladores del Centro Histórico: Sin Local, acopio en casas propias.

Cabe recalcar que en la ciudad se diferencian,

“...2 tipos de plástico, el duro (PET) y el suave que son las fundas normales y transparentes y de color, las cuales son también recuperadas, las mismas que se peletizan (cortar y triturar) y comercializadas hacia la ciudad de Guayaquil para ser utilizadas como materia prima para la elaboración de PVC (policloruro de vinilo); el plástico duro también es triturado con una granulometría fina y gruesa para la fabricación de mangueras.” ([Angumba Aguilar, 2016](#))

1.3.5. Normativa Reguladora

Las normativas que regulan el desarrollo de nuevos materiales, se rigen de acuerdo a las normas técnicas de cada país como de estándares internacionales; de acuerdo a la recopilación bibliográfica no existe una norma expresa para el desarrollo de ladrillos PET, sin embargo existen asociaciones como la ASTM¹³ (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales), como también la ISO ¹⁴ (Organización Internacional de estandarización) de carácter internacional, que bajo estrictos estándares determinan las pautas mínimas que los nuevos materiales a base de polímeros deben de poseer. ¹⁵

De acuerdo a estas normas, los nuevos materiales deben de superar las pruebas de Flexión, Compresión y Absorción, bajo los procedimientos que estas dictan.

¹²Existen pequeños recicladores que no se encuentran asociados pero trabajan en este campo.

¹³ American Society for Testing and Materials

¹⁴International Organization for Standardization

¹⁵En Ecuador, el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), es el encargado de proveer las normas para la producción; se dej por sentado que no se ha encontrado norma alguna para la presente investigación sin embargo se alienta al lector a realizar pruebas y comparaciones con la norma INEN 297, referente a los ladrillos cerámicos que enriquezcan a la investigación

En base a esto, las pruebas a las que se deben someter los materiales son:

- ASTM D790 (Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials), método de ensayo a flexión estándar para plásticos reforzados, no reforzados y materiales aislantes eléctricos.
- ASTM D695 (Standard Test Methods for compressive Properties of rigid plastics), método para determinar la resistencia a la compresión en materiales poliméricos.
- ISO 62:2008, (International Organization of Standards for Determination of water absorption of plastics PET) método para determinar la absorción de agua en materiales plásticos (PET).

Diseño y Prototipo de Ladrillos de Plástico

Como se observó en el capítulo 1, existe una amplia aplicación del PET, ya que por sus propiedades le permiten ser un material versátil siendo utilizado en múltiples industrias como en la construcción obteniéndose resultados favorables en su aplicación.

Para la elaboración del ladrillo de PET motivo de esta investigación se toma como punto de partida la entrevista realizada al Ing. José Álvares, propietario de la Fábrica Álvarez de accesorios plásticos (Cuenca-Ecuador), como también los criterios que toma (Cruz Perea, 2018) para el desarrollo de ladrillos plásticos.

De acuerdo a lo que explica Álvarez,¹ para utilizar el PET se debe tener cuidado que no se mezcle con otro tipo de polímero ya que provoca debilitamiento del material o a su vez no se fusionan formando una sola masa para su posterior uso. Explica además que posee una alta resistencia a medios alcalinos.

El tereftalato de polietileno o PET con el cual se trabajó en esta investigación se encuentra en la mayoría de las botellas de agua que se usa diariamente para el consumo humano, de acuerdo a la bibliografía consultada se menciona que además de ser un producto reciclable, este plástico cuenta con un nivel elevado de rigidez, resistencia a los agentes químicos, alta estabilidad al aire libre como también a diferentes factores climáticos, razón por la cual lo hace perfecto para ser usado en la creación de nuevos materiales que incluyan mejoras en sus características físicas y a su vez sea sostenible. (JQ, 2016; Gaggino y cols., s.f.)

Por cuanto, no existe una normativa referente a la utilización de plásticos como material de construcción, es necesario crear un modelo apropiado de ladrillo el cual, permita realizar los ensayos de laboratorio, para luego hacer una comparación con un ladrillo común, de acuerdo a los requisitos de resistencia a la flexión, compresión y absorción que establece la ASTM - ISO, las pruebas a realizarse determinarán si el ladrillo de PET cumple o no como material alternativo y apto para la construcción.

¹Ver Anexo 4.1

2.1. Diseño de Ladrillos de Plástico

De acuerdo a lo analizado en los apéndices anteriores, se procede a diseñar dos modelos de ladrillos de PET. El primero que toma el tamaño similar al de un ladrillo panelón de arcilla cocida, muy utilizado para tabiques dentro de la construcción; se toma esta decisión con el fin de poder tener un modelo de comparación que ofrece el mercado de la construcción y relacionar sus propiedades con los que se obtengan en las pruebas técnicas a las cuales se someterán los ladrillos. Véase Figura 2.1

El segundo de medidas reducidas, como lo muestra la figura 2.3, se diseña bajo el dato de resistencia del material puesto que como lo menciona (Gaggino y cols., s.f.) el Ladrillo PET, llega a ser 5 veces mas resistente que un ladrillo común, permitiéndose tener dimensiones menores a las convencionales. Al igual mediante este prototipo se pretende lograr una dosificación proporcional que pueda servir para posteriores estudios, llegando así a obtener una proporcionalidad del material

Tanto el primero como el segundo prototipo, son pensados bajo el sistema machiembrado, permitiendo un anclaje libre de morteros o pegantes entre sus juntas, como también por facilitar el anclaje y montaje sin necesidad de mano de obra calificada, las medidas de los dos ladrillos se detallan a continuación:

Ladrillo Prototipo 1

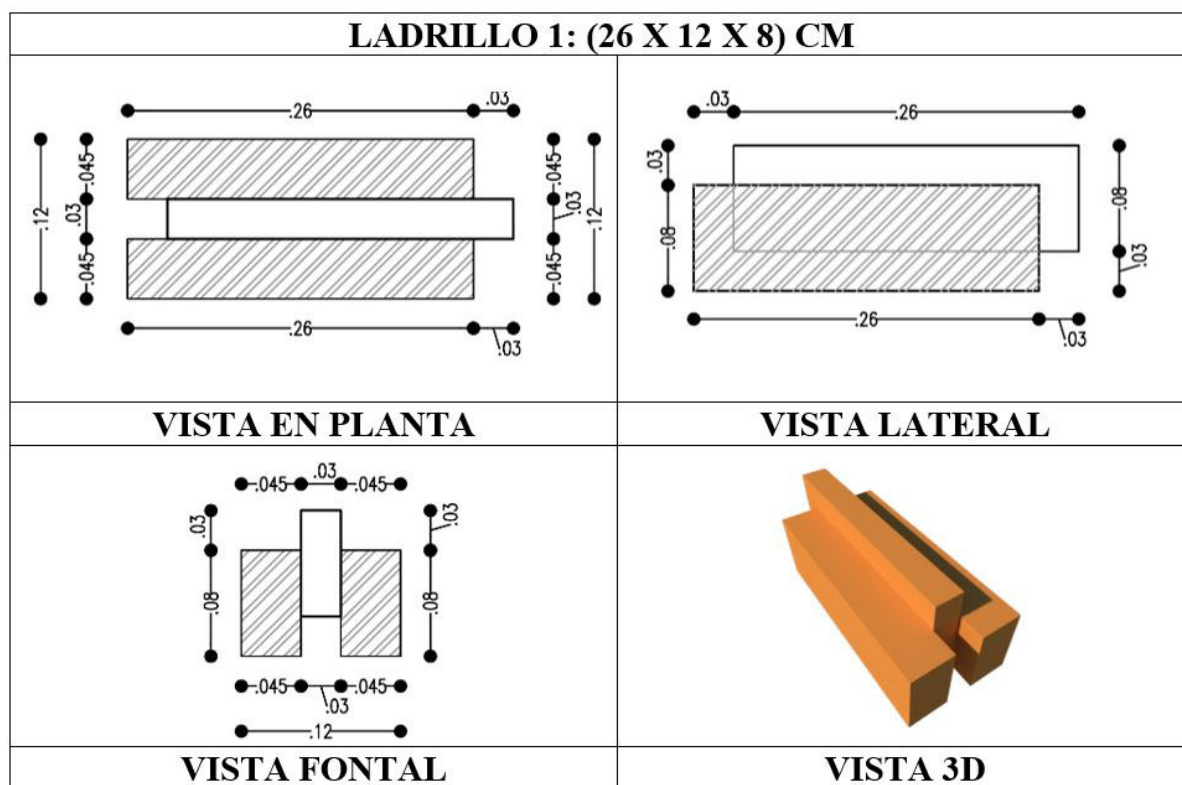


FIGURA 2.1: Medidas de ladrillo PET N° 1, Fuente: Autor

Ladrillo Prototipo 2

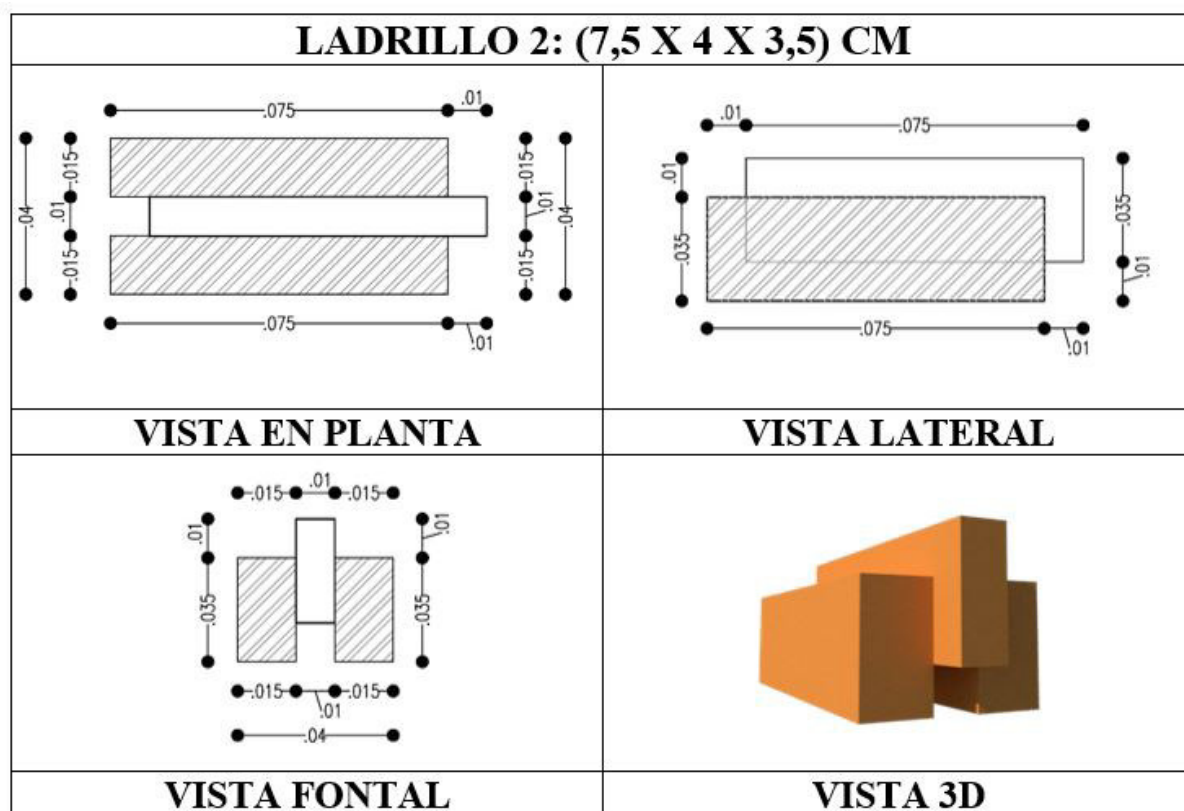


FIGURA 2.2: Medidas de ladrillo PET N° 2, Fuente: Autor

Cabe mencionar que solo se utilizará PET como materia prima en primer lugar, por ser un material no tóxico, ya que solo se lo utiliza para contener líquidos para el consumo humano, y en segundo lugar, porque los polímeros no pueden ser mezclados con otros que no pertenezcan a su tipo, es decir, al ser mezclado con otro polímero ocurre un debilitamiento del material o también puede ocurrir que no se fusionen en su totalidad.

El tipo de reciclado empleado será el MECÁNICO CONVENCIONAL, en donde se realizará la recogida selectiva del material, luego pasará por un proceso de pre-lavado, triturado, en el cual el material se reduce a escamas de 10mm, después se procede a la separación de materiales por si quedó algún residuo ajeno al PET y por último se deja secar el material para posteriormente ser derretido y puesto en moldes para la obtención del ladrillo.

El procedimiento se detalla en el siguiente diagrama:

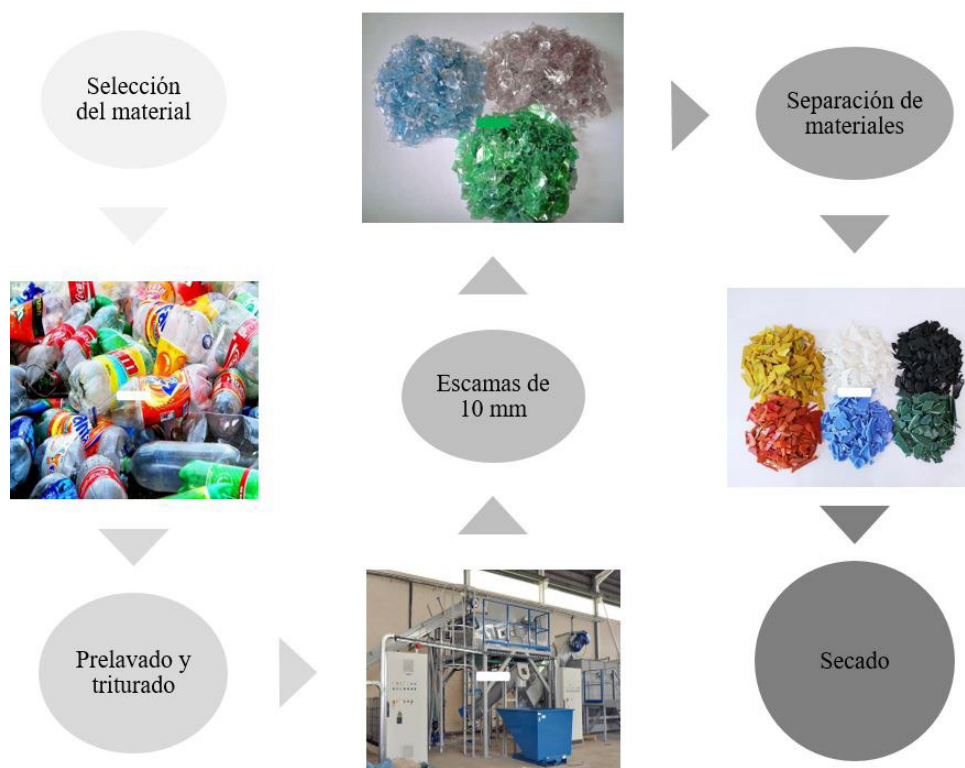


FIGURA 2.3: Diagrama del reciclado Mecánico a emplearse, Fuente: Autor

El plástico triturado será vertido en recipientes metálicos para ser derretido y se utilizará una cocina industrial a gas, porque se necesita mover el material mientras se derrite y con ello evitar que se incendie, otra razón es porque solo se requiere elaborar pocos ladrillos para este análisis y comprobar mediante los ensayos a realizar si es factible o no su uso en el campo de la construcción. De ser satisfactorios los resultados de la investigación se requerirá un estudio más profundo en cuanto a maquinaria industrial y demás en futuras investigaciones.²

2.1.1. Dosificación



De acuerdo a las investigaciones realizadas el peso del ladrillo de PET es el mismo que se requiere en su dosificación, pero triturado, debido a que no contará con ningún otro material para su elaboración, por lo tanto, su peso no varía.

Cabe mencionar que, para la elaboración del segundo prototipo de medidas reducidas, no existe material técnico que respalde o que indique cual debería ser la dosificación para su fabricación, ya que es un prototipo que se está proponiendo para reducir espesor de

²Las características de la cocina industrial se detallan más adelante en Materiales a Emplearse.

muros tomando como consideración que es un material cinco veces más resistente que otros aplicados en la construcción de acuerdo a lo analizado en el capítulo 1. Por lo tanto, se elaborará un primer ladrillo de medidas reducidas para posteriormente pesarlo y conocer la dosificación necesaria que se requiere para su elaboración. La dosificación requerida se detalla en la siguiente tabla. Ver Tabla 2.1

Tabla 2.1: DOSIFICACIÓN DE POLÍMEROS PET PARA LADRILLO 1

Ladrillo	Peso (gr)	Fotografía-Dosificación
Prototipo 1	2130	
Prototipo 2	111.2	

- Para la dosificación del PROTOTIPO 1 se requieren 2130 gr de PET triturado, como se observa en las imágenes de la tabla 2.1, el recipiente grande contiene 1000 gr totalmente lleno, con lo cual se determina que se requieren 2 recipientes llenos dando un total de 2000 gr, más un recipiente pequeño de 130 gr que de acuerdo a las mediciones que se indican en el recipiente equivale a 14 onzas exactamente, con lo cual se obtienen 2130 gr. En conclusión, se necesitan 2 recipientes grandes totalmente llenos y 14 onzas del recipiente pequeño para elaborar el ladrillo de PET Prototipo 1.
- Para la dosificación del prototipo 2 se requiere 111.2 gr de PET triturado, de acuerdo a las mediciones que indica el recipiente pequeño, equivale a 12 onzas.

2.1.2. Materiales a Emplearse

- **Moldes de Madera**, las medidas del molde para el LADRILLO N° 1 serán de (26 x 12 x 8; cm) y para el LADRILLO N° 2 de (7,5 x 4 x 3,5; cm), se escogió de madera, por cuanto su fabricación es más fácil y económica, reducir el grosor de los muros, en caso de obtener resultados desfavorables en los ensayos, su tamaño incrementará hasta obtener el diseño de ladrillo apropiado. A diferencia del ladrillo común, el nuevo material de construcción tendrá un diseño el cual permita anclarse uno con otro (machihembrado), debido a que no se utilizará mortero como sistema de pegado de los mismos.

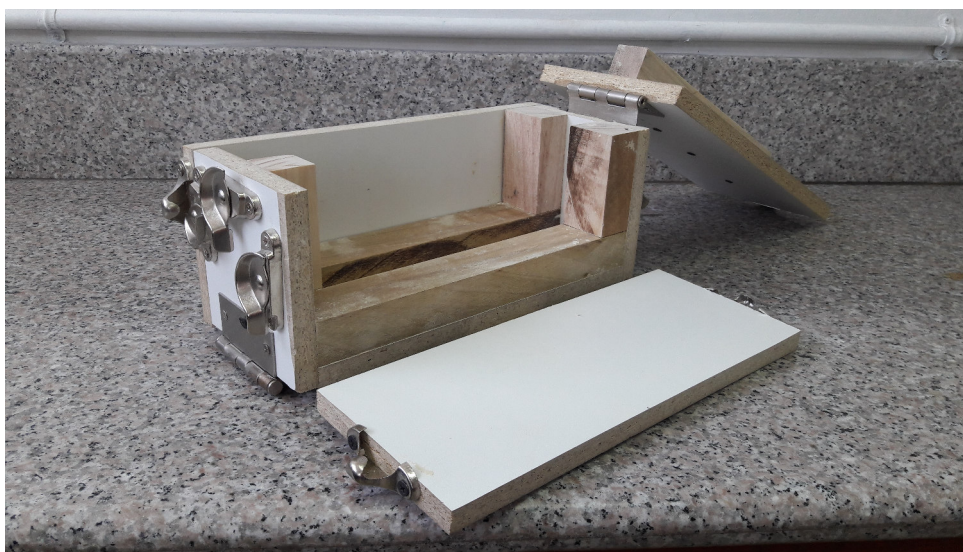


FIGURA 2.4: Molde de Ladrillo N° 1, Fuente: Autor

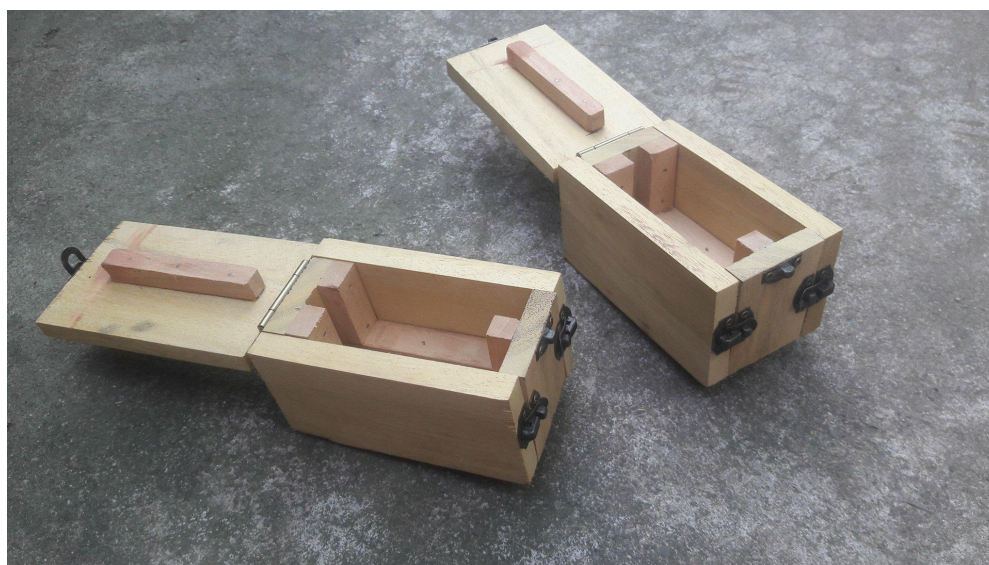


FIGURA 2.5: Molde de Ladrillo N° 2, Fuente: Autor

- Botellas de Plástico PET,³ libre de impurezas.⁴

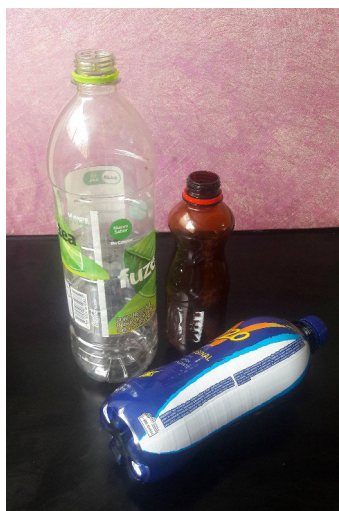


FIGURA 2.6: Botellas PET, Fuente: Autor

- Máquina trituradora: Servirá para triturar el plástico de PET. La máquina utilizada en el proceso de trituración es de procedencia norteamericana y se la obtuvo gracias a la colaboración del Ing. Jose Álvarez, propietario de la Fábrica de Plásticos Álvarez, puesto que servirá para fines académicos.

La fábrica que la produce es Nelmor Co. Inc, modelo: G1012M1, Serie: 77-01-9899, PlasticMachinery. (Angumba Aguilar, 2016)



FIGURA 2.7: Máquina trituradora PlasticMachiner, Fuente: Autor

³De acuerdo a el Ing. José Álvarez, experto en fabricación de materiales de plástico y propietario de la Fábrica Álvarez de la ciudad de Cuenca, no se debe mezclar con otros polímeros pudiendo existir un debilitamiento del producto

⁴Obtenidas a través de la Corporación ARUC, sector Parque Industrial, (quintal de plástico triturado \$20.00)

- **Recipiente metálico y espátula de madera:** Serán utilizados para colocar el plástico triturado, como para poder remover el plástico derretido.



FIGURA 2.8: Recipiente y espátula, Fuente: Autor

- **Cocina Industrial a gas:** se utilizará para derretir el plástico midiendo los grados de temperatura aptos para la obtención de un material resistente. Potencia 60000 Btu/Hr c/u, temperatura 130-250 °C, Presión de trabajo: 15 Psi (Alta Presión), Estructura integral en acero inoxidable AISI 304, tablero superior e: 1/16" AISI 304



FIGURA 2.9: Cocina a Gas, Fuente: Autor

- **Balanza:** servirá para pesar el plástico triturado y con ello conocer la dosificación exacta que debe contener cada molde para la elaboración del ladrillo.



FIGURA 2.10: Balanza, Fuente: Autor

- **Aceite,** será puesto en los moldes para evitar que el plástico se pegue a ellos y sea fácil removerlos una vez que se encuentren secos. Puede utilizarse aceite ya desechado de los carros.



FIGURA 2.11: Aceite quemado, Fuente: Autor

2.1.3. Preparación de la Materia Prima PET

Haciendo un análisis en cuanto a precios para la obtención de la materia prima, en este caso el plástico, se vio factible comprarlo por quintal debido a que actualmente estos recipientes son reciclados y su obtención en los botaderos resulta difícil.

En las plantas recicladoras el kilogramo de plástico tiene un valor de 0,40 ctvs. de acuerdo a las investigaciones que ha hecho el diario El Universo. Esto quiere decir que el quintal de botellas de plástico termina costando 40 dólares.

En Cuenca existen plantas recicladoras que venden el plástico triturado y muy económico, aprovechando lo expuesto, se lo pudo adquirir en la corporación ARUC, ubicada en el sector del parque industrial y su precio por quintal fue de 20 dólares, provocando un ahorro de 20 dólares en comparación con el plástico sin triturar.

Comprarlo triturado tiene sus ventajas, en primer lugar, porque resulta más económico y segundo porque ya viene libre de impurezas, debido a que pasa por todos los procesos de limpieza, selección, secado, etc. Al igual como se indica en la bibliografía analizada. Con lo cual permite ahorrar tiempo para la fabricación del ladrillo de PET.



FIGURA 2.12: ARUC - Asociación de Recicladores Urbanos de Cuenca, Fuente: Autor

2.2. Elaboración

- Pesaje de PET, de acuerdo a las dosificaciones.



FIGURA 2.13: Pesaje de PET, Fuente: Autor

- Una vez conocida la dosificación se procede a derretir el plástico (PET) en la cocina industrial, equivale a 250 °C según como se indica en el análisis de casos similares detallado en el capítulo 1.

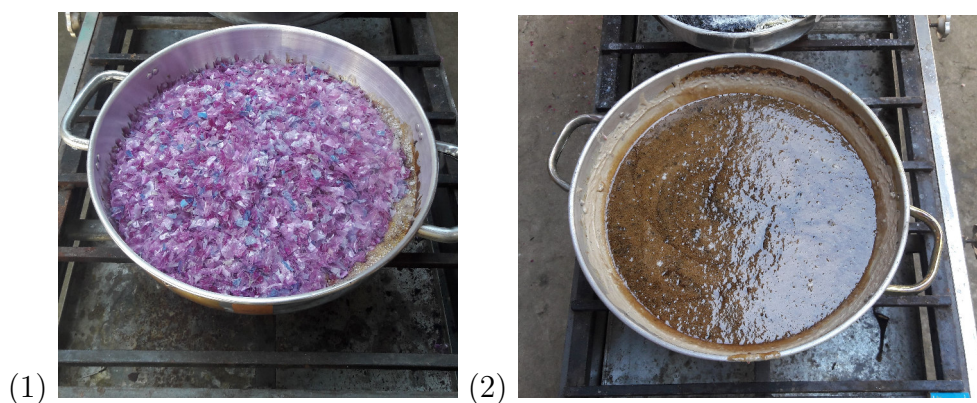


FIGURA 2.14: (1) PET 2.13 kg, (2) PET derretido, Fuente: Autor

2.2.1. Prototipo 1; Ladrillo 1 (26x12x8 cm)

1. Se coloca la cantidad de 2130 gr de PET en de PET en los recipientes metálicos y se procede a derretir en la cocina industrial a una temperatura de 250 °C.
2. El PET estuvo derretido totalmente en 15 minutos, luego se lo colocó en los moldes de madera. Los moldes deben estar con aceite en su interior para evitar que el plástico se pegue en las paredes del mismo y sea fácil retirar el ladrillo.



FIGURA 2.15: Vertido del PET, en el molde del Ladrillo 1, Fuente: Autor

3. De acuerdo a las especificaciones establecidas por las normas ISO 62 el tiempo de curado para el PET es de 20 minutos y hasta una hora si contiene algun otro material. En este caso se trata de PET sin ningun aditivo por lo tanto se procede a desencofrar después de 20 minutos.



FIGURA 2.16: Desmolde, Fuente: Autor

2.2.2. OBSERVACIONES: Prototipo 1; Ladrillo 1 (26x12x8 cm)

- El PET fue vertido totalmente derretido, es decir en estado líquido. Se observa trizaduras y porosidad en el ladrillo, con lo cual se deduce que no es resistente, por lo tanto, no se realizarán las pruebas pertinentes debido a que se parte con facilidad.
- Se observó que en el momento de verter el PET derretido en el molde se empezaba a secar con rapidez, esto se debe a que se hizo este experimento en un lugar abierto y ventilado, por lo cual se tuvo que llenar rápidamente los moldes, porque si el PET se secaba no permitía cerrar el mismo.



FIGURA 2.17: PET secándose antes de ser tapado el molde, Fuente: Autor

- Se propuso que debía ser derretido en un lapso de 15 minutos porque se hizo la prueba dejándolo más tiempo y este empezó a incendiarse provocando una llamarada lo cual dejó el material inservible. Ver Anexo 4.3
- De la misma manera el PET fue puesto a derretir menos de los 15 minutos y se observó que todo el plástico no se derretía, quedaba una cantidad bastante considerable sin derretir.

Con los problemas encontrados, se consultó con el Ing. José Álvarez, experto en fabricación de accesorios de plástico, indicó que el problema se debe a que todo el proceso se lo realizó en un ambiente abierto en donde las corrientes de aire ingresan fácilmente, provocando que el PET cree burbujas en su interior lo cual incita la porosidad y por ende su debilitamiento cuando está seco. Por otro lado, indicó, además, que el plástico no debe ser derretido hasta quedar en estado líquido porque se debilita y pierde resistencia, el material derretido debe tener una consistencia glutinosa porque de esta manera le da firmeza al material.

Se procede a fabricar otro ladrillo con las mismas medidas tomando en cuenta las observaciones indicadas. Se lo realizó en un lugar cerrado y tratando de que el material derretido quede glutinoso, el resultado no fue favorable porque nunca pudo derretirse todo el material (2130 gr) el plástico se secaba inmediatamente en el mismo recipiente donde estaba siendo derretido, solo pequeñas porciones quedaban en estado glutinoso y otras no se derretían. Al ser vertido en el molde no permitía cerrarse debido a que no estaba totalmente derretido y obstruía el cierre.



FIGURA 2.18: PET deteriorado a mayor tiempo de derretimiento, Fuente: Autor

Nuevas investigaciones realizadas por (Méndez Prieto, 2017), con respecto al tema, se pudo conocer que para derretir grandes cantidades de PET se necesita maquinaria especializada, el derretido se lo realiza a inyección de una forma que posteriormente se calentará y al mismo tiempo mediante un pistón y la aplicación de aire a presión, se estira hasta la base, lográndose una bi-orientación de las moléculas en dirección longitudinal y transversal. Dichas moléculas ordenadas proporcionan a los productos moldeados un incremento notable en sus propiedades de barrera y propiedades mecánicas. Por lo tanto, no es posible derretir esta cantidad con una cocina industrial haciendo imposible la fabricación del prototipo 1.

2.2.3. Prototipo 2; Ladrillo 2 (7,5x4x3,5 cm)

Para la dosificación para este prototipo, se calcula en 111.2 gr, de acuerdo a lo explicado en el punto, 2.1.1.

1. Se coloca la cantidad de 111.2 gr de PET en el recipiente metálico para luego pasar a ser derretido en la cocina industrial a gas a una temperatura de 250 °C. En este caso el recipiente metálico que contiene el PET tuvo que ser alterada su forma, porque los moldes son mas pequeños con el fin de evitar que el material se derrame al verter el plástico.



FIGURA 2.19: Recipiente metálico alterado su forma, Fuente: Autor

2. En el transcurso de 5 minutos el plástico ya tenía una consistencia glutinosa que es lo recomendable, por lo cual, fue vertido en los moldes de madera. Los moldes deben estar con aceite en su interior para evitar que el plástico se pegue en las paredes del mismo y sea fácil desmoldearlo. Véase Figura 2.19
3. Se debe esperar 20 minutos para el curado del ladrillo, luego se procede a desmoldar para obtener el ladrillo prototipo 2.



FIGURA 2.20: Desmoldado Ladrillo 2, Fuente: Autor

2.2.4. OBSERVACIONES: Prototipo 2; Ladrillo 2 (7,5x4x3,5 cm)

- Al ser derretido en menos tiempo, la consistencia era espesa (GLUTINOSA), es decir ya no se hizo líquido el plástico. El ladrillo salió más resistente, ya no se partió y por lo tanto se cree apto para ser sometido a los debidos ensayos de laboratorio.
- El tiempo de vertido en el molde debe ser muy rápido, en solo cuestión de segundos, porque se seca con facilidad impidiendo que el molde se cierre
- Para no desperdiciar el material sobrante que queda en el recipiente metálico, se lo volvió a derretir con plástico triturado para obtener un ladrillo. El mismo que será sometido a pruebas de laboratorio para comprobar su resistencia, logrando con ello que el material no se desperdicie.

Ensayos, Resultados, Conclusiones y Recomendaciones

3.1. Norma

Al no contar con una normativa para polímeros concerniente a materiales utilizados en la construcción se toman como referencia las normas ASTM e ISO para materiales termoplásticos, grupo al cual pertenece el PET para hacer las respectivas comparaciones.

Se realizaron los ensayos correspondientes a Flexión, Compresión y Absorción, estos ensayos se han adaptado a las normas antes mencionadas, siendo las siguientes:

- ASTM D790 (Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials), método de ensayo a flexión estándar para plásticos reforzados, no reforzados y materiales aislantes eléctricos.
- ASTM D695 (Standard Test Methods for compressive Properties of rigid plastics), método para determinar la resistencia a la compresión en materiales poliméricos.
- • ISO 62:2008, (International Organization of Standards for Determination of water absorption of plastics PET) método para determinar la absorción de agua en materiales plásticos (PET).

3.2. Moldes y Ensayos

Para realizar los ensayos, se elaboraron probetas cuyas medidas varían de acuerdo a la norma aplicada, los moldes para las probetas fueron fabricados con MDF y laurel. De igual manera como en la fabricación de los ladrillos se debe colocar aceite en los moldes antes de verter el PET derretido para que se puedan desencofrar con facilidad.

Los ensayos se realizaron en la Universidad de Cuenca cumpliendo los parámetros que establecen las normas ASTM e ISO que se están aplicando.

3.2.1. Flexión

Molde para ensayo a la flexión:

Se elabora un molde de madera de laurel y MDF con dimensiones internas de (15 x 3cm x 0.7)cm como establece la norma ASTM D790.



FIGURA 3.1: Molde para ensayo a la flexión-Fuente: Autor

Ensayo a la Flexión

Para este ensayo se toma como referencia la norma ASTM D790 que determina el método de 3 puntos. La máquina utilizada es ELE INTERNATIONAL SOILSTEST VERSA LOADER, la cual expresa los valores de las pruebas en MPa.

Se elaboraron tres muestras cuyas medidas son de (15 x 3 x 0.7)cm como determina la norma referente a polímeros termoplásticos.



FIGURA 3.2: Probetas para ensayo a la flexión-Fuente: Autor

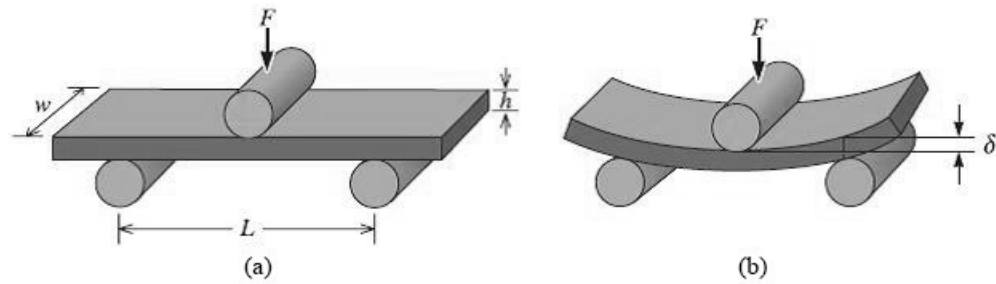


FIGURA 3.3: Esquema ensayo a la Flexión - Fuente: Autor

El esquema anterior se muestra (a) un ensayo de flexión a tres puntos y (b) la deflexión obtenida por flexión.

Si se aplica una carga a tres puntos y se provoca flexión, se produce un esfuerzo de tensión en el material en un punto opuesto al de la aplicación de la fuerza central. La fractura comienza en ese punto. La resistencia a la flexión, o módulo de ruptura, describe la resistencia del material con la siguiente ecuación:

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{3FL}{2wh^2}$$

Donde:

- F : es la carga de fractura
- L : es la distancia entre los dos puntos de apoyo
- w : es el ancho del espécimen
- h : es la altura del espécimen



FIGURA 3.4: Esquema ensayo a la Flexión - Fuente: Autor

3.2.2. Compresión

Molde para ensayo a la Compresión:

Se elabora un molde de madera de laurel con dimensiones internas de (4 x 4 x 8)cm como establece la norma ASTM D650.



FIGURA 3.5: Molde para ensayo a la compresión-Fuente: Autor

Ensayo a la Compresión

Para este ensayo se toma como referencia la norma ASTM D695. La máquina utilizada es ELE INTERNATIONAL SOILSTEST VERSA LOADER, la cual arroja los valores en Kg.

Se elaboraron tres muestras cuyas medidas son de (4 x 4 x 8)cm como determina la norma referente a polímeros termoplásticos, grupo al cual pertenece el PET.



FIGURA 3.6: Esquema ensayo a la Compresión - Fuente Autor

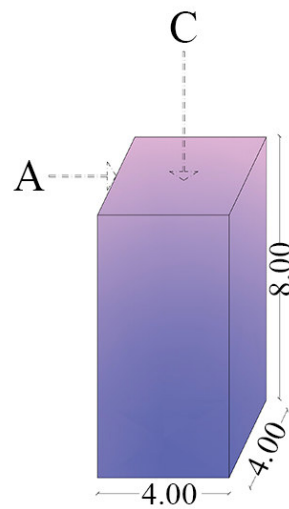


FIGURA 3.7: Esquema ensayo a la Compresión - Fuente Autor

Donde:

$$\sigma = \text{Esfuerzo de Compresión} \longrightarrow \sigma = \frac{C}{A}$$

C= Carga

A = Área de la superficie de contacto (cm²)

3.2.3. Absorción

Molde para ensayo a la Absorción:

Se elabora un molde de madera de laurel con dimensiones internas de (5 x 5 x 1)cm como establece la norma ISO 62.



FIGURA 3.8: Molde para ensayo a la absorción- Fuente: Autor

Ensayo a la Absorción de Agua

Para este ensayo se toma como referencia la norma ISO 62 establecida para PET. Las mediciones se realizan en la balanza OHAUS TRAVELER TA302 con presión de 0.01 gr. Consiste en sumergir la probeta en agua destilada durante 24 horas.

Se elaboraron tres muestras cuyas medidas son de (5 x 5 x 1)cm como determina la norma referente específicamente al polímero PET.

Los resultados se determinan mediante las siguientes ecuaciones:

- Absorción de agua expresada en mg/cm²

$$a = \frac{(Ma - Ms)}{Ms}$$

Donde:

a: absorción de agua en mg/cm²

Ma: masa de la probeta saturada en agua, después de la inmersión (mg)

Ms: masa de la probeta seca, antes de inmersión (mg)

- Absorción de agua expresada en porcentaje

$$a = \frac{(Ma - Ms)}{Ms} \times 100$$

Donde:

a: absorción de agua en



FIGURA 3.9: Ensayo de absorción de agua según ISO 62 - Fuente: Autor

3.3. Resultados

3.3.1. Ensayo a Flexión

En la Figura 3.10 se detallan los valores obtenidos en cada una de las probetas dando un promedio de 126.7 Mpa.

Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Masa (gr)	Esfuerzo (Mpa)
1	15	3	0.7	43.5	128.9
2	15	3	0.7	43.5	125.8
3	15	3	0.7	47.2	125.5

FIGURA 3.10: Resultados de ensayo a la flexión - Fuente: Autor

3.3.2. Ensayo a Compresión

De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos, se tiene un esfuerzo a la compresión promedio de 109.93 Kg/cm².

Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Masa (gr)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
1	4	4	7.7	135.3	107.7
2	4	4	7.5	135.3	110.8
3	4	4	7.9	136.8	111.3

FIGURA 3.11: Resultado de esfuerzo máximo a compresión - Fuente: Autor

3.3.3. Ensayo a la Absorción de Agua

Como indica la Figura 3.12 se tuvo una absorción de agua promedio de 0.27 % siendo un resultado favorable en comparación a la absorción máxima establecida por la norma ISO 62 que da un promedio de 0.5 %.

Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Masa seca (gr)	Masa saturada en agua (gr)	Absorción de agua (%)
1	5	5	1	73.2	73.3	0.14
2	5	5	1	76.3	76.5	0.26
3	5	5	1	71.8	72.1	0.42

FIGURA 3.12: Resultados de Absorción de Agua-Fuente: Autor

3.4. Comparaciones de los resultados frente a los polímeros termoplásticos

En base a los resultados obtenidos se demuestra que el PET presenta propiedades físicas-mecánicas superiores a las establecidas por las normas que se detallan en la Figura 3.13. Con lo cual se determina que es un material apto para ser utilizado dentro del campo de la construcción, dando lugar a un material alternativo para la fabricación de muros no portantes.

Ensayo	Unidad	PET	Polímero termoplástico	Norma
Esfuerzo de Flexión	Mpa	126.7	93.07	ASTM D790
Esfuerzo de Compresión	Kg/cm2	109.93	86.18	ASTM D695
Absorción de Agua	%	0.27	0.5	ISO 62

FIGURA 3.13: Comparaciones de resultados del PET con los termoplásticos-Fuente: (Lork Industrias, 2017)

Como aporte adicional a la investigación se compara los resultados obtenidos con la Norma INEN 297 para ladrillos cerámicos macizos que son los más utilizados en la construcción y se tiene como resultado que las características físico-mecánicas son inferiores a las obtenidas con el material PET, las cuales se detallan en la siguiente tabla:

CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL LADRILLO CERÁMICO MACIZO		
Tipo de ensayo	Promedio	Norma
Resistencia mínima a la flexión (MPa)	2	INEN 295
Resistencia mínima a la compresión (Kg/cm2)	61.18	INEN 294
Absorción máxima de humedad (%)	25	INEN 296

FIGURA 3.14: Características físico-mecánicas del ladrillo cerámico macizo-Fuente: INEN 0297

3.5. Conclusiones

- Existen proyectos realizados con polímeros PET; los cuales se han ejecutado con diferentes técnicas para lograrlo, considerando los siguientes puntos: el polímero PET se lo utiliza como un sustituto de los áridos, tiene un sistema de machihembrado que permite reducir pegantes y facilitar el montaje, teniendo con esto una manipulación sin mano de obra calificada, a través de la implementación de este ladrillo se logra obtener un recurso resistente y útil.
- Con el uso de plástico para la fabricación de los ladrillos PET, se contribuye al cuidado del medio ambiente al ser reciclado y reutilizado, además resulta mejor comprar el plástico triturado porque es más económico y se ahorra tiempo en el proceso de selección, lavado, secado, etc.
- El PET es un material no tóxico, por lo tanto, no se corre riesgos de que produzca emisiones contaminantes, ya sea en el interior o exterior de una vivienda. La fabricación del ladrillo PET resulta fácil, tomando los debidos cuidados.
- Al ser un material muy liviano, se reducen las cargas muertas existentes en una construcción, por ende, se produce un ahorro de material por ser muy liviano, resistente y por su porcentaje de absorción de agua, lo convierte en un material apto para la construcción de muros no portantes.
- De acuerdo a los ensayos realizados, tanto de flexión, absorción de agua y compresión, el resultado obtenido indica que la resistencia es mayor de la que exigen las normas ASTM e ISO aplicadas, por lo tanto este recurso garantiza su resistencia y durabilidad.

3.6. Recomendaciones

- Se recomienda analizar el daño medio ambiental producido por los desechos plásticos; a su vez se anima a la academia a profundizar el estudio de nuevos materiales que apunten a la sostenibilidad y sustentabilidad del medio ambiente.
- En base a los resultados favorables obtenidos en los ensayos los cuales indicaron que, si cumple con los parámetros en cuanto a resistencia, se recomienda realizar un análisis de precios para comprobar si es posible promocionarlo en el mercado como material alternativo y económico para la construcción de muros no portantes.
- Antes de la fabricación de los ladrillos investigar sobre las diferentes normas técnicas que pueden ser aplicadas para los distintos ensayos y las características que deben cumplir para que se pueda ejecutar el proceso de fabricación del prototipo propuesto.
- Se recomienda fabricar el ladrillo en un lugar donde no ingresen corrientes de aire porque al verter el PET derretido se seca muy rápido, evitando que puedan cerrarse los moldes ya que el plástico es un material sensible al aire cuando se encuentra en fundición.
- Colocar aceite en el interior de los moldes, de tal manera que los ladrillos no se peguen al momento de desmoldarlos.
- Realizar nuevos estudios referentes a la forma, aplicación y uso dentro de la construcción.
- El plástico derretido al contacto con la piel produce quemaduras graves, se recomienda tomar precaución.

4.1. Anexo 1

Entrevista

Entrevistado: Ing. José Álvarez, Propietario de la Fábrica de Accesorios Plásticos, Fabrica Álvarez

Lugar: Fabrica Álvarez, Cuenca-Ecuador

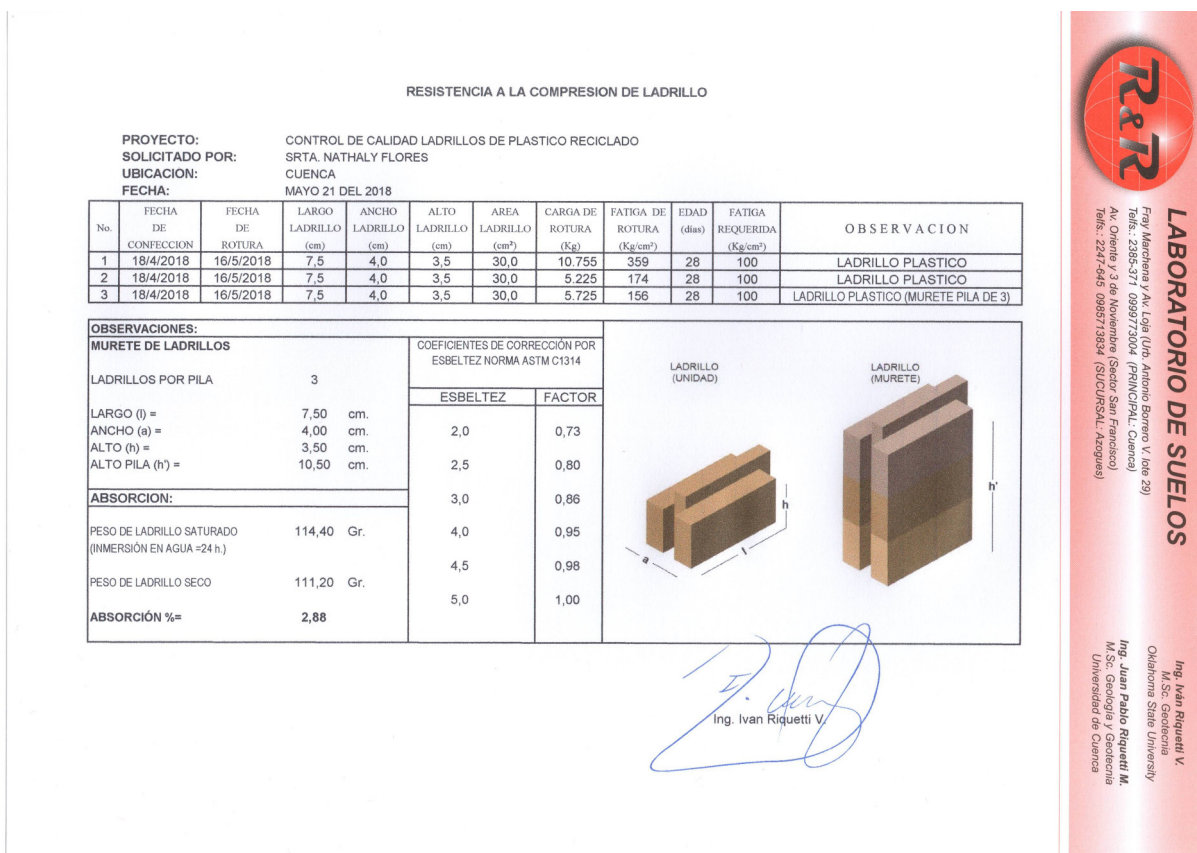
¿Por qué el plástico se debilita cuando se lo derrite en su totalidad?

El plástico para ser utilizado o reutilizado en este caso para un ladrillo, debe derretirse, pero no en su totalidad, sino hasta lograr una consistencia a glutinosa, porque esto le da resistencia al material. Al ser derretido completamente al quedar líquido, pierde resistencia se convierte en un material inservible.

- Jamás pueden mezclarse plásticos de distintos tipos, porque así mismo pierde resistencia o simplemente no se adhieren.
- Más económico resulta hacer esta investigación con plásticos PET puesto que es fácil de encontrar, económico y más saludable.
- El plástico PET tiene un valor de hasta \$ 0.60 ctvs. por kilo en el medio.
- En cambio, el PVT, PTT y similares tienen un valor de \$2.00 o más por kilo.
- Se recomienda derretir el plástico en un lugar cerrado donde no ingrese corrientes de aire, porque esto afecta al plástico lo endurece antes de que se vierta en los moldes o también crea burbujas de aire en el interior creando porosidad lo que debilita al material.
- Los moldes deben tener aceite antes de verter el plástico derretido para poder desoldarlos y no se pegue el plástico al molde.
- Ventaja: posee una alta resistencia ante medios alcalinos.
- Desventaja: Baja resistencia al Fuego.

FIGURA 4.1: Entrevista al Ing. José Álvarez, Propietario de la Fábrica de Accesorios Plásticos, Fabrica Álvarez, Fuente: Autor

4.2. Anexo 2



LABORATORIO DE SUELOS

Fwy. Machaguay Av. Loja (Urb. Antonio Borrero V. lote 29)
 Telfs.: 2395-371 0999773004 (PUNIC/PAUL Cuenca)
 Av. Oriente y 3 de Noviembre (Sector San Francisco)
 Telfs.: 2247-645 0985713834 (SUCUR/SAL/ Azuay)

Ing. Ivan Riquetti V.
 M.Sc. Geotecnia
 Oklahoma State University
 Ing. Juan Pablo Riquetti M.
 M.Sc. Geotecnia y Geomecanica
 Universidad de Cuenca

FIGURA 4.2: Resistencia a la Compresión del ladrillo, Fuente: Laboratorio de Suelos

4.3. Anexo 3



FIGURA 4.3: PET deteriorado a mayor tiempo de derretimiento, Fuente: Autor

Referencias

- Angumba Aguilar, P. J. (2016). Ladrillos elaborados con plásticos reciclado (PET), para mampostería no portante. *El Escorial*, 80.
- Arandes, J. M., Bilbao, J., y López Valerio, D. (2014). Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. Descargado de <http://files.juventudargentinasolidaria.webnode.com.ar/200000182-a7dd5a8d64/RECICLADO%20DE%20RESIDUOS%20PL%C3%81STICOSpdf.pdf>
- Chalchy García, A. (2008). *Estudio para la fabricación de tabiques de plástico* (Tesis Doctoral, ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA UNIDAD PROFESIONAL AZCAPOTZALCO). Descargado de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/427/ESTUDIOPARALAAB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cruz Perea, R. (2018). *¿Cómo hacer ladrillo con plástico fundido?* Radio Arquitectura / Conducta Urbana. Descargado de <https://www.youtube.com/UC07xtw9zj2mVY9VrGXapdT>
- Echeverri, F. M. (2016). *Conceptos Plásticos LEGO*. YouTube. Descargado de <https://www.youtube.com/watch?v=SR2N-USfFzE>
- Ekojunto. (2018). *Descripción del sistema constructivo en plástico reciclado - Ekojunto de Costa Rica*. Youtube. Descargado de <https://www.youtube.com/watch?v=t4HR0bLBbkg>
- Estévez, R. (2013). *La contaminación del plástico no entiende de fronteras*. Descargado 2018-11-13, de <https://www.ecointeligencia.com/2013/09/contaminacion-plastico-fronteras/>
- Gaggino, R., Arguello, R., y Berretta, H. (s.f.). *APLICACIÓN DE MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO EN ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS A BASE DE CEMENTO* (Inf. Téc.). Descargado de http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2007/2007_artigo_026.pdf
- García, S. (2009). Referencias Históricas Y Evolución De Los Plásticos. *Rev. Iberoam. Polímeros*.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., y Law, K. L. (2017, jul). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.*, 3(7), e1700782. Descargado de <http://advances.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/sciadv.1700782> doi: 10.1126/sciadv.1700782
- Gilbert, A. (2001). La vivienda en América Latina. *Doc. Trab. Proy. CONJUNTO INDES - COMUNIDAD Eur.*
- González, C. (s.f.). *ECO-LADRILLOS CON BOTELLAS DE PLÁSTICO DESCARTABLES — Construir TV*. Descargado de <http://construirtv.com/eco-ladrillos-con-botellas-de-plastico-descartables/>
- GreenPeace. (2016). *Plásticos en los océanos Datos, comparativas e impactos* (Inf. Téc.). Descargado de https://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/2016/report/plasticos/plasticos_en_los_oceanos_LR.pdf
- JQ. (2016). *PET - Datos Técnicos*. Descargado 2018-11-20, de <http://www.jq.com.ar/imagenes/productos/pet/dtecnicos/dtecnicos.htm>
- Lucario, S. (2017, nov). *En Argentina han hecho realidad la fabricación de ladrillos con PET para construir casas*. Descargado de <https://www.huffingtonpost.com.mx/>

- 2017/11/16/en-argentina-han-hecho-realidad-la-fabricacion-de-ladrillos-con-pet-para-construir-casas_a_23280210/
- Magarinos, O. E., y Alderete, C. E. (1998). Estudio de morteros que contienen escamas de plástico procedente de residuos post-industriales Study. , 48(c), 33–52.
- Méndez Prieto, A. (2017). *Parámetros clave a considerar durante el procesamiento del PET : Plastics Technology México*. Descargado 2019-01-25, de <https://www.pt-mexico.com/art{\unhbox\voidb{x\bgroup\let\unhbox\voidb{x\setbox\tempboxa\hbox{\OT1\i\global\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\accent19\OT1\i\egroup\spacefactor\accent@spacefactor\futurelet\@let@token\penalty\@M\hskip\z@skip}culos/parmetros-clave-a-considerar-durante-el-procesamiento-del-pet>
- Ojeda, M. (2011). *PROCESO DE RECICLAJE DEL PET — Tecnología de los Plásticos*. Descargado 2018-11-20, de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet.html>
- Radio Rocas CR. (2018). *Entrevista al Ing. Francisco Rodriguez Bejarano*. Descargado de <https://www.facebook.com/149886322366866/videos/210169176338580/UzpfSTE1NjA4Nzg3ODA3NjAwMzo2NTI3NDE3MTgOMTA2MTQ/>
- Ramírez Zarzosa, A. (1991). *La construcción sostenible* (n.º 13). Colegio Oficial de Físicos. Descargado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=307453>
- Rojas, K. (2015). *La contaminación por plástico*. Descargado 2018-11-20, de <https://www.elfinancierocr.com/tecnologia/la-contaminacion-por-plastico/YTJWOX50ENA6ZAIQ3GOK6UTKJM/story/>
- Valle Mayorga, C. A. (2013). *UTILIZACIÓN DE BOTELLAS PLÁSTICAS TIPO PET COMO UNIDAD ESTRUCTURAL PARA MAMPOSTERÍA LIVIANA* (PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE: INGENIERO EN BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD.
- Zambrano, R. (2018, oct). *¿Cómo se recicla una botella de plástico PET en Ecuador?* Descargado de <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/10/07/nota/6986588/como-se-recicla-botella-plastico-pet-ecuador>



PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL

Yo, **Rosa Nathaly Flores Ramírez** portadora de la cédula de ciudadanía N° 0705863025. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“LADRILLOS DE PLÁSTICO RECICLADO PARA MAMPOSTERÍA NO PORTANTE”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 28 de enero de 2019

F: 