

NUEVO MATERIAL SUSTENTABLE: LADRILLOS ECOLÓGICOS A BASE DE RESIDUOS INORGÁNICOS

NEW SUSTAINABLE MATERIAL: ECOLOGICAL BRICKS BLOCKS MADE OF INORGANIC WASTE

Mireya Gareca *¹, Marcial Andrade¹, Diana Pool¹, Fara Barrón² y Hugo Villarpando³

Universidad de San Francisco Xavier de Chuquisaca

Facultad de Arquitectura y Ciencias del Hábitat –Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Diseño de Interiores – Carrera de Recursos Naturales

Recibido mayo, 20, 2020; Aceptado junio 22, 2020

RESUMEN

Antecedentes: Investigaciones acerca del tema confirman la contaminación ambiental debido a la presencia de residuos inorgánicos como los plásticos en sus diferentes tipos.

Objetivo: Determinar las características físicas y mecánicas de ladrillos ecológicos mediante técnicas que permitan identificar el proceso adecuado para producir un ladrillo de óptima calidad a través de una selección de residuos inorgánicos que permita contribuir a la disminución de la contaminación de la ciudad de Sucre y se convierta en una nueva alternativa como material constructivo.

Material y métodos: Se utilizó un enfoque cuantitativo, mediante el método experimental y método de la modelación,

con técnicas de: bloques al azar, medición y registro de información. La muestra es de tipo aleatorio simple con 78 probetas, con tres tipos diferentes de dosificaciones para cada material: poliestireno (PS), polietileno de baja densidad (PEBD), polipropileno (PP) y tereftalato de polietileno (PET).

Resultados: Se determinó que las características de los ladrillos ecológicos, responden a las propiedades físicas y mecánicas que se establecen en la norma colombiana, peruana y chilena. También se confirmó el impacto positivo al medio ambiente, mediante el reciclaje de plástico, lo cual disminuye el porcentaje de absorción de agua en un 22.6 % en relación al ladrillo común, pero no así el peso, el cual se incrementa.

Conclusiones: De manera categórica, se pueden indicar que es posible la elaboración

de ladrillos ecológicos para ser usados en la construcción sin afectar la calidad y que son capaces de competir con los ladrillos tradicionales de arcilla.

PALABRAS CLAVE

Ladrillo ecológico, arquitectura sustentable, medio ambiente, poliestireno medio ambiente, poliestireno (PS), polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP) y tereftalato de polietileno (PET).

ABSTRACT

Background: Researches on the subject confirm environmental pollution due to the presence of inorganic waste such as plastics in their different types.

Objective: To determine the physical and mechanical characteristics of ecological brick blocks by means of techniques that allow to identify the appropriate process for producing an optimum quality brick block through an inorganic waste in terms of contributing to pollution reduction in the city of Sucre and becoming a new alternative as a construction material.

Material and methods: This research is

based on a quantitative approach, through the experimental method and the modeling method, with techniques of: random blocks, measurement and information recording. Sampling is a simple random type with 78 test tubes, with three different sort of dosages for each material: polystyrene (PS), low-density polyethylene (LDPE), polypropylene (PP) and polyethylene terephthalate (PET).

Results: It was determined that the ecological brick blocks characteristics respond to the physical and mechanical properties that are established in the Colombian, Peruvian and Chilean norm, it was also confirmed the positive impact on the environment through plastic recycling, which decreases the water absorption percentage by 22.6% in relation to the common brick, but not the weight, which increases.

Conclusions: Categorically, it is possible to make ecological bricks to be used in construction, without affecting quality therefore, they may compete with traditional clay bricks.

KEYWORDS

Ecological brick, sustainable construction, environment, polystyrene (PS), low density polyethylene (LDPE), polypropylene (PP) and polyethylene terephthalate (PET).

1. INTRODUCCIÓN

Los fenómenos generados por el cambio climático son una realidad, el planeta sigue experimentando las consecuencias ocasionadas por los seres humanos como: olas de calor, huracanes, inundaciones, deshielo, escases de lluvia, cambio de estaciones entre otros.

Con el inicio de la revolución industrial se propició el uso de los productos de plástico, lo que ha contribuido a un creciente consumo de este material, en consecuencia, una mayor contaminación del medio ambiente. Estos efectos provocados por el mismo ser humano, deben ser solucionados mediante la búsqueda de nuevas alternativas de reciclaje de estos materiales, así como el planteamiento de políticas que limiten su uso, por tanto, se debe repensar en nuevas opciones constructivas que aprovechen estos recursos (Dobón, 2019). Los expertos consideran que casi todos los objetos que nos rodean pueden ser reciclados o reutilizados. Una de las principales ventajas del reciclaje,

es evitar el deterioro del planeta, principalmente la destrucción de bosques y el deterioro de la capa de ozono.

Cada día en Bolivia se utiliza 4102 millones de bolsas plásticas al año, que luego de ser utilizadas son desechadas de forma inmediata, aspecto que daña el medio ambiente mediante la contaminación de lagos, estancamiento de drenajes, afectando a la vida silvestre por ingesta de estos residuos entre otros. Lamentablemente, el plástico demora entre 200 y 400 años en degradarse, aspecto que todavía no es tomado en cuenta en nuestro medio, debido a la falta de políticas que mejoren los procesos de reciclaje de este tipo de residuos inorgánicos.

Una práctica común en las ciudades, es depositar los residuos sólidos tanto orgánicos como inorgánicos a cielo abierto, lo cual genera problemas ambientales, especialmente para los habitantes más cercanos (Choque Barrera, 2016). De acuerdo a la Ley N° 1333 del Medio Ambiente en Bolivia, en su Artículo 19, Número 4, se establece como objetivo de control ambiental el normar y orientar las actividades del Estado y de la Sociedad a la protección del Medio

Ambiente y al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales con el objeto de garantizar los recursos para el presente y para las futuras generaciones.

En relación a este punto, las nuevas leyes aplicadas en algunos departamentos como La Paz, han lanzado la prohibición del uso de las bolsas plásticas (Asamblea legislativa plurinacional de Bolivia Cámara de Diputados, 2019), con una consiguiente disminución en su uso. Sin embargo, esto no garantiza que se elimine por completo el uso de las mismas, tomando en cuenta que diversos productos vienen en empaques plásticos entre ellos: bolsas de leche líquida y similares, galletas, pan, ropa y otros. Actualmente, no se aplican planes para la recolección de estos materiales, especialmente el de bolsas plásticas, a diferencia de las botellas PET (Columba, 2019).

A nivel nacional, los departamentos que generan una mayor cantidad de residuos sólidos son Santa Cruz, La Paz, Cochabamba, Tarija, Chuquisaca y Potosí principalmente. En relación al tipo de residuos, para el 2011 la composición media de estos residuos se componía de material

orgánico con un 55.2 %, plásticos 10.2 %, papel y cartón 6.5 %, vidrios 2.9%, metales 2.5 % y otros con 22.7 % (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2011). Razón por la cual se encuentra en vigencia el Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos –RGRS (1996) que tiene por objeto establecer el régimen jurídico para la ordenación y vigilancia de la gestión de los residuos sólidos, que fomenta el aprovechamiento de los mismos mediante una adecuada recuperación de los recursos, cuya aplicación es de carácter nacional (Arana, 2018).

Según Elske Krikhaar, directora de Greenpeace International, las bolsas biodegradables que existen en el mercado de Bolivia, sólo se fragmentan más fácilmente que las bolsas normales, pero no se biodegradan tal como se supone que debiera suceder. Así mismo la Liga de Defensa del Medio Ambiente (LIDEMA), indicó que el mayor consumidor a nivel nacional es Santa Cruz con un 40 %. Además, este departamento genera 570.000 toneladas de basura al año, esto significa el 35 % de lo que produce Bolivia entera, el 77 % de esa basura proviene de los domicilios y el 23 %, de los restaurantes, de los comercios (Arana, 2018).

A nivel local, la cantidad de residuos que recoge la Empresa Municipal de Aseo de Sucre (EMAS) es de 200 toneladas día, la mayor parte de ella termina desintegrándose en botaderos al aire libre y en varios de tipo clandestino, así como en zonas periféricas no consolidadas. Sin embargo, un escaso porcentaje de estos desechos de tipo orgánico, son recuperados para la elaboración de abono que produce la Planta de Compostaje de Sucre.

No obstante, el problema más evidente es la inadecuada aplicación de separación de la basura, por falta de industrias que se ocupen del reciclaje y de una nueva producción en base a este material (Martínez, 2018).

Según un estudio que realizó EMAS, cada ciudadano genera un promedio por día de 600 gramos de basura, de lo cual el 60 % corresponde a basura orgánica, el 10 % a basura de posible reciclaje y el 30 % a basura no reciclable que debe ser depositada en un botadero. (Guevara, 2016). Según Cliver Pérez, el 61 % de los residuos que se generan son orgánicos y el 9 % pueden ser reciclables, según un estudio realizado el año 2016 (Correo del Sur, 2019).

En relación al área de la construcción, actualmente el material más utilizado en muros es el ladrillo gambote de arcilla, sin embargo, este utiliza procesos de elaboración que contaminan la atmósfera, razón por la cual la elaboración de ladrillos artesanales son considerados dañinos para el medio ambiente, los combustibles que se utilizan para la cocción de estos productos como: leña, llantas, madera, plásticos o textiles, entre otros, al ser quemados, emiten una gran cantidad de gases a la atmósfera, como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre y partículas sólidas (Gutiérrez, 2014). Los gases que se generan en la fabricación son causantes de problemas de salud y contaminación ambiental, como: lluvia ácida, gases inflamables, calentamiento de la biosfera y humos tóxicos que afectan al ser humano (Martínez & Cote, 2014; Gaggino, Sulaiman, Kreiker, Peisino, & González).

Sin embargo, la industria del cemento también presenta un impacto ambiental negativo para el ambiente y la salud, debido a que el proceso que utiliza elimina gases de combustión que contienen monóxido (CO) y dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos,

aldehídos, cetonas, y óxidos de azufre y nitrógeno), especialmente el polvo, sílice libre, constituye un riesgo importante para la salud de los empleados cuya exposición provoca la silicosis. Razón por la cual, actualmente los activistas proponen el uso del hormigón verde, cuyo objetivo es reducir la cantidad de cemento en la mezcla y además sustituir un porcentaje del cemento por otro tipo de materiales como: cenizas volantes, escoria y humo de sílice (Cagiao , y otros, 2010).

El reciclaje

Reciclar consiste en un proceso mediante el cual los materiales que culminan su primera función son desechados y nuevamente reutilizados con una nueva función, de manera que un producto podrá ser utilizado varias veces de acuerdo a sus propiedades.

El reciclaje permite: (Alarcón, 2013)

- Conservación y ahorro de recursos naturales.
- Disminución del volumen de residuos que hay que eliminar.
- Protección del medio ambiente.
- Alargar la vida de los materiales con diferentes usos.

- Elevar la calidad de vida.

A nivel nacional, sólo el 4.6 % se aprovecha de manera formal e informal, de los cuales el 0.91 % corresponde al aprovechamiento de residuos orgánicos y el 3.7 % a residuos inorgánicos reciclables. Del total de residuos orgánicos, se aprovecha el 1.6 % y de inorgánicos reciclables el 16.6 %. Se estima que, en Bolivia, existen más de 10 mil personas, que trabajan de forma permanente en la recolección informal de residuos (Ministerio de Medio Ambiente y Agua-Bolivia, 2011).

En Sucre, existen alrededor de 100 recolectores que trabajan a medio y tiempo completo, entre los residuos más recolectados, se encuentran los metales no ferrosos, como el aluminio y cobre, seguido por las botellas PET. Del total de los residuos, un 48.5 % son residuos inorgánicos, plásticos 5 %, papel y cartón 4.5 %, metales 1,6%, vidrios 1.6 % y otros 38.8 % (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2011).

Es de gran importancia, por lo tanto, generar un producto, que tenga una mayor vida útil y que no se convierta en basura tan

rápidamente, como es el caso de las bolsas y empaques de plástico. Por esta razón, se considera que esta investigación es de un gran aporte al medio ambiente y a la economía local.

Normativas de calidad para el ladrillo y bloques para muros

En Bolivia no existe una norma de calidad para ladrillos y bloques, razón por la cual se detalla algunas características de la Norma Técnica Peruana NTP 331.017 (Ministerio de Vivienda, 2006), Norma Chilena 169 (COPANT, 2001) y la Norma Técnica Colombiana NTC 4017 (ICONTEC, 2009), como referentes para la investigación:

Tabla 1. Norma Técnica Peruana NTP 331.017: Propiedades físicas de las unidades de mampostería.

Tipo	Resistencia a la compresión (mínimo Kg/cm ²)	Densidad (mínimo en g/cm ³)	Absorción en (máx. en %)
I	60	1,50	Sin límite
II	70	1,55	Sin límite
III	95	1,60	25
IV	130	1,65	22
V	180	1,70	22
Bloque portante	50	.	12
Bloque no portante	20	.	15

Nota: El ensayo de absorción máxima sólo es exigible cuando el ladrillo estará en contacto directo con lluvia intensa, terreno o agua.

Se puede observar en la tabla 2, que la Norma Técnica Colombiana NTC 4017 y 4076, y la Norma Chilena 169, son similares en las características del ladrillo

cerámico denominado macizo para la norma chilena y estructural para la norma colombiana y estructural para la norma colombiana.

Tabla 2. Propiedades físicas de las unidades de mampostería para ladrillos cerámicos y de concreto.

Tipo	Resistencia a la compresión (mínimo en Kg/cm ²)	Absorción (máx. en %) Interior	Absorción (máx. en %) Exterior
Ladrillo macizo estructural	150	16	14
Ladrillo macizo no estructural	100	14	20
Ladrillo de concreto	50	12	12

La presente investigación, tuvo por objetivo realizar ladrillos ecológicos, mediante técnicas que permitan identificar el proceso adecuado para producir un ladrillo de óptima calidad a través de una selección de residuos inorgánicos, que permita contribuir a la disminución de la contaminación de la ciudad de Sucre, y se convierta en una nueva alternativa como material constructivo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se trabajó bajo el paradigma positivista, con un enfoque cuantitativo, el alcance es de tipo descriptivo y explicativo. Los métodos utilizados fueron de tipo experimental, documental y de observación. La técnica utilizada fue de bloques al azar, con cinco repeticiones por cada dosificación, lo que sirvió de base para identificar el material con mejores características constructivas y validar

la propuesta. El ensayo fue de tipo bifactorial (4x3) para cada material, con arreglo combinatorio en el diseño. Las variables utilizadas fueron:

- **Variable independiente:** Poliestireno (PS), polietileno de baja densidad (PEBD), polipropileno (PP) y tereftalato de polietileno (PET).
- **Variable dependiente:** Dosificaciones A, B y C.

Características del trabajo experimental:

Número de materiales plásticos utilizados	4
Número de dosificaciones (diferenciadas para cada material)	3
Número de repeticiones	5
Número de probetas de ladrillo de arcilla para comparación	13
Número de probetas de mortero de cemento común	5
Número total de unidades experimentales	78

Los instrumentos utilizados fueron:



(a)

(b)

(c)

Figura 1. Instrumentos utilizados para determinar las características de los ladrillos ecológicos: (a) máquina universal de ensayo, (b) molde 5x5x5 cm y (c) horno de secado.

Características de los materiales:

a) Cemento

El agregado de cemento mejora las condiciones de los ladrillos, dándole características de estabilidad y resistencia, el cemento que se empleó fue el Portland IP30 (FANCESA).

Clasificación:

- Norma boliviana NB 011
- Se clasifica por su composición y resistencia como cemento portland con puzolana tipo IP- □30, con categoría resistente mínima de 30 MPa a 28 días en mortero normalizado. □

Características:

- Elevadas resistencias mecánicas
- Menor calor de hidratación
- Mayor impermeabilidad en hormigones y morteros
- Mayor resistencia a ataques químicos y sulfatos
- Menor fisuración y retracción térmica
- Excelente trabajabilidad
- Mayor durabilidad
- Menor reacción expansiva álcali/agregado

Campo de aplicación recomendado:

- Hormigones estructurales en general de viviendas y edificios
- Prefabricados de mortero

- Pavimentos rígidos
- Hormigones y morteros para ambientes agresivos y que requiera impermeabilidad.

b) Arena

La arena que se empleó, fue arena lavada cernida, libre de residuos orgánicos o presencia de limo. Definiéndose como agregado fino a emplear en morteros y hormigones, la fracción de agregado mineral del cual pasa por el tamiz N° 4 ASTM, un mínimo del noventa por ciento (90%), en peso, según los resultados obtenidos se obtuvo un 3 % de material fino que pasa el tamiz N°200, que se encuentra dentro de los parámetros establecidos, también se observó que el porcentaje de tamiz N°4 es del 98 % que cumple lo anteriormente mencionado. El contenido de agregado fino utilizado está compuesto por granos de tamaño 0,074 a 4,76 mm.

Plasticidad:

De acuerdo a los resultados el equivalente de arena no es inferior a ochenta (80).

Granulometría:

El agregado fino para el mortero de cemento satisface los requisitos de AASHO M6, y no contiene sustancias perjudiciales que

excedan los siguientes porcentajes en peso: Terrones de arcilla 1 %, Carbón de piedra y lignito 1 %, Pasante un tamiz N° 200 al 3 %.

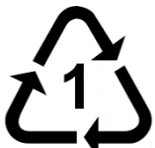

c) Agua

El agua que se añadió a la mezcla responde a las características necesarias para su utilización como mortero, limpia y sin residuos o materiales orgánicos. Entre otras características establece que el agua debe satisfacer la Norma Boliviana N° 498-86 y N° 496-86, y el Código Boliviano de Hormigón Armado (CBH-87), tanto para el amasado como para el curado de morteros y hormigones. La temperatura del agua para la preparación del mortero será superior a los 5°C, deberán rechazarse aquellas que posean las siguientes características:

- Acidez (PH) superior a (8) (Para la determinación del PH, podrá utilizarse papel indicador universal del PH, con la correspondiente escala de colores de referencia).
- Sustancias solubles en cantidad superior a treinta y cinco gramos por litro (35 gr/l).
- Contenido de sulfatos, expresados en SO₃, superior a 3 décimas de gramo por litro (0,3 gr/l).
- Glúcidos (azúcares o carbohidratos), ni siquiera en cantidades mínimas.

d) **Material reciclable**

Tabla 3. Características de materiales inorgánicos plásticos utilizados en los ladrillos ecológicos.

Residuos inorgánicos	Características	Usos
Polietileno tereftalato (PET) 	<ul style="list-style-type: none"> – Fórmula: (C₁₀H₈O₄)_n – Punto de fusión: 260 °C – Densidad: 1.38 g/cm³ – 55–75 MPa – Límite elástico: 50–150% – Prueba de impacto: 3,6 kJ/m² – Prueba de fractura y ruptura: 14.89 N/m² – Temperatura de transición vítrea: 75 °C – Punto de fusión: 260 °C – Conductividad térmica: 0,24 W/(m·K) – Calor específico (c) 1,0 kJ/(kg·K) – Absorción de agua (ASTM): 0,16 – Índice de refracción: 1,5750 	Es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles.
Polietileno de baja densidad (PEBD) 	<ul style="list-style-type: none"> – Buena resistencia térmica y química. – Puede soportar temperaturas de 80 °C de forma continua y 95 °C durante un corto período de tiempo. – Buena resistencia al impacto – Es más flexible que el polietileno de alta densidad. – Presenta dificultades para imprimir, pintar o pegar sobre él. 	El LDPE se encuentra en bolsas de supermercado, de pan, plástico para envolver. El LDPE puede ser reciclado como bolsas de supermercado nuevamente.

- Densidad en el entorno de 0.910 - 0.940 g/cm³

Polipropileno
(PP)



- Fórmula química $-(C_3H_6)_n$
- Densidad amorfa: 0,85 g/cm³
- Densidad semicristalino: 0,95 g/cm³
- Temperatura de fusión: 173 °C
- Temperatura de degradación: 287 °C.
- Absorción de Agua - Equilibrio (%) 0,03
- Combustible
- Alargamiento a la Rotura (%): 150-300. para bopp >50
- Módulo de Tracción (GPa): 0,9-1,5. para bopp 2,2-4,2
- Resist. a la Abrasión ASTM D1044: 13-16
- Resistencia a la Tracción (MPa): 25-40. para bopp 130-300

El PP se utiliza en la mayoría de recipientes para yogurt, sorbetes, tapas de botella, etc. El PP tras el reciclado se utiliza como viguetas de plástico, peldaños para registros de drenaje, cajas de baterías para autos.

Poliestireno
(PS)



- Su cualidad más destacada es su higiene al no constituir sustrato nutritivo para microorganismos. Es decir, no se pudre, no se enmohece ni se descompone.
- Se degrada en unos 500 años enterrados, y 50 años expuestos a la intemperie.
- Los procesos de producción de este producto liberar clorofluorocarbonos (CFC) a la atmósfera.

Es un material plástico espumado, derivado del poliestireno. El PS se encuentra en tazas desechables de bebidas calientes y bandejas de carne. El PS puede reciclarse en viguetas de plástico, cajas de

- Ligero cintas para casetes y macetas.
- Resistencia a la humedad
- Capacidad de absorción de los impactos.
- Aislante térmico en edificación.
- Conductividad térmica oscilan entre 0,041 y 0,029 W/mK,

Procedimiento

Se sometió las probetas de 5X5X5 cm a diferentes pruebas de laboratorio: porosidad, densidad, compresión, humedad, flexión y absorción.

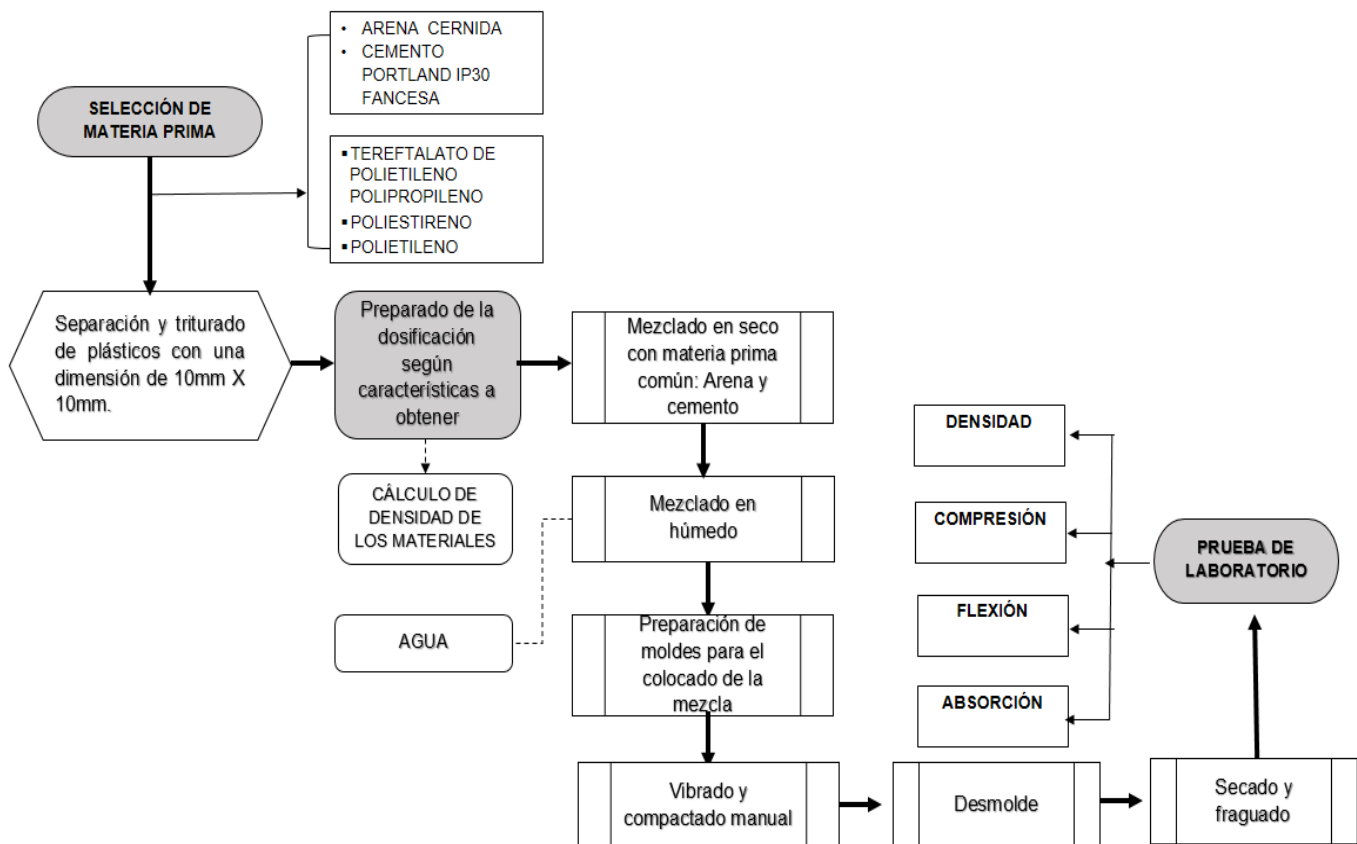


Figura 2. Proceso de elaboración del ladrillo ecológico.

Selección de la materia prima: Se realizó la selección tomando en cuenta las condiciones de calidad para el mortero. En el caso de los materiales reciclables, se los seleccionó tomando en cuenta la mayor cantidad de estos materiales como desecho, en base a lo cual se seleccionó: tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y polietileno de baja densidad (PEBD).

Separación y triturado: Se separaron los materiales inorgánicos de acuerdo al tipo de plástico al que correspondía. El porcentaje de plástico empleado en la dosificación se realizó en sustitución al total del porcentaje de arena. Debido a la falta de una máquina trituradora para este tipo de material, este se realizó de forma manual, tomando como referencia una dimensión máxima de 1cm X 1cm para cada uno de los materiales.

Preparado de la dosificación: Las dosificaciones para los diferentes ladrillos variaron de acuerdo a pruebas previas de trabajabilidad, puesto que las densidades de cada material no son similares, por tanto, el material inorgánico que reemplazó en un porcentaje a la arena, difieren para cada ladrillo ecológico propuesto.

a) Dosificación de mortero de cemento Rc = 100kg/cm²

Cemento	185 kgr/cm ³ H°
Arena	2019,7 kgr/cm ³ H°
Agua	157,25 Lt/ m ³ H°

b) Dosificación de Mortero de cemento + Mat. Inorgánico

La dosificación varió de acuerdo al peso específico de cada material, para lo cual se determinó primero la densidad de cada uno de los tipos de plástico y se los comparó con la bibliografía existente.

Densidad de los plásticos:

PET	1,41 gr/cm ³
PS	0,07 gr/cm ³
PEBD	0,48 gr/cm ³
PP	0,95 gr/cm ³

Tabla 4. Porcentajes de material inorgánico a incluir por tipo de dosificación

Dosificación	PET	PS	PEBD	PP
1	2,0%	5,0%	0,5%	2,0%
2	3,5%	7,5%	1,0%	3,5%
3	5,0%	9,0%	2,0%	5,0%

Tabla 5. Peso por material y tipo de dosificación por m³

Cemento 185 kgr/cm³ H°

Arena 2019,7 kgr/cm³ H°

Agua 157,25 Lt/ m³ H°

ISSN VIRTUAL: 2708-0315
ISSN de Enlace (ISSN-L) Impreso: 2226-9379
Revista Ciencia, Tecnología e Innovación. Todos los derechos reservados.

Mireya Gareca, Marcial Andrade, Diana Pool, Fara Barrón y Hugo Villarando, Nuevo Material Sustentable: Ladrillos Ecológicos a Base de Residuos Inorgánicos

Material	PET (Kgr)	PS (Kgr)	PEBD (Kgr)	PP (Kgr)
Cemento	277,50	277,50	277,50	277,50
Agua (lt)	0,24	0,24	0,24	0,24
Arena (dosif 1)	3.370,10	3.266,93	3.421,68	3.370,10
Arena (dosif 2)	3.318,51	3.180,96	3.404,48	3.318,51
Arena (dosif 3)	3.266,93	3.129,37	3.370,10	3.266,93
Dosif. 1	32,99	4,09	2,81	22,22
Dosif. 2	57,72	6,14	5,61	38,89
Dosif. 3	82,46	7,37	11,23	55,56

Mezclado en seco: El mezclado de los materiales se realizó en seco hasta obtener una mezcla de color uniforme, para luego agregar el agua. Se tuvo cuidado de que el plástico estuviera libre de residuos orgánicos que afectaran el comportamiento de la mezcla.

Mezclado en húmedo: Se agregó el agua, según las especificaciones requeridas para su uso en el mortero de cemento y de acuerdo al cálculo realizado para cada una de las dosificaciones. Por otro lado, se observó el grado de plasticidad de la mezcla a simple vista para su posterior vaciado a los moldes.

Preparación de moldes: La preparación de moldes se realizó tomando dos consideraciones: molde para probetas de 5x5x5 cm y molde para ladrillos de mortero de

cemento 25x12x5 cm, realizados en fibropanel de densidad media (MDF).

Vibrado y compactado manual: Se aplicó la técnica de moldeo manual, se comprimió el mortero con tacos de madera por capas de 2 cm aproximadamente.

Desmolde: Se realizó a las 24 horas del vaciado.

Secado y fraguado: Se realizó el curado de las probetas después del primer día de vaciado.

Pruebas de laboratorio:

Las pruebas de laboratorio se realizaron con 5 muestras de cada material y tipo de dosificación, de las cuales se determinó: compresión, flexión, absorción y densidad, en comparación con el ladrillo común de primera, segunda calidad y el mortero común.

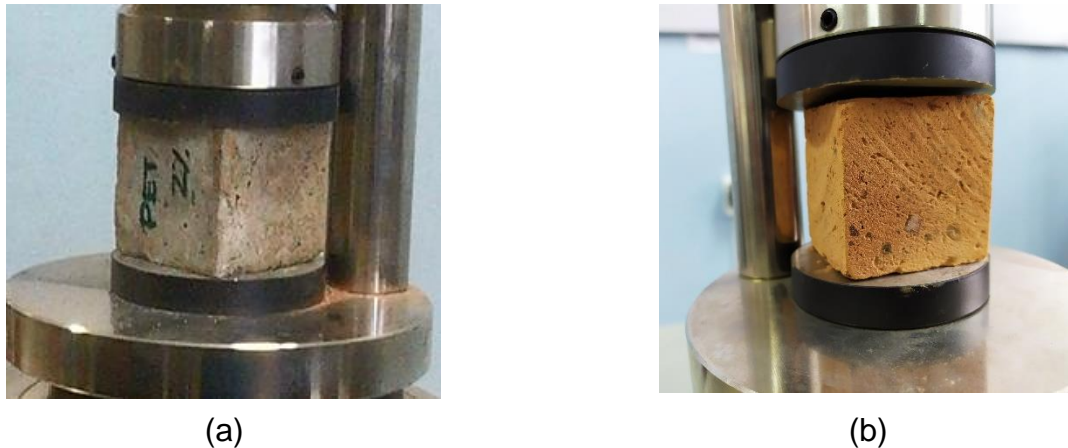


Figura 3. (a) Prueba a la compresión de las probetas para ladrillos ecológicos de mortero, (b) Prueba a la compresión de las probetas de ladrillo de arcilla común.

RESULTADOS

Densidad: La prueba a la densidad es importante para garantizar la homogeneidad de las partículas de una mezcla, porque puede afectar las características físicas y mecánicas. También es importante destacar que la densidad afecta el peso de los ladrillos, razón por la cual es importante comparar los materiales para determinar las dosificaciones

y los materiales con menor densidad, pero que a su vez mantengan características mecánicas adecuadas para la construcción.

A continuación, se ilustra los resultados obtenidos en la prueba de densidad para los cuatro tipos de ladrillos, con los ladrillos y el mortero común de comparación.

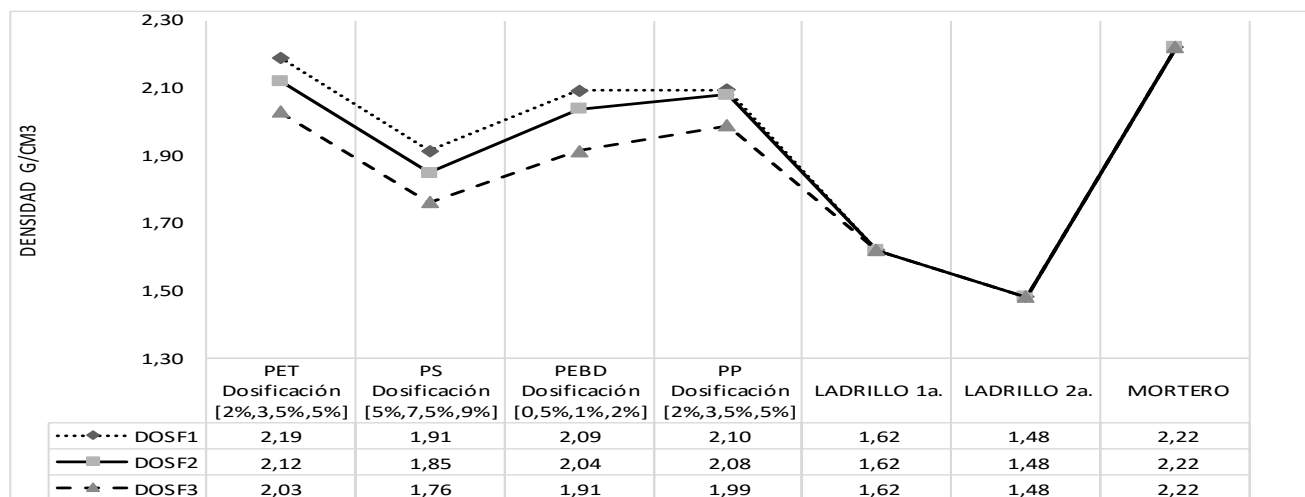


Figura 4. Densidad de los ladrillos ecológicos, comparados con el ladrillo de arcilla común y mortero.

Resistencia a la compresión: La resistencia a la compresión a la que se intentó llegar fue a la de 100 Kg/cm² como parámetro, con el objetivo de evitar fisuras en los muros. De manera general, se observa que a mayor

porcentaje de material reciclado la resistencia a la compresión disminuye, sin embargo, por las características de estos materiales tampoco es conveniente una mayor adición debido a su falta de adherencia.

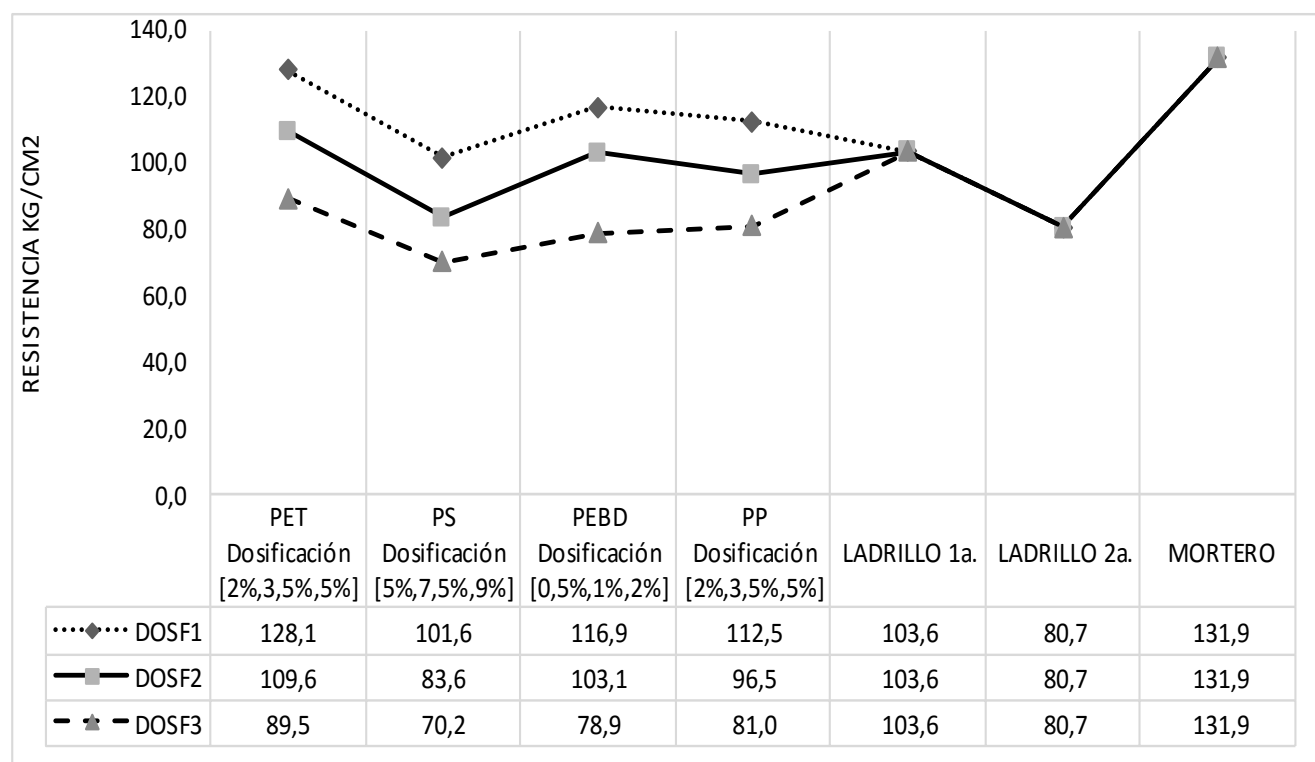


Figura 5. Resistencia a la compresión de los ladrillos ecológicos, comparados con el ladrillo de arcilla común y mortero.

Absorción: La absorción es la cantidad de agua que absorbe el material, razón por la cual es importante que esta no sea mayor al

12 % según normas internacionales, caso contrario contribuiría a elevar el peso del muro lo que produciría no sólo humedad, sino fallas en la construcción.

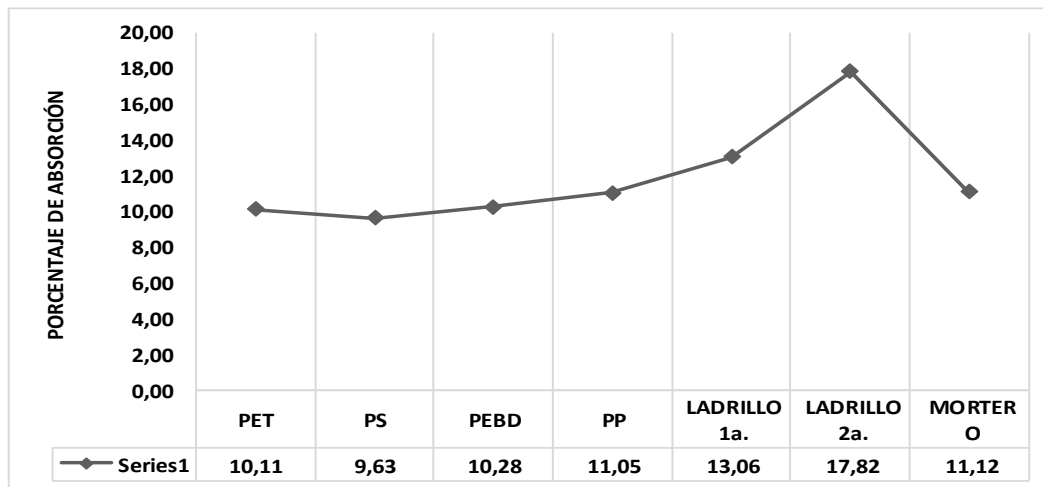


Figura 2. Porcentaje de absorción de los ladrillos ecológicos, comparados con el ladrillo de arcilla común y mortero.

Flexión: Este ensayo permitió determinar el grado de ductilidad de los ladrillos propuestos, los resultados arrojaron la siguiente información:

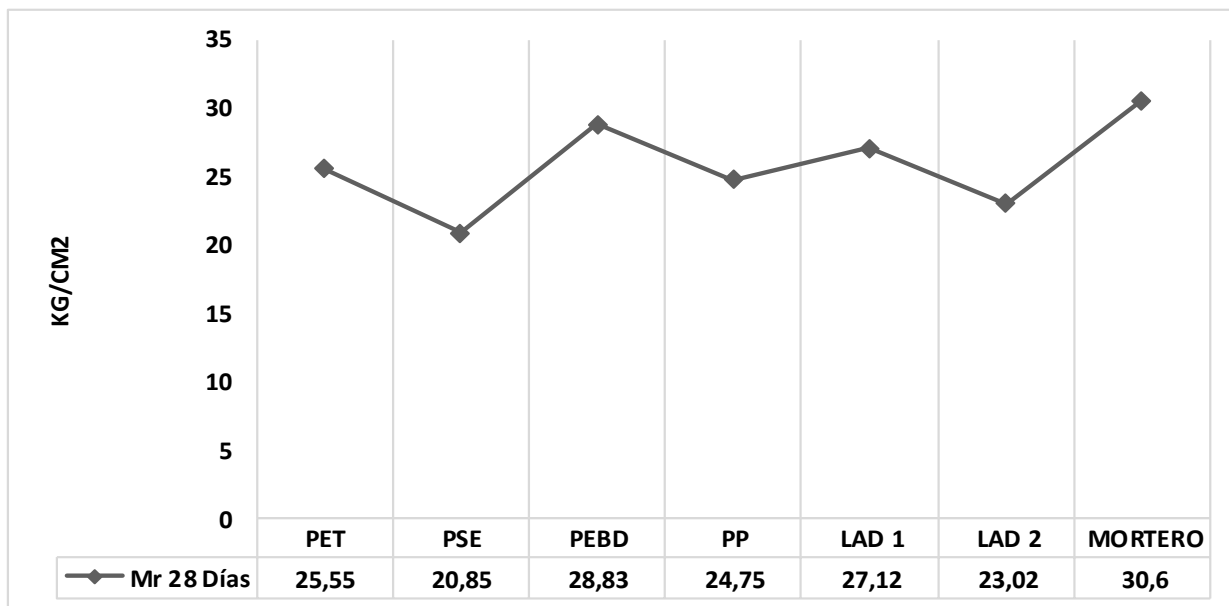


Figura 3. Resistencia a la flexión, de los ladrillos ecológicos, comparados con el ladrillo de arcilla común y mortero.

A continuación, se detalla un cuadro resumen de los ladrillos seleccionados tomando en cuenta las características básicas capaces de competir con el ladrillo de arcilla.

Tabla 6. Resultados de los ladrillos con mayor eficiencia en cuanto a características físico mecánicas para construcción, en comparación con el ladrillo de arcilla y mortero.

Características técnicas	Ladrillo de primera	Ladrillo de segunda	Bloque de mortero	Ladrillo PET 3.5% (Dos. 2)	Ladrillo PS 5% (Dos. 1)	Ladrillo PEBD 1% (Dos. 2)	Ladrillo PP 2% (Dos. 1)
Dimensión (cm)	25x12x5	25x12x5	25x12x5	25x12x5	25x12x5	25x12x5	25x12x5
Peso (g)	2430,00	2220,00	3300,00	3180,00	2865,00	3060,00	3150,00
Densidad (g/cm ³)	1,62	1,48	2,20	2,12	1,91	2,04	2,10
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	103,6	80,7	131,9	109,60	101,60	103,10	112,50
Resistencia a la flexión (kg/cm ²)	27,12	23,02	30,60	25,55	20,85	28,83	24,75
Absorción (%)	13,06	17,82	11,12	10,11	9,63	10,28	11,05

DISCUSIÓN

El crecimiento industrial está generando una sobreproducción de residuos cuya disposición representa un problema ambiental. Se observa que resulta viable el uso de residuos inorgánicos como el plástico en sus diferentes presentaciones, por cuanto se obtienen características físico mecánicas favorables para el área de la construcción.

De los resultados, se deduce que los ladrillos ecológicos responden a las características físicas y mecánicas, capaces de competir con

el ladrillo común y además contribuir con el medio ambiente, mediante el reciclaje del plástico.

Ladrillo ecológico PET

- **Densidad:** En relación al peso del ladrillo, la adición de PET en la dosificación 2, redujo su peso hasta en un 3.64 % en correspondencia al patrón del mortero de cemento. Aspecto que concuerda con Rueda (2014), quien indicó que los ladrillos con plástico reciclado son más livianos en

comparación a los de concreto normal, por lo cual recomendó su uso en muros divisorios o cerramientos no portantes. En relación al ladrillo común de primera calidad, el peso se incrementa hasta en un 23.58 %.

- **Compresión:** En cuanto a los ladrillos realizados con PET, se observó un mejor comportamiento a la compresión, llegando a obtener una resistencia de 128,10 Kg/cm² para la dosificación 1, que corresponde a un 2 % de porcentaje de PET en sustitución de la arena. Sin embargo, considerando que se pretende obtener un ladrillo de carga, la dosificación 2 para PET con un porcentaje de 3.5 % es suficiente, porque obtuvo una resistencia de 109.6 % Kg/cm², capaz de competir con el ladrillo común y para reciclar una mayor cantidad de PET, lo que equivaldría a 69,6 gramos de PET triturado.

Se observó también, que a mayor cantidad de PET la resistencia disminuye en un 30.13 %, lo que concuerda con Arrascue & Cano (2017), quienes observaron que a medida que se incrementaba la adición del polímero, se

reducía considerablemente la resistencia, es decir, la adición del PET tiene considerable éxito, pero hasta ciertos niveles de incremento de la adición. Así mismo se encontró que el PET, como parte del agregado fino en porcentajes no superiores al 5 %, permite buena resistencia a la compresión y adecuada manejabilidad. (Frigione, 2010 citado por Serrano Guzmán, Pérez Ruiz, Torrado Gómez, & Hernández, 2017, pág. 132)

A diferencia de la investigación realizada por Angumba,(2016), se observa un mayor éxito en los resultados obtenidos, cuando el proceso de elaboración de los ladrillos es realizado con maquinaria (máquina compactadora y cámaras de vapor para curado) en comparación al artesanal, lo cual afecta las características mecánicas de los ladrillos de forma positiva en relación la realizado de forma manual.

- **Absorción:** Los ladrillos de mortero tienen más resistencia al agua, esto los hace casi impermeables (Angumba, 2016). Por otro lado, también se halló que el uso de polímeros en mezclas de concreto mejora las propiedades

ignífugas (Heo et al., 2012 citado por Serrano Guzmán, Pérez Ruiz) y además favorece la resistencia a los efectos de hielo y de deshielo (Richardson, Coventry y Wilkinson, 2012, citado por Serrano Guzmán, Pérez Ruiz, 2017).

En coincidencia con Echeverría,(2017), las propiedades físicas en lo que respecta a la absorción, aumenta a medida que se adiciona el material reciclado en la mezcla, generando una mayor o menor porosidad entre los componentes, también afirmó que entre más fina sea la partícula habrá mayor adherencia. Por tanto, de la misma manera que Di Marco & León, (2017) el porcentaje de absorción en los ladrillos, cumple con lo establecido en la norma colombiana, el cual refiere que debe ser menor o igual al 12 %, para el ladrillo ecológico PET, dosificación 2, se determinó un 10,11 % de absorción.

- **Flexión:** Se debe entender que la flexión es una propiedad de un concreto que esta determinado por un módulo de ruptura y es imprescindible este valor cuando un elemento se encuentra simplemente apoyado teniendo un tramo

libre de apoyo. En el caso de los ladrillos este valor no llega a ser determinante puesto que los ladrillos no actúan de forma independiente y tampoco simplemente apoyados, sin embargo, nos puede dar una idea de la forma como está actuando el ladrillo con respecto a su porosidad y adherencia.

En el caso específico de ladrillo con PET se puede observar en los resultados obtenidos que el módulo de ruptura (M_r), es menor que un ladrillo de primera, pero mayor a un ladrillo de segunda categoría, con este resultado se puede inferir, que la adherencia de un ladrillo con un aditivo PET es menor que la adherencia entre partículas de un ladrillo de arcilla por los resultados obtenidos de M_r , pero como se indicó anteriormente, esta propiedad no determina la calidad de un ladrillo puesto que estos están sometidos principalmente a compresión en una obra civil.

Ladrillo ecológico de PS

- **Densidad:** De acuerdo a los resultados obtenidos, se encontró que el mortero en combinación con el PS dio como resultado una densidad de 1.91 gr/cm^3

para la dosificación 1, con un 5 % de PS triturado, lo que incrementa la densidad en un 17.90 % con respecto al ladrillo de primera calidad. Sin embargo, tomando como referente a un ladrillo hecho de mortero sin adición de material reciclable, la densidad disminuye en un 13.96 %.

Por otro lado, las características morfológicas del PS triturado no son óptimas porque, las partículas no permiten una adecuada trabajabilidad, debido a la densidad del material, lo que afecta a la presentación del ladrillo ecológico, así como a la mezcla en condiciones artesanales, razón por la cual se utilizó la dosificación 1, con una adición PS del 5 %. Se observa que el incremento de material PS es inversamente proporcional a la densidad, generando un mayor porcentaje de vacíos que se reflejan en la absorción.

- **Compresión:** Se verificó que con el 5 % de adición de PS triturado, dosificación 1, llegó a una resistencia característica similar al ladrillo de arcilla de primera calidad con 101,60 Kg/cm², cumpliéndose con el parámetro de

diseño del mortero. Comparativamente al ladrillo de arcilla de primera calidad disminuye su resistencia en 1,9 %. Se observa que el incremento de material PS es inversamente proporcional a la resistencia, es decir, a mayor material PS menor resistencia.

- **Absorción:** Se puede afirmar que el ladrillo ecológico PS, tiene una absorción menor no sólo en relación a los ladrillos de arcilla 9.63 %, sino también a los otros ladrillos ecológicos (PET, PEBD y PP), lo que se considera un hallazgo importante, sobre todo para su uso como material constructivo en áreas con mayor presencia de humedad.
- **Flexión:** En caso de este tipo de ladrillo con aditivo de PS se observa que el Mr es menor incluso al del ladrillo de segunda, se puede indicar que la adherencia que se tiene entre partículas es baja; si bien la absorción de este tipo de ladrillo es menor es decir que se tiene una porosidad menor en comparación a los ladrillos, esto no significa que su adherencia es mejor puesto que los resultados mostrados por esta prueba comprueban lo contrario.

Ladrillo ecológico de PEBD

- **Densidad:** Con respecto al ladrillo de primera calidad la densidad de la dosificación 2, es mayor en un 25.9 %, y menor en un 8.1 % menor al mortero sin adición de PEBD. Se observó que la adición del 1 %, es la más adecuada, debido a que el tamaño de las partículas trituradas no hace posible una mayor adición, debido a la falta de adherencia de la mezcla, razón por la cual sería aconsejable, trabajar con partículas más pequeñas que permitan disminuir la densidad, pero sin comprometer la adherencia con el cemento, para evitar una disminución de la resistencia a la compresión.
- **Compresión:** Tomando en cuenta que se trabajó con un 1 % de PEBD triturado, que corresponde a la dosificación 2, se tuvo una mejor trabajabilidad respecto al PET y al PS 103,10 kg/cm², sin embargo, se observó que la adición no puede ser mayor al 1 %, porque a mayor adición de PEBD triturado, existe una menor adherencia de los agregados, y por lo tanto una resistencia inferior a la compresión.
- **Absorción:** De acuerdo a los resultados se pudo observar que la absorción de este tipo de ladrillo es menor al del ladrillo de primera y segunda categoría e incluso al ladrillo de mortero, por lo que podemos concluir que la cantidad de vacíos es menor a estos tipos de ladrillo, pudiendo ser usados en áreas no muy húmedas.
- **Flexión:** La flexión o módulo de ruptura en este tipo de ladrillo adicionando PEBD es mayor en un 6.31 % con respecto a un ladrillo de primera, el resultado muestra que la adherencia también es mayor con este tipo de material adicionado, además que la cantidad de vacíos de acuerdo a la prueba de absorción es también menor a los ladrillos tradicionales. Este aumento del Mr puede deberse principalmente al tipo de bolsas usadas habiendo sido estas de baja densidad pudiendo acomodarse al amasado del mortero y funcionando como fibras en el mortero fraguado, proporcionándole una mayor resistencia a la flexión, además de las otras propiedades ya descritas que son bastante aceptables en comparación con los ladrillos tradicionales de arcilla.

Ladrillo ecológico de PP

- **Densidad:** Este ladrillo construido con una dosificación 1 con 2 % de material inorgánico incluido, presenta una densidad 29.6 % mayor a un ladrillo de primera categoría y 5.4 % menor a un bloque de mortero sin adición de PP. Esta dosificación en comparación con las otras dos realizadas es la más aconsejable por la trabajabilidad que se tiene al momento del mezclado de los componentes, por lo que podemos inferir que el uso de un mayor porcentaje de material inorgánico PP ayuda a reducir la densidad del ladrillo, pero es inversamente proporcional a la trabajabilidad y a la resistencia a la compresión del ladrillo.
- **Compresión:** Este ladrillo diseñado con una dosificación 1 de material inorgánico PP que corresponde al 2 %, presenta una resistencia de 112.5 Kg/cm² mayor a la resistencia de un ladrillo de arcilla de primera categoría. La trabajabilidad del mortero al momento del mezclado es aceptable con este porcentaje no habiéndose tenido problemas de falta de adherencia entre los componentes del

mortero y que se verifica en los resultados obtenidos. El uso de una mayor cantidad de material PP afecta a la resistencia a la compresión y trabajabilidad reduciendo estas dos variables.

- **Absorción:** Esta característica física de este tipo de ladrillo es la mayor en relación a los otros tipos de ladrillos estudiados, teniendo una absorción de 11.05 %, pero que aún es menor en relación a los ladrillos de arcilla y bloque de mortero con aditivo, siendo aún menor al 12% de absorción máxima exigida en la norma colombiana.
- **Flexión:** El módulo de ruptura obtenido para este ladrillo con PP, resultó menor en un 8.74 % con respecto a un ladrillo de primera calidad, es decir, que la adherencia es menor y es afectada con este tipo de material a pesar que la absorción es similar al del ladrillo de primera calidad. Se debe tomar en cuenta que los vasos desechables usados fueron de baja densidad.

Factibilidad económica

Para realizar este cálculo fue necesario

conocer el costo de los materiales reciclados utilizados. No se presenta una planilla de precio unitario porque corresponde determinar en este caso el costo unitario del ladrillo ecológico, a partir del cual las personas dedicadas al rubro de la construcción podrán utilizar como referente para elaborar su

presupuesto. En referencia a los costos específicos para determinar el precio del material, se tomó como referente los costos de Patzi,(2015), los cuales se actualizaron en base a la información brindada por los recolectores locales, al cual se incrementó el costo de triturado. A continuación, se presentan los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 3. Costo de materiales para elaboración de ladrillos ecológicos PET, por unidad

Material	Unidad	Cantidad	P.U.	P. Total (bs)
Cemento	Kg	0,278	0,900	0,250
Arena	M3	0,001	110,000	0,141
Agua	Lt	0,240	0,003	0,001
PET triturado 3,5%	Kg	0,058	6,000	0,346
Total				0,738

Tabla 4. Costo de materiales para elaboración de ladrillo ecológico PS, por unidad

Material	Unidad	Cantidad	P.U.	P. Total (bs)
Cemento	Kg	0,278	0,900	0,250
Arena	M3	0,001	110,000	0,139
Agua	Lt	0,240	0,003	0,001
PS triturado 5%	Kg	0,004	8,00	0,033
Total				0,422

Tabla 5. Costo de materiales para elaboración de ladrillo ecológico PEBD, por unidad

Material	Unidad	Cantidad	P.U.	P. Total (bs)
Cemento	Kg	0,278	0,900	0,250
Arena	M3	0,001	110,000	0,145
Agua	Lt	0,240	0,003	0,001
PEBD triturado 1,0%	Kg	0,006	8,00	0,045
Total				0,440

Tabla 6. Costo de materiales para elaboración de ladrillo ecológico PP, por unidad

Material	Unidad	Cantidad	P.U.	P. Total (bs)
Cemento	Kg	0,278	0,900	0,250
Arena	M3	0,001	110,000	0,143
Agua	Lt	0,240	0,003	0,001
PP triturado 2%	Kg	0,022	8,000	0,178
Total				0,572

Factibilidad ambiental

La relación de cada ladrillo ecológico, permite no sólo otorgar una nueva función a un material contaminante sino también mejorar las características físicas del nuevo material propuesto.

Tabla 11. Cantidad de unidades de material inorgánico reciclado por cada unidad de ladrillo ecológico de 25x12x5 cm.

Tipo de ladrillo	Tipo de plástico referencial	Cantidad de unidades de plástico reciclado por ladrillo	Total plástico reciclados por ladrillo en gramos
Ladrillo PET 3.5%	Botella PET de 2 litros - 58 gr por unidad	1,2 botellas	69,6
Ladrillo PS 5%	Bandeja con tapa PS 215x140x75cm - 12.7 gr por unidad	0,4 bandejas	5,08
Ladrillo PEBD 1%	Bolsa negra PEBD 35x65cm – 5.11 gr por unidad	1,3 bolsas	6,643
Ladrillo PP 2%	Vaso PP de 200ml - 11 gr por unidad	5,5 vasos	26,7

Aplicación: La investigación también comprobó la calidad del producto obtenido, mediante el diseño de mobiliario urbano que permita utilizar este nuevo producto ecológico, como se observa en las imágenes, se realizó una propuesta en la que se observa que el material reciclado no afecta las características estéticas del ladrillo ecológico especialmente el PET y el PP, a diferencia del PS y el PEDB. Por otro lado, este material

puede ser utilizado en zonas húmedas debido las características de impermeabilidad que presenta.

En la figura siguiente se muestra el proceso de elaboración artesanal de los ladrillos ecológicos, realizado a la intemperie y con herramientas básicas, lo que hace posible que sea replicable en el área rural y por pequeñas empresas.



(a)



(b)

Figura 8: Proceso de elaboración de 300 unidades de ladrillos ecológicos: (a) Mezcla de la dosificación para el PSDB, (b) colocación en molde con desmolde a las 24 horas.

Elaboración de prototipo de mobiliario urbano, emplazado en la Facultad de Arquitectura y Ciencias del Hábitat.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 9. Aplicación de los ladrillos ecológicos como mobiliario urbano: (a) vista 1, (b) vista 2, (c) construcción banca y (d) banca terminada.

CONCLUSIONES

Bolivia produce una gran cantidad de residuos sólidos de origen orgánico e inorgánico, del total de estos residuos los plásticos representan una fuente de

contaminación para el medio ambiente y la calidad del hábitat, por ello es importante utilizar de forma equilibrada los recursos naturales, y reutilizar lo que queda como desecho para disminuir la contaminación ambiental.

De esta manera se concluye:

- En los cuatro casos, es decir, PET, PS, PEBD y PP, es posible obtener una resistencia similar al de ladrillo de primera calidad, capaz de competir con las propiedades físico mecánicas y de costo, con un valor añadido que es el ecológico, porque parte de su composición es la presencia de material reciclado que además contribuye en mejorar el porcentaje de absorción de agua, que es menor en los cuatro casos en relación al ladrillo de arcilla de primera calidad, afirmándose por tanto que el material sólido inorgánico de tipo plástico contribuye a que los el ladrillo sea más impermeable, lo que es importante en el área de la construcción se considera su uso en muro externos, es decir, en contacto con el exterior. Por tanto, el introducir agregados de plástico reciclado a mezclas de mortero, no contribuye con las resistencias porque estas decrecen a mayor plástico reciclado, sin embargo, su porcentaje de absorción reduce los costos utilizados para aislar los muros de cerramiento, lo que contribuiría a no utilizar revoques de

cemento innecesarios especialmente en viviendas sociales.

- En correspondencia con Angumba, (2016), Echeverría, (2017) y Piñeros & Herrera, (2018), las propiedades físicas de los cuatro tipos de ladrillos ecológicos, en relación a la absorción, aumenta a medida que se adiciona el material reciclado en la mezcla, el cual varía de acuerdo al tamaño del material reciclado triturado, lo que ocasiona una mayor o menor porosidad entre los componentes, entre más fina sea la partícula habrá mayor adherencia. Por tanto, se puede observar que los ladrillos de arcilla se encuentran fuera de este rango, especialmente el ladrillo de segunda, comparativamente los ladrillos ecológicos presentan un mejor comportamiento, por lo cual se aconseja su uso en muros en contacto con el exterior.
- El uso de un menor porcentaje de material inorgánico como reemplazo a la arena, dio como resultado una elevación a la resistencia a la compresión, pero una mayor densidad al mortero de cemento lo que afectaría a la carga muerta de una

estructura, comprobándose que a mayor densidad mejores propiedades de resistencia y de perfección geométrica.

- Tomando en cuenta que el tipo de ladrillo debe ser posible fabricarlo artesanalmente, se usó solo un tamaño de partícula inorgánica siendo este de 10x10mm, a diferencia del usado en otras investigaciones similares con tamaño heterogéneo, pero con una dimensión no mayor al mencionado. Para la presente investigación, la dimensión utilizada otorgó buena trabajabilidad al mortero, por lo que se puede utilizar tamaños inferiores y de esta manera facilitar su mezclado.

RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones, el tamaño del plástico triturado debe ser uniforme, con una dimensión de las partículas no mayor a los 10mm para tener una mejor plasticidad de la mezcla.
- Por otro lado, aunque el estudio demuestra la viabilidad de uso de estos residuos en la preparación de ladrillos ecológicos para el área de la

construcción, se pueden mejorar las características físico mecánicas de los mismos, si se utilizan equipos industriales, lo que podría incrementar sus características hasta en un 30 %.

- El uso de un mayor porcentaje de plástico del tamaño indicado anteriormente, produjo un mortero con poca adherencia, mayor porosidad y poco trabajable, ocasionando un fraguado rápido, lo que produjo agrietamientos al mortero, por lo que no fueron tomados en cuenta.
- Se aconseja realizar distintas dosificaciones de los residuos inorgánicos de plástico, para conseguir distintas propiedades que deriven en diversos usos y necesidades en el área de la construcción.

AGRADECIMIENTOS

- A los estudiantes de la carrera de Diseño de Interiores de las asignaturas de Metodología de Investigación, Paisajismo I, II y III, Taller VII y Principios y tendencias de la gestión 2-2019 de la Facultad de Arquitectura y Ciencias del Hábitat, por su colaboración en la

recolección de los residuos sólidos inorgánicos y la elaboración de los ladrillos ecológicos.

Al ingeniero Miguel A. Medina B. por su colaboración en la etapa de experimentación y análisis de los resultados.

A la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, representada por la DICYT por su apoyo constante en todo el proceso de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Angumba, J. (2016). *LADRILLOS ELABORADOS CON PLÁSTICO RECICLADO (PET), PARA MAMPOSTERÍA NO PORTANTE* [Tesis de maestría]. Cuenca, Ecuador: UNIVERSIDAD DE CUENCA. Recuperado el 1 de Octubre de 2019, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25297/1/tesis.pdf>

Alarcón Sandoval, C. (2013). *Empleo de bloques con basura en la construcción como una alternativa de reciclaje*. Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, Departamento de Ingeniería Civil,

Ciudad de México. Recuperado el 20 de Octubre de 2019, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6187/tesis.pdf?sequence=1>

Alarcón, C. (2013). *EMPLEO DE BLOQUES CON BASURA EN LA CONSTRUCCIÓN COMO UNA ALTERNATIVA DE RECICLAJE* [Tesis de maestría]. MÉXICO, D. F., MÉXICO: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. Recuperado el 25 de Septiembre de 2019, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6187/tesis.pdf?sequence=1>

Angumba Aguilar , P. J. (2016). *"Ladrillos elaborados con plástico reciclado (PET), para manposteria no portante"*. Tesis , Universidad de Cuenca , Departamento de arquitectura, Cuenca. Recuperado el 20 de Octubre de 2019, de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25297/1/tesis.pdf>

Arana, G. (2018). Estudio asegura que

Mireya Gareca, Marcial Andrade, Diana Pool, Fara Barrón y Hugo Villarpando, *Nuevo Material Sustentable: Ladrillos Ecológicos a Base de Residuos Inorgánicos*

bolsas de Bolivia no son biodegradables. *El Deber*. Recuperado el 6 de Septiembre de 2019, de Estudio asegura que bolsas de Bolivia no son biodegradables

Arrascue, E., & Cano, M. (2017). *UTILIZACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS DE RECICLAJE COMO ADICIÓN EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS VIBROCOMPACTADO DE CEMENTO* [Tesis de grado]. Nuevo Chimbote, Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA - FACULTAD DE INGENIERÍA. Recuperado el 3 de Octubre de 2019, de <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2728>

Asamblea legislativa plurinacional de Bolivia Cámara de Diputados. (8 de Febrero de 2019). Proyecto de Ley 075-19. *Ley que prohíbe la utilización de bolsas plásticas sustituyéndose por bolsas ecológicas o biodegradables dentro del comercio en todo el territorio nacional*. La Paz, Bolivia. Recuperado el 5 de Octubre de 2019,

de <http://www.diputados.bo/sites/default/files/leyes/PL-075-2019.pdf>

Bigues Balcells, J. (2005). *RESPOSABILIDAD*. España: EDICIONES GPS.

Cagiao, J., Gómez, B., Doménech, J., Gutiérrez, S., Gutiérrez, H., Martínez, F., & González, M. (2010). *HUELLA ECOLÓGICA DEL CEMENTO: Cálculo de la huella ecológica de una industria cementera y propuesta de medidas de ingeniería sostenible*. Coruña, España: Laboratorio de ingeniería sostenible. Recuperado el 23 de Octubre de 2019, de http://www.lis.edu.es/uploads/640bc719_c071_46e4_86fc_8632bc5b6c0c.pdf

Choque Barrera, N. (2016). *PROHIBICIÓN DEL USO DE BOLSA DE PLÁSTICO NAILON ANTE LA CONTAMINACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE*. La Paz, Bolivia: UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS. Recuperado el Octubre de 2019, de

<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/18718/T-5048.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Columba, J. (29 de Mayo de 2019). Recuperado el 2 de Octubre de 2019, de http://www.la-razon.com/sociedad/Bolsas-plasticas-impulsan-gradual-eliminacion_0_3155684416.html

COPANT. (2001). *NORMA CHILENA OFICIAL NCh169*. Chile. Recuperado el 25 de Agosto de 2019, de file:///C:/Users/180415/Documents/Downloads/kupdf.net_nch0169-2001pdf.pdf

Correo del Sur. (14 de Abril de 2019). El 70% de la basura en Sucre es aprovechable. *Correo del Sur*. Recuperado el 3 de Septiembre de 2019, de https://correodelsur.com/local/20190414_el-70-de-la-basura-en--sucre-es-aprovechable.html

Costa Del Pozo, A. (2012). *Estudio de hormigones y morteros aligerado con agregados de plástico reciclado como árido y carga en la mezcla*.

Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña-Máster en Arquitectura, Energía y Medio Ambiente [Tesis de maestría]. Recuperado el 21 de Octubre de 2019, de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16661/CostadelPozoAntonella_TFM.pdf

Di Marco, R., & León, H. (2017). LADRILLOS CON ADICION DE PET: Una solución amigable para núcleos rurales del municipio del Socorro. *5to Simposio Internacional de Investigación en Ciencias Económicas, Administrativas y Contables - Sociedad y Desarrollo y 1er Encuentro*. Bogotá. Recuperado el 21 de Septiembre de 2019, de <http://www.unilibre.edu.co/bogota/pdfs/2017/5sim/39D.pdf>

Dobón, B. (2019). *MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN RECICLADOS Y REUTILIZADOS PARA LA ARQUITECTURA SOSTENIBLE [Tesis de grado]*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado el 2 de Agosto de 2019,

de,https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/115062/memoria_44533185.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Echeverría Garro, E. R. (2017). *Ladrillos de concreto con plástico PET reciclado*. Tesis, Universidad Nacional de Cajamarca, Departamento de Ingeniería Civil, Cajamarca. Recuperado el 20 de Octubre de 2019, de <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1501/LADRILLOS%20DE%20CONCRETO%20CON%20PL%C3%81STICO%20PET%20RECIKLADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Echeverría, E. (2017). *LADRILLOS DE CONCRETO CON PLÁSTICO PET [Tesis de grado]*. Cajamarca, Perú. Recuperado el 3 de Agosto de 2019, de <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1501/LADRILLOS%20DE%20CONCRETO%20CON%20PL%C3%81STICO%20PET%20RECIKLADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gaggino, R. (Agosto de 2008). Ladrillos y

placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción. (U. d. Chile, Ed.) *Invi*, 23(63), 137-163. Recuperado el 7 de Agosto de 2019, de <http://www.arpet.org/docs/Ladrillos-y-placas-prefabricadas-con-plasticos-reciclados-Gaggino.pdf>

Gaggino, R., Sulaiman, H., Kreiker, J., Peisino, L., & González, J. (2018). LADRILLOS DE PET RECIKLADO. MODIFICACIONES PARA LA RENOVACIÓN DEL CERTIFICADO DE APTITUD TÉCNICA SEGÚN LA NORMATIVA ACTUAL. *ASADES*, 6, 177-188. Recuperado el 14 de Agosto de 2019, de <http://www.exporenovables.com.ar/2018/descargas/actas/asades-tema-1-165.pdf>

García, C., & Ledezma, J. (2008). Censo Forestal Sistemático Mejorado. En *Proyecto BOLFOR II/ CADEFOR*. Santa Cruz, Bolivia: El Pais.

Gerencia de Reforestación de la Coordinación General de Conservación y Restauración de la Comisión Nacional Forestal. (2010).

Prácticas de reforestación. Zapopán, Comisión Nacional Forestal, México. Obtenido de http://www.conafor.gob.mx/BIBLIOTECA/MANUAL_PRACTICAS_DE_REFORESTACION.PDF

documentos/documento%20sector%20forestal.pdf.

Guevara, L. (7 de Junio de 2016). Emas sólo recoge 70% de basura que genera Sucre. *Correo del Sur*. Obtenido de Emas sólo recoge 70% de basura que genera Sucre

Martínez , A., & Cote, M. (2014). Diseño y Fabricación de Ladrillo Reutilizando Materiales a Base de PET. *Inge Cuc*, 10, 176-180. Recuperado el 21 de Agosto de 2019, de <file:///C:/Users/180415/Documents/Downloads/Dialnet-DisenoyFabricacionDeLadrilloReutilizandoMateriales-4974825.pdf>

H. Municipalidad de Cochabamba. (2003). Repoblamiento Forestal Urbano. En *Proyecto Piloto*. Cochabamba.

Martinez, D. (1 de Abril de 2018). Sucre y el reto de administrar 200 toneladas de residuos. *Correo del Sur*. Obtenido de https://correodelsur.com/panorama/20180401_sucre-y-el-reto-de-administrar-200-toneladas-de-residuos.html

ICONTEC. (2019). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-4205*. Recuperado el 4 de Octubre de 2019, de [file:///C:/Users/180415/Documents/Downloads/kupdf.net_norma-tecnica-colombiana-ntc-4205%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/180415/Documents/Downloads/kupdf.net_norma-tecnica-colombiana-ntc-4205%20(1).pdf)

Ministerio de Vivienda. (2006). *NORMA TÉCNICA E. 070 ALBAÑILERIA*. Perú. Recuperado el 4 de Septiembre de 2019, de INDECOPI : <http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/82/2008/01/Norma-E-070-MV-2006.pdf>

Malky Harb, A. (2005). <http://www.udape.gob.bo/>. Recuperado el 22 de Agosto de 2016, de http://www.udape.gob.bo/portales_html/diagnosticos/diagnostico2005/

Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2011). *Diagnóstico de la gestión de*

residuos sólidos en el Departamento de Chuquisaca (Primera ed.). La Paz, Bolivia. Recuperado el 1 de Octubre de 2019, de <http://www.anesapa.org/wp-content/uploads/2014/07/DIAGNOSTICO-DEPARTAMENTAL-CHUQUISACA.pdf>

Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2014).

www.mmaya.gob.bo/uploads/ARBOL1.pdf. Recuperado el 22 de Agosto de 2016, de Mi arbol, Forestacion y Reforestacion Nacional: <http://www.mmaya.gob.bo>

Moscoso, M. (Enero de 2018). *Natura Medio Ambiental*. Recuperado el Abril de 2018, de ¿Cuántos árboles se necesitan para que un ser humano respire?: <https://www.natura-medioambiental.com/category/naturaleza/>

Patzi, G. (2015). *ESTUDIO DE UN PROCESO TECNOLÓGICO PARA EL RECICLAJE DE BOTELLAS PET [TESIS DE GRADO]*. (F. D.-C. INDUSTRIAL, Ed.) La Paz, Bolivia: UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN

ANDRÉS. Recuperado el 5 de Octubre de 2019, de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/9301/PG-1582-Patzi%20Canaza%2C%20Grover.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Perez Medina, S., & López, I. (2015). Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana. *iedad y Territorio*, xv(47), 1-33. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/est/v15n47/v15n47a2.pdf>

Piñeros, M., & Herrera, D. (2018). *PROYECTO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES CON AGREGADOS DE PLÁSTICO RECICLADO (PET), APLICADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA [Proyecto de especialización]*. Bogotá, Colombia: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA-FACULTAD DE INGENIERÍA. Recuperado el 3 de Agosto de 2019, de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22382/1/TESIS%20BLOQUE%20PET.pdf>

Ramirez, I. (2012). *Apuntes de metodología de investigación*. Sucre: Serivicios gráficos IMAG.

Rueda, R. (2014). *Análisis del comportamiento mecánico de ladrillos estructurales utilizando el polipropileno de materiales plásticos reciclables (tesis de pregrado)*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana-Carrera de Ingeniería civil. Recuperado el 4 de Agosto de 2019, de http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital_27592

Serrano Guzmán, M., Pérez Ruiz, D., Torrado Gómez, L., & Hernández, N. (2017). Residuos inertes para la preparación de ladrillos con material reciclable: una práctica para protección del ambiente. *Revista Industrial*, 131-138. Recuperado el 21 de Septiembre de 2019, de <https://doi.org/10.15381/idata.v20i1.13507>

Zavala, J. (2016). *DISEÑO Y DESARROLLO EXPERIMENTAL DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*

UTILIZANDO PLÁSTICO RECICLADO. Santa Tecla, El Salvador. Recuperado el 6 de Septiembre de 2019, de <http://www.redicces.org.sv/jspui/handle/10972/2442>