



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Facultad Regional Bahía Blanca

Especialización en Ingeniería Ambiental

Trabajo Integrador

Viviendas sustentables realizadas con eco-ladrillos

Autor/es

Ing. Civil Pamela Sofía Martín

Director o Tutor

Mg. Aloma Sartor

Codirector

Mg. Escudero Daniela

Bahía Blanca, 9 de Noviembre de 2022

Contenido

1. RESUMEN	2
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo General.....	4
2.2 Objetivos Específicos	4
4. JUSTIFICACIÓN	4
5. ALCANCE	5
6. SISTEMA CONSTRUCTIVO.....	5
6.1 EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE BOTELLAS PLÁSTICAS RECICLADAS.....	5
EJEMPLOS RELEVANTES EN EL MUNDO	5
7. METODOLOGÍA	17
7.1 PRIMERA ETAPA – RECOPIACIÓN DE DATOS.....	18
7.1.1 EL USO DE BOTELLAS DE PLÁSTICO EN LA CONSTRUCCIÓN.....	18
7.1.2 ELEMENTO CONSTRUCTIVO.	19
7.1.3 SISTEMA CONSTRUCTIVO.....	22
8. PROPUESTA DE VIVIENDA CIRCULAR	30
9. CONCLUSIONES.....	31
10. BIBLIOGRAFÍA.....	32

1. RESUMEN

La contaminación es uno de los problemas más grandes que afectan al mundo, transformándolo en un gran basurero y el plástico PET es uno de los mayores contaminantes.

El eco-ladrillo es una técnica que se basa en la mitigación del impacto ambiental generado por residuos sólidos domésticos, el cual busca proporcionarles un adecuado destino final, contribuyendo a un trato amigable con el medio ambiente. Por ello, he realizado un estudio del uso de las botellas PET como elemento para la construcción, siendo este, el Eco-Ladrillo (botella reciclada de plástico PET rellena de materiales plásticos igualmente reciclados, secos y limpios; o tierra de sitio, no orgánica, colocada y compactada en capas).

El presente estudio corresponde a una evaluación del sistema constructivo realizado con eco – ladrillos, considerando la albañilería con estos materiales como solución constructiva y sustentable.

Por lo mencionado anteriormente, se analizó la configuración óptima para muros estructurales con botellas de plástico PET; y los distintos tipos de rellenos y sus resistencias. A si mismo se muestran las ventajas y desventajas que tiene el eco-ladrillo como material de construcción.

PALABRAS CLAVES: ECO-LADRILLOS - SISTEMA CONSTRUCTIVO - SUSTENTABLE – ALBAÑILERÍA – PET

2. INTRODUCCIÓN

Los residuos de plástico son una preocupación global creciente. Representan un 12 % de los residuos sólidos urbanos (RSU) a nivel mundial y si no se recolectan y gestionan adecuadamente seguirán contaminando los ecosistemas durante un largo período de tiempo¹. En Argentina, según el Observatorio Nacional para la Gestión de RSU (2019), los residuos plásticos constituyen en promedio el 15 % de los

¹ Kaza, Silpa; Yao, Lisa C.; Bhada-Tata, Perinaz; Van Woerden, Frank. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development;. Washington, DC. Banco Mundial. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>.

residuos totales, variando entre un 9 % de mínima y un 21 % de máxima, según la localidad que se trate².

Utilizamos plásticos en miles de aplicaciones: tuberías, cables, herramientas, electrodomésticos, automóviles, muebles, televisores, computadoras, textiles y todo tipo de aparatos electrónicos, pero también en envoltorios para alimentos y materiales descartables para la salud. Otros residuos cotidianos aparecen con los plásticos de un solo uso: botellas de bebidas y productos de limpieza, vasos, cubiertos, bolsas, sorbetes entre otros.

¿Qué son los residuos de plástico?

El término plástico se refiere a varios tipos de polímeros; materiales compuestos de moléculas orgánicas de alto peso molecular que derivan, usualmente, del petróleo.

Se genera un residuo de plástico cuando cualquier elemento fabricado a partir de este material es descartado por su poseedor al no encontrarle valor o utilidad. Una de las características más notorias de los residuos plásticos es su larga duración. El tiempo de descomposición depende del tipo de plástico que se trate, el tamaño del residuo y el proceso de degradación asociado. Los mecanismos de degradación pueden ser biológicos, de oxidación o de foto-oxidación, entre otros. En general, los plásticos tardan al menos 100 años en descomponerse. Aunque existen algunos que se demoran entre 500 y 1000 años y bajo ciertas condiciones como, por ejemplo, al ser enterrados, inclusive parecen detener su descomposición.

Los diferentes tipos de plástico han sido codificados internacionalmente para facilitar su reciclaje. En la Tabla 1 puede observarse esta clasificación.

SIGLA	NOMBRE	CÓDIGO DE RECICLAJE	USOS Y APLICACIONES
PET	Polietileno tereftalato	1	Botellas para bebidas, aceite y otros alimentos.
PEAD/HDPE	Polietileno de alta densidad	2	Envases y botellas para productos de limpieza. Membranas impermeabilizantes
PVC	Policloruro de vinilo	3	Cañerías, electrónica
PEBD/LDPE	Polietileno de baja densidad	4	Bolsas, separadores, guantes
PP	Polipropileno	5	Tapas de botellas

² Observatorio Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos - Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2019) Generación de residuos sólidos urbanos por provincia. Obtenido de: <http://observatoriorsu.ambiente.gob.ar/datos-nacionales.htm>

PS	Poliestireno	6	Vasos y recipientes para alimentos, aislantes.
-	Otros.	7	Comprende: policarbonato (PC), nailon, acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), entre otros.

Tabla 1. Clasificación internacional de los residuos plásticos.

3. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Evaluar el sistema constructivo realizado con eco-ladrillos

2.2 Objetivos Específicos

- Presentar la albañilería de eco-ladrillos como solución constructiva y sustentable.
- Evaluar la configuración óptima para muros estructurales con botellas.
- Analizar los tipos de rellenos de botellas y las resistencias.
- Mostrar las ventajas y desventajas que tiene el eco-ladrillo como material de construcción.

4. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo se enfocará al reciclaje del plástico PET y elaboración de Ecoladrillos, que desembocará en una propuesta de una vivienda unifamiliar.

Considerando que el plástico genera un problema mundial ya que; en primer lugar, los terrenos para rellenos sanitarios son escasos y eventualmente se saturan.

La mejor solución para este problema es el reciclaje y la reutilización, el cual permite reutilizar una gran parte de elementos contaminantes.

En segundo lugar, al saber que el plástico PET tiene un proceso de degradación largo, esto permite que sea utilizado no únicamente como envase sino como un material para la construcción entre otros usos.

Otro aspecto es que se puede fomentar al reciclaje y reutilización del mismo.

5. ALCANCE

El proyecto de vivienda que se realizará es para Bahía Blanca y la zona, ya que en la ciudad se estima que un 24% de la población alquila. Esto podría facilitar la construcción de viviendas, debido a que estas son mucho más económicas que las viviendas tradicionales.

6. SISTEMA CONSTRUCTIVO

6.1 EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE BOTELLAS PLÁSTICAS RECICLADAS

Diferentes formas de utilización de botellas plásticas recicladas han venido siendo desarrolladas durante mucho tiempo y nacen de la necesidad de hacer algo con los residuos sólidos del planeta.

Como se mencionó anteriormente, la alta producción y uso de botellas de Plástico PET (Tereftalato de polietileno) y de plásticos en general, así como la falta de vivienda en el mundo ha motivado al desarrollo de nuevos sistemas constructivos económicos, los cuales incentivan a la reutilización de diversos materiales en varios campos, en especial en la arquitectura donde se han dado varios ejemplos desde los años 60.

EJEMPLOS RELEVANTES EN EL MUNDO

Las botellas PET se han utilizado en variedad de proyectos, desde viviendas de interés social hasta elegantes restaurantes.

Para ilustrar de mejor manera estas aplicaciones, se escogieron ejemplos alrededor del mundo con diversas variantes tanto en la materia prima como en la

forma de aplicación y como han sido utilizadas en diferentes países y épocas.

Estos serán brevemente abordados como una introducción al uso de materiales reciclados con fines para la construcción.

Luego de una rápida observación de estos ejemplos se tomarán los más relevantes que se hayan desarrollado como sistemas constructivos y que tengan estudios más profundos.

NUEVO MÉXICO_EARTHSHIP:

A pesar que la técnica constructiva de utilizar botellas PET es uno de los sistemas más modernos desarrollados, existen referencias a nivel mundial que se remonta a la época de los 60 con las construcciones del estadounidense Michael Reynolds, conocido como el guerrero de la basura; sus construcciones son hechas principalmente con botellas de vidrio, neumáticos y latas de aluminio reciclados. Estas construcciones son llamadas Earthship (fig.1,2,3). (Alternativa verde)



Figura 1. Interior México



Figura 2. Interior earthship - Nuevo México



Figura 3. Exterior México

GUATEMALA:

En Latinoamérica, específicamente en la ciudad de San Marcos La Laguna en Guatemala, se construyó un muro de 20m, 3 casas y baños impulsado por la fundación "Pura Vida", con la ayuda de niños de escuela, maestros y padres de familia; esta fundación tiene muchos más proyectos en sus manos (fig.4,5). (Pura Vida)



Figura 4. Terminado de muros



Figura 5. Casa con ecoladrillos en Guatemala

SERBIA

En el año 2005 en Serbia se edificó una casa de 60m² usando 14.000 botellas de plástico en sustitución de los ladrillos tradicionales, rellenas con tierra por el profesor retirado de ciencias físicas Tomislav Radovanovic, inspirado por una conversación con sus alumnos sobre construcción alternativa (fig.6,7). (elmundo.es)



Figura 6. Casa de Tomislav Radovanovic en Serbia



Figura 7. Tomislav Radovanovic

TAILANDIA

En el año 2007, se construye el Wat Pa Maha Chedi Kaew también conocido como el templo de las mil botellas en Tailandia, a 600 km de Bangkok, fue construido por

monjes budistas que utilizaron más de 1 millón de botellas de cerveza recicladas de vidrio y su construcción empezó en 1984, los monjes incentivaron a las autoridades locales a depositar cualquier botella usada en el templo.

Los monjes utilizaron las botellas para crear desde el crematorio hasta los baños; el vidrio de las botellas además es fácil de limpiar y deja pasar la luz ahorrando energía (fig.8,9). (Rincón Abstracto)



Figura 8. Templo construido con botellas de vidrio



Figura 9. Templo

CHINA

Uno de los ejemplos más recientes es el Ecoark en Taiwan, es un edificio construido con 1.500.000 botellas recicladas de plástico, tiene 3 plantas, se utilizaron las botellas para crear especialmente sus fachadas, no se utilizaron las botellas intactas, sino que se las hizo pasar por un proceso para crear las botellas hexagonales que hacen las funciones de ladrillos, alternadamente cóncavos y convexos que arman la pared y fue inspirado en juegos de legos y las colmenas de abejas (fig.10,11,12). (Plataforma Arquitectura). Se reciclan 4 botellas de plástico por cada pieza de Polli-Brick.



Figura 10. Ecoark



Figura 11. Fachada de Ecoark



Figura 12. Ladrillo de plástico PET

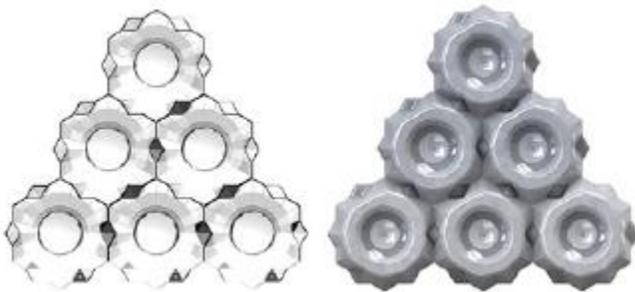


Figura 13. Colocación de los Polli-brick, trabados entre sí.



Figura 14. Sistema de conexión LED entre los Polli-brick.

1. Módulo de panel fotovoltaico
2. Articulación clip para panel fotovoltaico
3. Escudo nano protector fotovoltaico
4. Ladrillos Polli prefabricados y ensamblados
5. Articulaciones de fijación
6. Marco subestructural

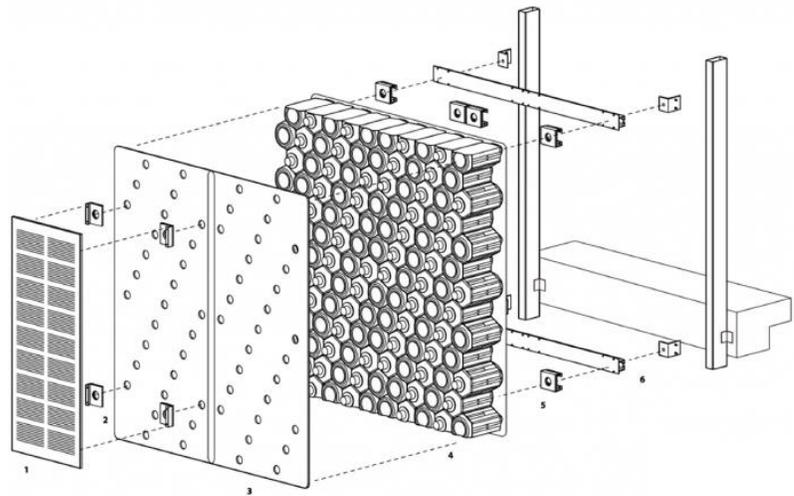


Figura 15. Despiece del tabique Ecoark.

ÁFRICA - VIVIENDA_ECO-TEC

La construcción de estas viviendas ayudó a resolver el gran problema que existe en Nigeria, que es la escases de estas, al recolectar las botellas plásticas de vías, canales y cunetas.

Para esta construcción fue necesario la utilización de 14000 botellas plásticas rellenas con tierra. Ejemplos así se pueden ver en muchas partes del mundo (fig.16,17). (Inspiration green)



Figura 16. Casa construida con botellas de plástico PET de plástico PET



Figura 17. Casa construida con botellas de plástico PET

NEW YORK_SEPARADOR DE ESPACIOS_MORIMOTO RESTAURANT

Dentro del restaurante se diseña la parte nueva del mismo la cual es obra del Arquitecto Tadao Ando, en el cual se realiza una novedosa pared conformada por 17400 botellas de medio litro llenas de agua mineral con puntos de luz LED (fig.18,19). (Web Ecoist)



Figura 18. Restaurante diseñado por Tadao Ando



Figura 19. Muro Restaurante diseñado por Tadao Ando

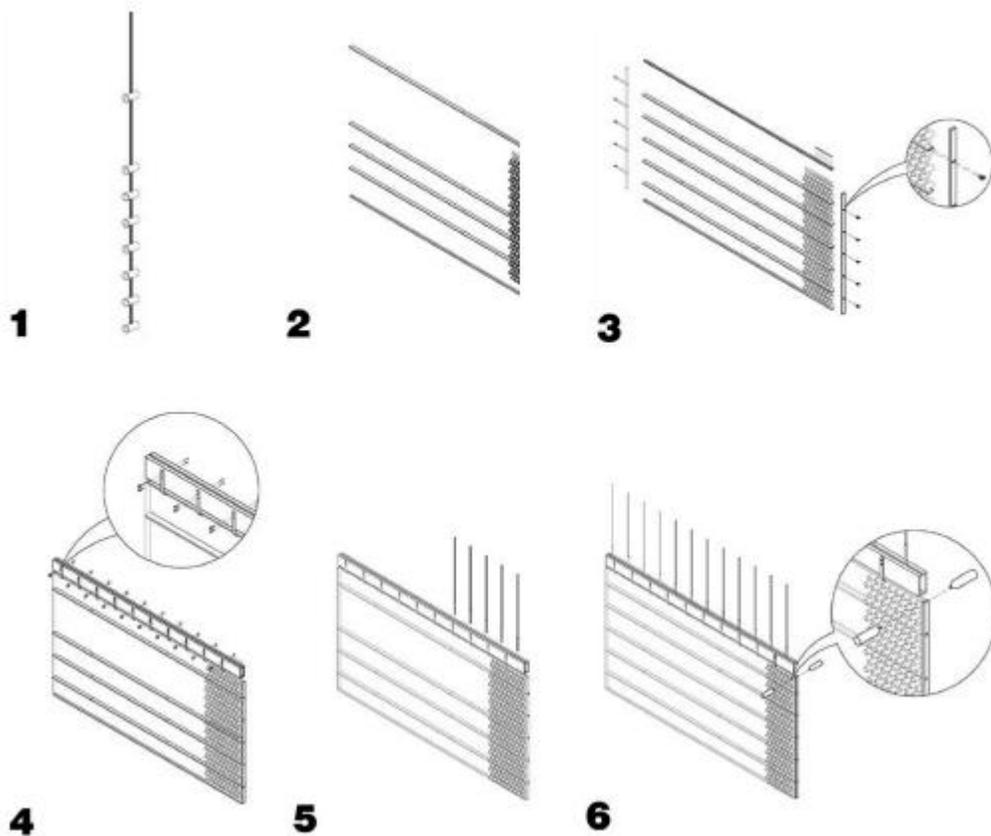


Figura 20. Proceso Constructivo del Muro del restaurant Morimoto. Tadao Ando

1. Se anclan boquillas eléctricas a ambos lados de barras de acero inoxidable, mediante pernos. (fig. 21)
2. Los elementos anteriormente fabricados se sueldan a un tubo circular de acero inoxidable cromado, en la parte superior e inferior. Se colocan 3 canales de PVC que en su interior tienen luces LED puntuales de dos temperaturas de color (cálido y frío) para crear un efecto brillante. (fig. 21)
3. Se cierra el muro mediante dos tubos laterales circulares de acero inoxidable cromado, a los cuales se los sujeta las canales de las luces LED. Dentro de los cuales pasan las instalaciones eléctricas que distribuyen la energía a las luces LED. (fig. 22)
4. Mediante unas platinas metálicas C se los sujeta a una viga metálica superior C mediante pernos de anclaje. (fig. 22)
5. Se insertan tubos de acero inoxidable cromado entre la viga metálica superior C, los mismos que se sujetan a este a través de pernos de anclaje y estos a su vez a la estructura de cubierta.
6. Finalmente se coloca botellas PET rellenas de agua selladas con su propia tapa, a las boquillas eléctricas a presión. (fig. 22)

Dentro del mismo restaurante se crea un tabique de botellas PET rellenas con agua, colocadas unas sobre otras con un cierre de vidrio. Este muro se ilumina mediante luces LED en la parte superior en inferior del mismo. (fig. 23, 24, 25).



Figura 21. Anclaje de botella a la boquilla eléctrica.



Figura22. Viga superior y lateral de cierre de muro.



Figura 23, 24 25. Muro iluminado en la parte superior

TOKIO_OFICINA DE DANONE

Al reutilizarse las botellas se ha llegado a realizar un separador de espacios en la oficina de Danone, Tokio, creando ambientes de privacidad y permitiendo pasar luz al corredor (fig.26, 27). (Decosantis)



Figura 26. Separador de espacios.



Figura 27. Separador de espacios

INSTALACIÓN 'THE COLA-BOW' / PENDA

Esta instalación es diseñada por Penda para la 2da Exposición de la Creación de la Universidad de Beijing. Se utiliza para su construcción 17400 botellas plásticas. Esta instalación pretende fomentar el reciclaje y concienciación del mismo (fig.28, 29). (Vida-Ecoverde)



Figura 28. Botellas PET



Figura 29. Instalación con botellas PET

Al ser una instalación, esta es construida con una estructura metálica que facilita el armado y desarmado de la misma. (fig.30,32)

Se desarrolla en módulos, los mismos que están conformados por 4 submódulos. (fig.31)

Los submódulos se forman con una estructura de varillas de acero y malla cuadrada galvanizada. Las botellas PET de 500 ml, se enroscan a la malla entre las tapas y la botella, siendo así sujetadas. (fig.31,33)

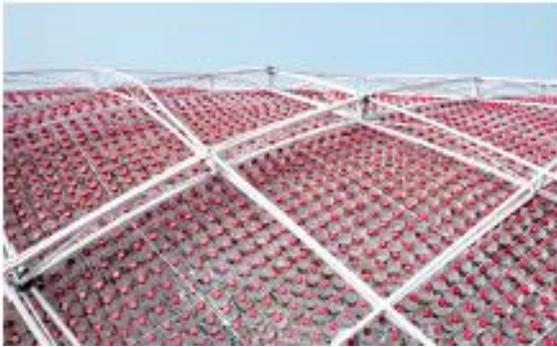


Figura 30. Botellas PET



Figura 31. Botellas PET



Figura 32. Botellas PET



Figura 33. Botellas PET

BRASIL_PECES GIGANTES HECHOS CON BOTELLAS RECICLADAS

Se trata de una escultura de dos peces gigantes hechos con botellas recicladas en una playa de Río de Janeiro que son iluminadas por la noche con luces LED (fig.34,35). (Salte de la caja)



Figura N°34. Esculturas de peces



Figura N°35. Estructura de la escultura de peces

MOBILIARIO

Al ser las botellas un material de fácil recolección y reutilización se ha llegado a utilizar para la creación de mobiliario, siendo usadas llenas o vacías (fig.36). (Plataforma Arquitectura)

JARDÍN COLGANTE

El estudio de diseño ROSEMBAUM en Brasil ha diseñado un jardín vertical o colgante con la utilización de botellas PET, para mejorar la calidad de las viviendas. Se utilizan botellas las cuales se rellenan de tierra sirviendo como macetas para sembrar vegetales para su cultivo (fig.37). (Plátano Projects)



Figura N°36. Jardín colgante con botellas de PET.

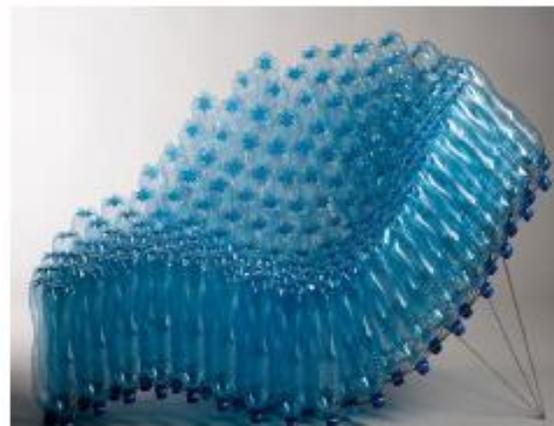


Figura N°37. Mobiliario

CASITA DE CRISTAL: UN COMEDOR Y CENTRO COMUNITARIO CONSTRUIDO CON BOTELLAS EN BAHÍA BLANCA

La obra, sustentada por donaciones, se encuentra en un 30% de avance y constituye un comedor y un salón de usos múltiples de 15 metros que funcionará como centro comunitario. (Fig. 38 y 39)

La obra llevará en total unas 70 mil botellas.



Figura N°38. Construcción de Centro comunitario.



Figura N°39. Mampostería

7. METODOLOGÍA

Sobre la metodología, se procederá con el mismo rigor que en el de un documento de carácter científico, dividiéndose en tres partes:

Primera etapa: Recopilación de datos y estado de la cuestión.

En primer lugar, se recopilarán todos los datos posibles hasta la fecha, del trabajo empírico – Experimental de; tesis doctorales, trabajos, modelos experimentales, documentación científicos, entre otros. Para conocer lo que se ha venido hasta ahora y utilizar aquellos datos y experiencias registradas de ensayos, estudios, análisis y labores de campo de prototipos construidos.

Segunda etapa: Estudio

En segundo lugar, se mostrarán datos de experimentación con modelos ensayados en laboratorio y de la documentación investigada, con el fin de establecer los métodos óptimos de construcción con este sistema.

Tercera etapa: Conclusiones generales

Por último, se analizan los resultados obtenidos, a fin de promover o desaconsejar justificadamente procedimientos y materiales óptimo para este tipo de construcciones.

7.1 PRIMERA ETAPA – RECOPIACIÓN DE DATOS

7.1.1 EL USO DE BOTELLAS DE PLÁSTICO EN LA CONSTRUCCIÓN

La botella de plástico es utilizada como bloque o ladrillo en construcciones porque presenta muchas ventajas respecto a otros tipos de residuos. Para empezar el plástico puede presentar un proceso de descomposición negativo para el medio ambiente, de hasta 500 años, sin embargo, esto puede ser muy positivo si se trata como material de construcción.

El PET (Polietileno Tereftalado) que empezó a fabricarse en 1976 hasta nuestros días es uno de los materiales que más abundan en la fabricación de botellas cuyo uso se ha incrementado notablemente en los últimos años a nivel mundial, debido a la proliferación de envases de la industria alimentaria.



Figura N°40. Simbología del PET grabada en botellas de plástico

Algunas de sus características más notables como elemento de construcción se detallan a continuación:

Propiedades Químicas.

El PET tiene una buena resistencia en general especialmente a grasas, aceites, alimentos, soluciones diluidas de ácidos minerales, sales, jabones, hidrocarburos alifáticos y alcoholes, pero presenta poca resistencia a solventes, sustancias aromáticas y acetonas, entre otros.

Propiedades Físicas.

Buenas propiedades térmicas, buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes, excelente barrera a CO₂ y aceptable barrera al oxígeno y a la humedad. Es totalmente reciclable, cristalino, para provocar en el caso de ser requerido el paso de la luz a través de él.

Tiene alta resistencia al desgaste. Al ser utilizado en envases de alimentos es apto para estar en contacto con productos alimentarios. Es un material muy ligero, con alto coeficiente de deslizamiento.

7.1.2 ELEMENTO CONSTRUCTIVO.

a) Influencia del espesor del plástico³

El espesor del plástico de la botella independientemente del tipo de relleno usado, es muy influyente en la resistencia a compresión que presente el elemento constructivo y es algo primordial a tener en cuenta. Por tanto, los espesores a utilizar serán los mayores y más abundantes dentro de todos los residuos de botellas que estén al alcance, debido a que aportan mayores resistencias.

En este experimento se analizarán 3 tipos de botella con espesores de 0.25mm correspondiente a una botella de agua mineral, y dos de 0.45 y 0.60 de refrescos, dando los siguientes valores

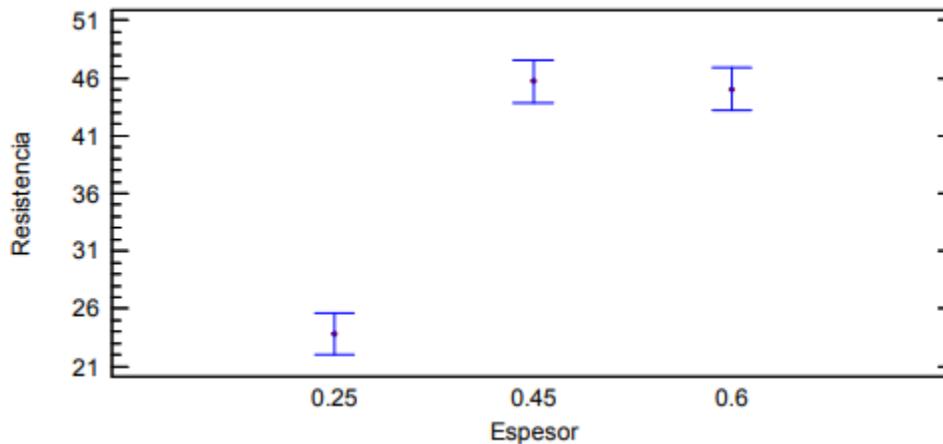


Gráfico N°1. Relación entre espesor de botella (mm) y resistencia a compresión (KN) con el mismo tipo de relleno.

b) El interior de las botellas puede ser rellenadas de muchos materiales; aire si queremos un aislamiento barato y sencillo, agua (dulce o salada) si deseamos

³ Caracterización de botellas PET para su uso como elementos constructivos de muros de carga – Espinosa - Guzmán

buena inercia térmica, tierras, barro y escombros de otras construcciones, si necesitamos darle un uso estructural, plásticos para botellas aligeradas, aserrín para ser usado como aislamiento, etc. Resumiendo, el relleno utilizado depende de la necesidad que queramos cubrir.

Espinosa – Guzmán y Francisco A. recomiendan utilizar un relleno con una densidad no menor a 1.5gr/cm con suelos arenosos y materiales finos, basándose en los ensayos a compresión con tres tipos de tierras, cuyas curvas granulométricas se expresan a continuación.

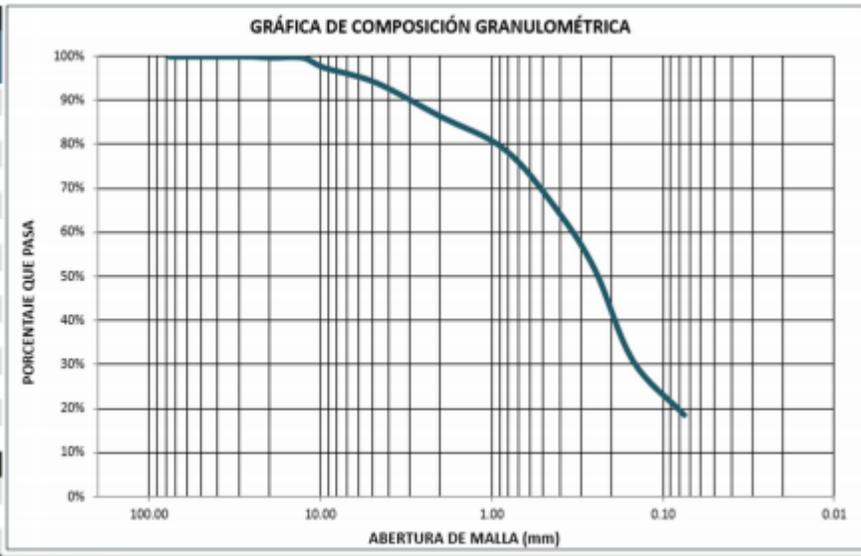


Gráfico N°2. Curva granulométrica de Arena Limosa (tierra S).

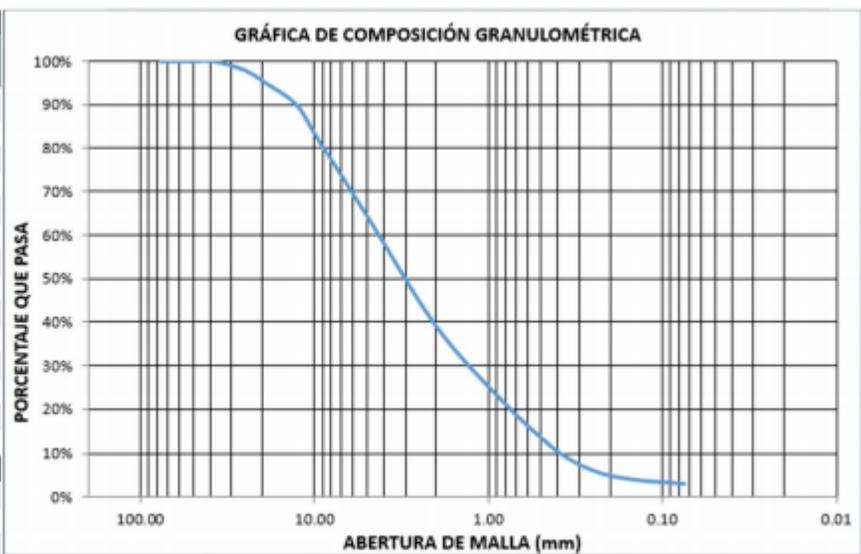
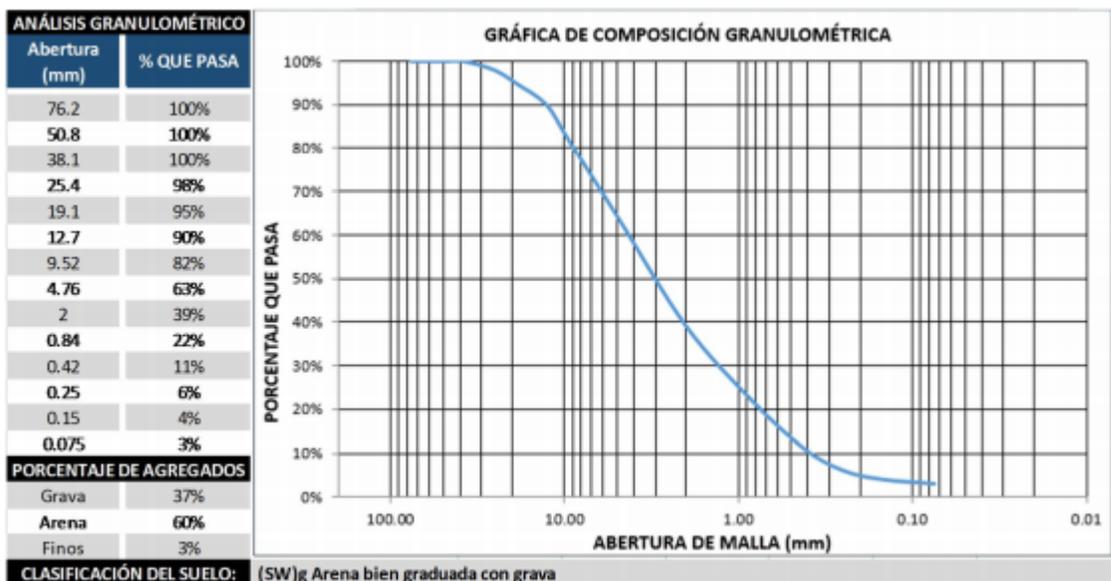


Gráfico N°3. Curva granulométrica de Arena bien graduada con grava (tierra J).



Gráfico N°4. Curva granulométrica de Arena Limosa (tierra T).

Analizando la interacción del espesor de la botella y el tipo de relleno, podemos ver en el siguiente gráfico, que utilizando un espesor de 0.25mm se obtiene una menor resistencia a la compresión en todos los tipos de relleno. Si se utiliza un espesor de 0.45 o 0.60 con un relleno de suelo tipo S se obtienen los mayores resultados de resistencia a compresión.

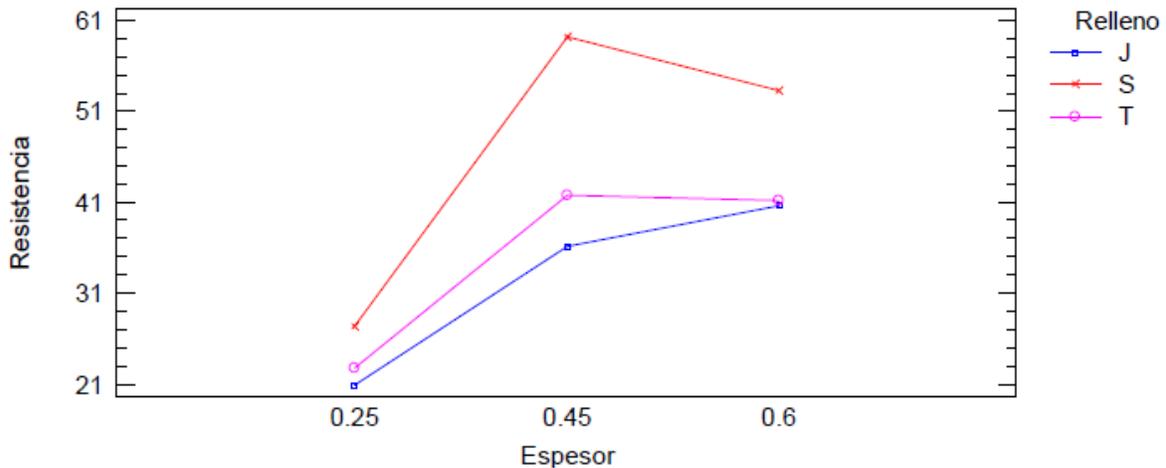


Gráfico N°5. Gráfico de Interacción espesor - relleno.

Este análisis, permite buscar soluciones económicamente asequibles, que permitan modificar la granulometría de la tierra escogida, para mejorar sus propiedades mecánicas.

7.1.3 SISTEMA CONSTRUCTIVO.

a) Disposición de botellas en el espacio.

Son muchas las formas en las que se pueden colocar las botellas en el espacio aleatoriamente, en mosaico, verticalmente, horizontalmente, etc. Por lo tanto, primero vamos a distinguir entre dos tipos de muros, los portantes o estructurales, y los no estructurales.

MUROS NO ESTRUCTURALES

En estos muros tanto la botella, como el sistema constructivo solo deben soportar los esfuerzos del peso propio y los de algún elemento de mobiliario que necesiten del muro. Por tanto el relleno de la botella, puede sacrificar sus características mecánicas, para favorecer las térmicas, las de iluminación, las decorativas, o cualquier otra que se tercié. Estos elementos no portantes son colocados entre elementos estructurales de soporte, ya sean pilares, marcos, bastidores, etc. y suelen ir con relleno entre juntas con materiales que dependen del objetivo con el que esté hecha la fábrica. Los revestimientos de mortero y el pintado como acabado suelen ser muy comunes dependiendo la finalidad del muro.

Dos de las disposiciones de colocación de las botellas en los muros más comunes son la horizontal y la vertical, que analizaremos a continuación.

La disposición idónea de las botellas para este tipo de muro no estructural tratándose de un elemento de partición interior no portante, es la vertical, la disposición que menos superficie de vivienda ocupa, pudiendo cumplir perfectamente con los requerimientos que a este tipo de muros se le exige. En cuanto a los muros exteriores, se aconseja la disposición horizontal en sentido perpendicular al muro para muros exteriores, por su mayor inercia térmica.

MUROS ESTRUCTURALES

En estos muros tanto la botella, como el sistema constructivo deben presentar unas características mecánicas suficientes que garanticen la integridad de la estructura construida.

A continuación se detallan algunos de los muros usados actualmente tanto portantes como no portantes intentando mostrar algunas diferencias entre ellos:

- A) En este sistema, las botellas rellenas se colocan en vertical, utilizando la parte media de una tercera botella que sirve para unir las dos anteriores. Todo ello queda más confinado dentro de una malla metálica que evita en cierta

medida el pandeo de la estructura. No se aportan datos del comportamiento estructural pero la delgadez del sistema de acuerdo a la imagen siguiente, muestra la inseguridad estructural de este sistema.



Figura N°41. Unión vertical de botellas (izq). Elementos de refuerzo (centro). Confinamiento vertical dentro de malla de acero (der).

- B) Las botellas son empotradas por la base quedando verticalmente dispuestas, confinadas una vez más dentro de una estructura metálica. Finalmente, la estructura metálica se reviste con mortero. Su uso es dudosamente portante, ya que la botella vacía no aporta resistencia mecánica y toda la estabilidad estructural recae en el armazón metálico y la cuantía del acero que este tenga, y no de las botellas.



Figura N°42. Confinamiento dentro de estructura metálica (izq.). Empotramiento por el culo de la botella (der).

- C) Las botellas se colocan vacías, como aligerante de la estructura, aleatoriamente dentro del armazón de acero que se reviste con mortero. Tiene un uso portante si la cantidad de acero es adecuada, no dependiendo de la botellas.

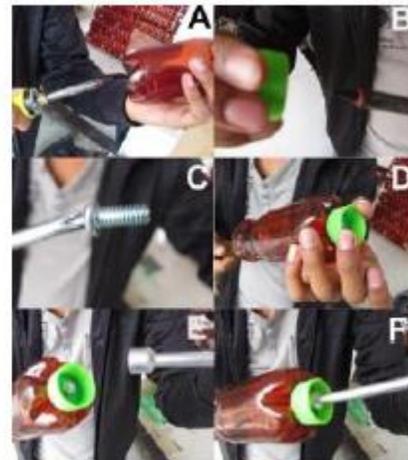


Figura N°43. Confinamiento dentro de estructura metálica (izq.).

- D) En este sistema, se utiliza un tornillo, que atraviesa el tapón y base de la siguiente botella, quedando así dispuestas en vertical. Tiene un uso no portante.

Procedimiento de montaje de la tapa a la botella (Botella vacía).

- (A) Perforamos el centro de la base de la botella.
 (B) Perforamos el centro de la tapa.
 (C) Colocamos el tornillo en el destornillador.
 (D) Aseguramos la botella con la tapa mediante el tornillo.
 (E) Colocamos la tuerca.
 (F) Con el destornillador de copa apretamos la tuerca.



**Procedimiento de montaje de la tapa a la botella
 (Botella llena).**

Figura N°44. Procedimiento de montaje de muros con el sistema de botella T.

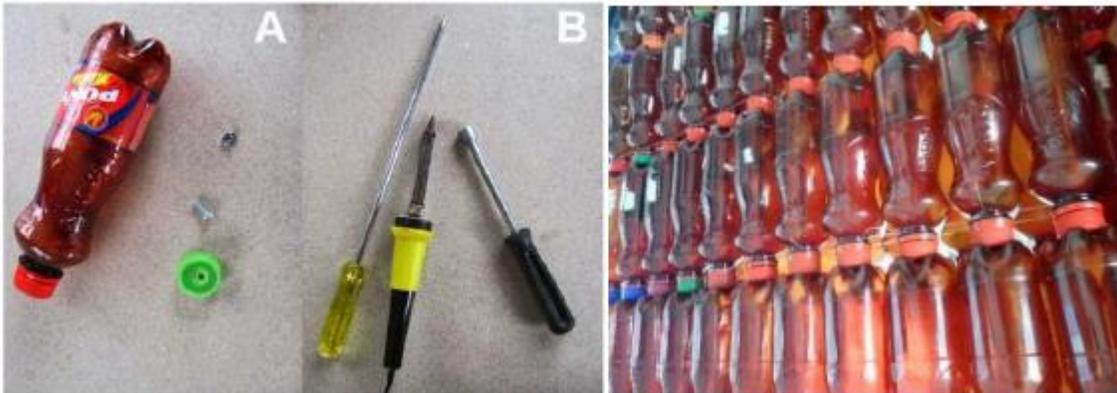


Figura N°45. Herramientas necesarias (izq). Sistema constructivo vertical (der).

- E) Otros sistemas utilizan las propiedades transparentes o traslucidas de las botellas, para generar mosaicos, que a la vez dejen pasar la luz natural. Estos cerramientos no son portantes, la botella de vidrio es frágil y no contiene ningún tipo de relleno que pueda soportar cargas.



Figura N°46. Lucernario con botellas de vidrio.

- F) Los bastidores metálicos en ocasiones son reemplazados por madera, mucho más barata y accesible. Sistema no portante.



Figura N°47. Muro de botellas con bastidor de madera.

- G) A veces las botellas son colocadas paralelamente a la fachada, utilizando el menor espesor de entre todas sus posibilidades. Estos muros no son portantes debido a su extrema delgadez.



Figura N°48. Muro de botellas con bastidor metálico utilizando el lado menor.

- H) Otros sistemas apuestan por el sentido transversal de la botella con respecto la dirección del muro, sin ningún tipo de aglomerante entre sus juntas, pero con las botellas rellenas de tierra. Este sistema podría considerarse portante si los muros no fuesen rectilíneos, si no curvilíneos para poder repartir los esfuerzos laterales.



Figura N°49. Muro de botellas a hueso (sin mortero entre juntas).

- I) Muros portantes atados.



Figura N°50. Atado de las botellas en Honduras en 2007 y Kajunga, Uganda en 2010.

Analizando todas las variantes constructivas vistas, tanto portantes como no portantes, y todas las disposiciones de botellas posibles, las más estables estructuralmente hablando son las que mayor estabilidad tienen por la geometría inherente de la botella, en este caso las botellas se comportan infinitamente mejor si se colocan en horizontal, en sentido perpendicular a la dirección del muro, como en la siguiente imagen.



Figura N°51. Disposición horizontal de botellas.

Esta disposición mejora la capacidad de carga máxima por ser mayor su superficie frente a la dispuesta en sentido longitudinal al muro, mejor aislamiento gracias a su espesor y mejor resistencia frente al sismo.

Si la comparamos con la posición vertical, las botellas dispuestas en horizontal aprovechan mayor cantidad de superficie a compresión, además de esta forma la botella se encuentra de forma natural en su posición mas estable, otro motivo a destacar es el espesor del muro, que aumenta considerablemente respecto al posicionamiento en vertical, lo que tiene repercusiones muy beneficiosas para la estabilidad del conjunto porque reduce el coeficiente de esbeltez, y por lo tanto el pandeo.

A su vez, la disposición horizontal, siempre que el eje de la botella se coloque perpendicular a la superficie del muro, aumenta la cantidad de material entre el exterior y el interior, lo que se traduce en menos pérdidas caloríficas, y mayor inercia térmica independientemente del relleno que tenga en su interior.

En cuanto a la geometría que debe adoptar el sistema constructivo en su conjunto, teniendo en cuenta que tras la colocación de una carga sea puntual o repartida, la distribución entre las botellas es de la siguiente forma.

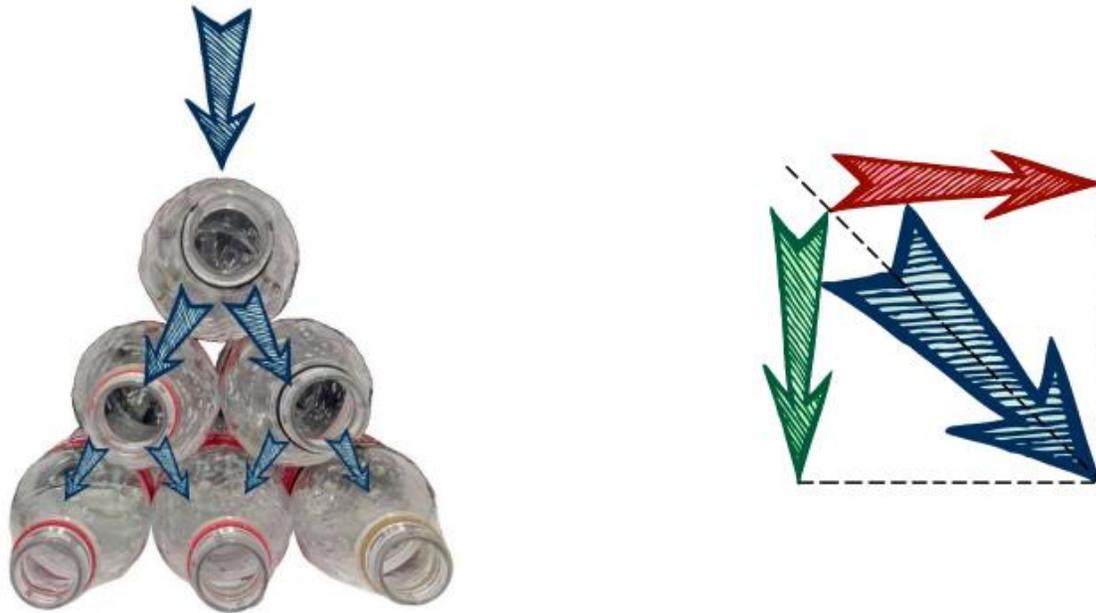


Figura N°52. Transmisión de esfuerzos entre botellas (izq). Descomposición de fuerzas; verde transmisión al terreno, roja fuerza horizontal (der).

Se observa que la componente vertical verde descarga en el terreno, mientras que la componente roja produce empujes horizontales que tienden a abrir el muro hacia los laterales. Dado este efecto se opta por la disposición sinusoidal, es decir, la forma curva para la construcción de los muros, lo que facilita la transmisión de esfuerzos horizontales entre botellas resultado de aplicar carga vertical a un elemento. De esta forma unas botellas ejercen presión contra las otras sin abrir el muro.



Figura N°53. Geometría sinusoidal para muros de botellas.

Cabe destacar que también podría obtenerse una solución con un formato mas tradicional, pero deberían considerarse otras formas de refuerzo estructural para que las paredes no colapsen.

9. CONCLUSIONES

Gracias a el análisis que se realizó en el presente trabajo podemos destacar algunas de las características más importantes para la utilización de las ecoladrillos en la construcción:

- ✓ Espesor: las botellas que mejor se adaptan son las de mayor espesor, es decir las de 0.45 y 0.6mm.
- ✓ Relleno: las botellas que tienen mayores resistencias son las que se rellenaron con suelo arenoso.
- ✓ Conformación para muros portantes sin estructura adicional: Disposición sinusoidal por la distribución de las cargas, para evitar desplazamientos. En este caso las botellas deben estar en posición horizontal
- ✓ Conformación de muros no portantes: pueden estar de forma vertical y con cualquier tipo de relleno, siempre y cuando tengan un refuerzo para poder sostenerlas.

Para el caso particular de una vivienda en Bahía Blanca, por lo general los terrenos son de poco ancho por lo que una vivienda en forma sinusoidal estaría muy limitada el espacio y se debería estudiar muy bien el proyecto para poder implantar la vivienda en el lote de manera de poder cumplir con todos los requerimientos del código de planeamiento urbano y el código de edificación.

A su vez, solo se cuenta con normativa para Construcción con tierra cruda, en cuanto a viviendas sustentables, por lo que se debería solicitar una norma para habilitar este tipo de construcción.

En cuanto a la obtención del material para poder construir, en Bahía Blanca existe una organización "Botellas con Amor" que se encarga de juntar botellas con relleno de plástico, por lo que se podrían utilizar para la construcción de viviendas en la localidad.

Con respecto a la mano de obra, la puede realizar cualquier persona con los conocimientos básicos de albañilería, tal como se está realizando en el comedor y centro comunitario Casita de Cristal de esta localidad.

Finalmente podemos concluir que los ecoladrillos si son un alternativa eficiente y sostenible que puede mitigar en gran medida el impacto ambiental negativo que genera la disposición inadecuada de los residuos plásticos de un solo uso.

Las ecobotellas son un propuesta de acción positiva, pero se puede hacer más, pequeñas acciones generan grandes cambios, y esta estrategia es ambiental y económicamente viable para lograr una adecuada gestión de los plásticos de un solo uso, solo se requiere de una adecuada separación en la fuente, compromiso social y, consumo consciente y responsable de los productos de este material para aumentar el desarrollo sostenible y disminuir las cifras de contaminación por plásticos y microplásticos.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Ecoladrillos, estudio y propuesta de tabiques para el medio local. Universidad de Cuenca – Daniela Coronel González y Ma. Gabriela Lituma Rodas
- <https://www.sustentartv.com/botellas-20210333407/>
- Caracterización de botellas PET para su uso como elementos constructivos de muros de carga – Espinosa – Guzmán
- Construcción con botellas de plástico – Análisis y mejora de elementos y sistemas constructivos estructurales – Jonatan González Sánchez
- <http://www.politicaspUBLICAS.uncu.edu.ar/articulos/index/generacion-de-residuos-de-plastico-la-importancia-de-la-prevencionLue>
- <https://www.facebook.com/botellasconamorbahia blanca>