



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

” ELABORACIÓN LADRILLOS ECOLÓGICOS A PARTIR DE BOTELLAS PLÁSTICAS RECICLADAS FABRICADAS EN PET COMO ELEMENTO BÁSICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL MUNICIPIO DE CALDAS BOYACA”

WILLIAM EDGARDO ALZATE VILLAMIL

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS- PRIMER CLAUSTRO UNIVERSTARIO DE
COLOMBIA**

**FACULTAD DE CONSTRUCCION EN ARQUITECTURA E INGENIERIA
SEDE BOGOTÁ- NOVIEMBRE DE 2022**



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

” ELABORACIÓN LADRILLOS ECOLÓGICOS A PARTIR DE BOTELLAS PLÁSTICAS RECICLADAS FABRICADAS EN PET COMO ELEMENTO BÁSICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA UNIFAMILIARES EN EL MUNICIPIO DE CALDAS BOYACA.”

WILLIAM EDGARDO ALZATE VILLAMIL

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

CONSTRUCTOR EN ARQUITECTURA E INGENIERIA

DIRECTOR:

Ing. MIGUEL ANGEL GRANADOS PEÑARANDA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS- PRIMER CLAUSTRO UNIVERSTARIO DE
COLOMBIA**

FACULTAD DE CONSTRUCCION EN ARQUITECTURA E INGENIERIA

SEDE BOGOTÁ- NOVIEMBRE DE 2022

RESUMEN

ELABORACIÓN LADRILLOS ECOLÓGICOS A PARTIR DE BOTELLAS PLÁSTICAS RECICLADAS FABRICADAS EN PET COMO ELEMENTO BÁSICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL MUNICIPIO DE CALDAS BOYACA.

El presente documento contiene el trabajo investigativo y de consulta de diferentes fuentes bibliográficas relacionadas con los materiales empleados para la elaboración de ladrillos ecológicos y su uso en la construcción de viviendas sostenibles.

Por otro lado, se describe el proceso para la elaboración de los ladrillos ecológicos, además de los materiales, propiedades tanto físicas como químicas y las proporciones a utilizar en el relleno de las botellas de plástico reciclable PET, las cuales serán recolectadas por medio de campañas de reciclaje dirigidas a la población del municipio de Caldas Boyacá.

Esta investigación también muestra los resultados obtenidos al utilizar el ladrillo ecológico como sistema constructivo de muros para la vivienda según los parámetros exigidos por la NSR-10 reglamento colombiano para construcciones sismorresistente.

También se presenta una propuesta económica donde se relacionan los costos de construcción en modelo tradicional y con el uso de ladrillos ecológicos. Al realizar la evaluación del proyecto se pudo observar que se puede implementar de manera eficiente el uso del PET en el modelo de vivienda unifamiliar contribuyendo con el medio ambiente y mitigando la contaminación ambiental desde el área de la ingeniería civil.

Palabras Clave: Ladrillo ecológico, PET, medio ambiente, construcción sostenible, reciclaje.

ABSTRACT

PRODUCTION OF ECOLOGICAL BRICKS FROM RECYCLED PLASTIC BOTTLES MADE OF PET AS A BASIC ELEMENT FOR THE CONSTRUCTION OF A SINGLE-FAMILY HOUSE.

This document contains the research and consultation of different bibliographic sources related to the materials used for the elaboration of ecological bricks and their use in the construction of sustainable housing.

On the other hand, the process for the elaboration of ecological bricks is described, as well as the materials, physical and chemical properties and the proportions to be used in the filling of PET recyclable plastic bottles, which will be collected through recycling campaigns directed to the population of the municipality of Caldas Boyacá.

This research also shows the results obtained by using the ecological brick as a construction system of walls for housing according to the parameters required by the NSR-10 Colombian regulation for seismic-resistant constructions.

An economic proposal is also presented where the construction costs are related to the traditional model and the use of ecological bricks. The evaluation of the project showed that the use of PET can be efficiently implemented in the single-family house model, contributing to the environment and mitigating environmental pollution from the area of civil engineering.

Keywords: Ecological brick, PET, environment, sustainable construction, recycling.



Contenido	Pág.
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
INTRODUCCION	8
PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA	9
OBJETIVOS	9
Objetivo General	9
Objetivo específico	9
MARCO TEORICO	10
PROCESO DE INVESTIGACION Y METODOLOGIA	11
1. Medio ambiente y el uso del plástico.	11
2. Características y uso de las botellas plásticas en la construcción	13
2.1. Propiedades Químicas	14
2.2. Propiedades Físicas	14
3. Botellas como elemento constructivo	14
3.1. Influencia del espesor de plástico	14
3.2. Influencia del relleno de botella	15
4. Sistema constructivo	17
4.1. Disposición de botellas en el espacio	17
4.2. Muros usados actualmente tanto portantes como no portantes	18
ELABORACION DEL LADRILLO ECOLOGICO	23
5. PET con arena, icopor y cascara de arroz	23
5.1. Propiedades de la Arena	23
5.2. Propiedades del Icopor	24
5.3. Propiedades de la cascara o cascarilla de arroz	24
6. Relleno de botella PET con arena, icopor y cascara de arroz	24
PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA CONTRUCCION DE LA VIVIENDA	27
PROCESO CONSTRUCTIVO DE VIVIENDA USANDO LADRILLO ECOLOGICO	28



7.	Adecuación del terreno	28
7.1.	Preparación del terreno	28
7.2.	Nivelación del terreno	29
7.3.	Estructura de vigas y columnas en concreto	31
8.	Ejemplo de construcción de vivienda usando ladrillo ecológico	32
8.1.	Levantamiento de muros	32
8.2.	Base para el techo	33
8.3.	Instalación de servicios básicos	34
8.4.	Servicio de agua	35
	MODULO DE ECOLADRILLOS TERMINADO	35
9.	Recolección del material	36
10.	Propuesta económica	37
	CONCLUSIONES	39
	BIBLIOGRAFIA	40
	ANEXOS	41



Lista de tablas	Pág.
Tabla 1: Clasificación de plástico. Tomado de Diseño del Proceso de Producción de Ladrillos Basados en Plástico Reciclado – PIURA (Noviembre, 2019).	12
Tabla 2: Tipo de reciclaje. Tomado de Diseño del Proceso de Producción de Ladrillos Basados en Plástico Reciclado – PIURA (Noviembre, 2019).	12
Tabla 3: Costo de construcción de muros tradicionales. Elaboración propia del autor.	36
Tabla 4: Costo de construcción de muros en ladrillos ecologicos. Elaboración propia del autor.	37

INTRODUCCION

En la actualidad podemos ver como los desechos generados por el ser humano es uno de los factores que impactan el medio ambiente de manera negativa en todo el mundo, en los ríos mares y cuerpos de agua vemos como se encuentran cientos de desechos que tardan años en su descomposición generando no solo daño al ecosistema si no problemas de salud; el crecimiento de la población sumado con el desarrollo de la industria ha generado un incremento en la generación de residuos sólidos.

Desde el área de la ingeniería civil sostenible se ha querido plantear varios diseños de proyectos de construcción más amigables con el medio ambiente; es aquí donde surge la idea de la creación de ladrillos ecológicos fabricados con los residuos de las botellas PET o de plástico reciclable, con la finalidad de que estos ladrillos sean utilizados en la construcción de viviendas para la población de escasos recursos o con limitaciones económicas.

Con las características físicas y químicas que presenta el PET, y según varios estudios realizados este material cumple con las especificaciones de resistencia para ser usados en la construcción de estructuras tradicionales; además es importante resaltar que medio ambiente se ve impactado de manera positiva ya que al realizar las campañas de recolección de las botellas la población disminuirá el número de elementos que arrojan a diario en la naturaleza.

Desde el año de 1976 el PET ha sido utilizado para la fabricación de envases ligeros, transparentes, brillantes y con alta resistencia a impactos, la reutilización del PET a incluso contribuido a reducir los impactos en el medio ambiente al dejar de utilizar otro tipo de materiales más contaminantes. Aguirre, Rodríguez, (2016)



PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA

La contaminación ambiental es uno de los mayores problemas ambientales en nuestro país y podemos ver como varias organizaciones ambientales sumen esfuerzos por mitigar el daño al medio ambiente. Por esta razón desde el área de la ingeniería civil se plantea el proyecto de elaboración de ladrillos ecológicos y el impacto que puede generar en la comunidad del municipio de caldas Boyacá, con la construcción de una innovadora vivienda unifamiliar construida con materiales que ellos mismos desechan; además, se pretende implementar la utilización de nuevas técnicas de construcción con los elementos estructurales que contribuyan al medio ambiente.

OBJETIVOS

Objetivo General

Elaborar un ladrillo ecológico a partir de botellas plásticas reciclables fabricadas en PET, las cuales se llenarán de una mezcla a base de arena, icopor y cascarilla de arroz, para mantener la forma, resistencia y durabilidad.

Objetivo específico

- ✓ Realizar una revisión a las diferentes fuentes bibliográficas que relacionen la elaboración de ladrillos ecológicos y la construcción de viviendas usando dichos ladrillos.
- ✓ Basados en la NSR-10 y en las diferentes normas de construcción, plantear el diseño de una vivienda unifamiliar que garantice seguridad y confort a la población a la cual va dirigido el proyecto.
- ✓ Caracterizar el modelo de vivienda para la utilización de los ladrillos ecológicos como elementos constructivos
- ✓ Promover el reciclaje en la población del municipio de Caldas Boyacá por medio de proyectos innovadores como la construcción de vivienda con ladrillos ecológicos.
- ✓ Realizar la comparación de costos de la construcción de un muro tradicional y uno con ladrillos ecologicos.



MARCO TEORICO

Diseño y Construcción de un Módulo de Vivienda con Botellas Recicladas

Uno de los proyectos denominados Diseño y Construcción de un Módulo de Vivienda con Botellas Recicladas es la continuación de varias investigaciones que se han venido desarrollando en el mismo contexto alrededor del mundo, este tipo de vivienda presenta beneficios ambientales y económicos para población de escasos recursos económicos, empleando materiales recicles de como plásticos bajo el concepto de ecosostenibilidad.

ECO-TEC Soluciones Ambientales

Uno de los referentes más importantes a nivel mundial es ECO-TEC Soluciones Ambientales, dicha empresa ofrece asesorías ambientales y específicamente en el manejo y aprovechamiento de residuos sólidos; esta organización se estable en el año 2001 en Honduras, Colombia y Bolivia, para dar soluciones innovadoras a la problemática de las basuras; dentro de las políticas ambientales y sociales de ECO-TEC se encuentra el desarrollo de varios proyectos con problemáticas de basura, además pone en marcha un sistema de autoconstrucción utilizando botellas PET remplazando el ladrillo tradicional por un eco ladrillo relleno de diferentes materiales, uniéndolos uno so con otros para formar una estructura.

A nivel local dicha empresa junto con el grupo de investigación de materiales y estructuras (GRIME) de la Pontificia Universidad Javeriana desarrollaron una seria de pruebas de resistencia mecánica para comprobar la resistencia de las botellas PET rellenas y de su comportamiento mecánico en muros para determinar su resistencia en caso de colapso.

Ensamble módulo de vivienda con ladrillos de plástico

Otro de los proyectos pioneros se denomina “Ensamble módulo de vivienda con ladrillos de plástico” construido en la fundación Kyrios en el cual se emplea material reciclable como el PET (Polietileno tereftalato) y el PP (Polipropileno) o con el cual se construyeron vigas y los ladrillos que conforman la vivienda.

PROCESO DE INVESTIGACION Y METODOLOGIA

1. Medio ambiente y el uso del plástico.

Con el paso de los años el problema de la contaminación ambiental relacionado con el uso desmedido de envases plásticos ha generado un alto impacto ambiental en el mundo deteriorando los ecosistemas causando pérdidas significativas en la flora y fauna. Hablando específicamente del plástico, por sus características de flexibilidad y bajo costo ha sido uno de los productos derivados del petróleo más utilizados en el mundo, lo que ha llevado a su producción de forma masiva.

La producción del plástico tiene su mayor acogida desde al redor de los años cincuenta el cual ha ido aumentando de manera progresiva, llegando a producir en la actualidad más de cien millones de toneladas de plástico al año, que tardan entre ciento cincuenta a mil años en descomponerse.

Los plásticos que se producen en mayor proporción son el polietileno, polyester, polipropileno y cloruro de polivinilo y un alto porcentaje de este plástico se utiliza en la elaboración de envases de un solo uso, generando un alto volumen de contaminación en el medio ambiente y la forma en que los seres humanos los desechan han generado la extinción de especies marinas.

Además, la falta de realización de procesos naturales y que diferentes cuerpos acuáticos se llenen de algas y flora nociva como mecanismo de defensa, desaparición y sequía de diferentes cuerpos de agua, falta de pureza en el agua que se encuentra en cuerpos que la habitan, entre otros. (Admin Rotoplast, 2019).

La contaminación ambiental es un problema a nivel mundial y es generado por la producción desmesurada de plástico en los últimos años, es importante mencionar que el plástico no es el único contaminante del medio ambiente, si no que por el contrario la falta de cultura de reutilización y conciencia del ser humano lo posiciona como la causa principal de dicho problema. (Estévez, 2019)

Teniendo en cuenta lo anterior es necesario realizar una clasificación de los plásticos de acuerdo con su naturaleza y así lograr una muy buena disposición de los mismos al momento de ser reciclados. En la tabla 1 se puede encontrar dicha clasificación en tres categorías:

Clasificación de plásticos		
Reciclables	No muy reciclables	Ocasionalmente reciclables
PET (polietileno) Botellas de agua y otras bebidas	PVC (Cloruro de polivinilo) Botellas de aceite	LDPE (Polietileno de baja densidad) Envoltorios de alimentos
HDPE (Polietileno de alta densidad) Botellas de detergente, vasos, envases de yogur.		PP (polipropileno) Pañales, envases de yogur. PS (Poliestireno) Cajas de huevos

Tabla 1: *Clasificación de plástico.* Tomado de Diseño del Proceso de Producción de Ladrillos Basados en Plástico Reciclado – PIURA (Noviembre, 2019).

De la misma manera como se clasifican los plásticos teniendo en cuenta su naturaleza es importante determinar el tipo de reciclaje que se le da al plástico. En la tabla 2 podemos observar el tipo de reciclaje que se dará según su naturaleza.

Tipo de reciclaje			
Primario	Secundario	Terciario	Cuaternario
Conversión del desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas idénticas a las del material original. Se realiza con termoplásticos tipo PET, HPDE, LPDE, PP, PS y	Se convierte el plástico en artículos con propiedades inferiores a las del polímero original. Se usa en termoestables que están contaminados. En este caso no es necesario limpiar, se	El polímero se degrada en compuestos químicos básicos y combustibles. Se diferencia de los anteriores en que además de un cambio físico hay un cambio químico.	Calentamiento del plástico para usar la energía térmica liberada de este proceso para llevar a cabo otros procesos, es decir, se usa como combustible para obtener energía.



PVC. Es necesario un proceso de separación y limpieza.	mezclan con tapas de aluminio, papel, polvo, etc., y se muelen y funden juntos en un extrusor. Se usan como áridos en la construcción de carreteras.	Los métodos más usados son pirólisis y gasificación.	Problema: generación de contaminantes gaseoso y de cenizas altamente contaminantes.
--	--	--	---

Tabla 2: *Tipo de reciclaje.* Tomado de Diseño del Proceso de Producción de Ladrillos Basados en Plástico Reciclado – PIURA (Noviembre, 2019).

2. Características y uso de las botellas plásticas en la construcción

Existe gran variedad de residuos que se encuentran disponibles para ser reutilizados, algunos de estos requieren ciertos tratamientos y procesos preindustriales para finalmente poder ser reutilizados, existen también otros que no requieren estos procesos, dichos residuos son los que se pretenden estudiar en el presente documento.

Green Peace en uno de sus artículos titulado “Como llega el plástico a los océanos y que sucede entonces” relata como el plástico puede presentar un proceso de descomposición de hasta 500 años, lo que es altamente negativo para el medio ambiente pero positivo si vemos el plástico como material para construcción ya sea como bloque o ladrillo. El PET (Polietileno Tereftalado) se ha convertido en uno de los materiales más utilizados para la fabricación de botellas desde su creación en 1976 y en los últimos años se ha visto un gran aumento en el uso de este debido al incremento de la demanda de envases para la industria alimentaria.



2.1. Propiedades Químicas

Gran resistencia del PET a grasas, aceites, alimentos, soluciones diluidas, jabones, sales, soluciones diluidas de ácidos minerales, alcoholes e hidrocarburos alifáticos, por otro lado, presenta baja resistencia a solventes, sustancias aromáticas y acetonas, entre otros.

2.2. Propiedades Físicas

Excelentes propiedades térmicas, buen comportamiento cuando es sometido a esfuerzos permanentes, buena barrera frente al CO₂ y aceptable barrera cuando se trata del oxígeno y la humedad. Es reciclable en su totalidad, es cristalino, por lo que puede facilitarse para el paso de luz a través del mismo. Presenta gran resistencia al desgaste, es apto al contacto con alimentos, es ligero y como propiedad no muy favorable presenta un alto coeficiente de deslizamiento. Otra forma de uso en la construcción es la de añadir plástico de botella en el mortero para mejorarlo tal como propone *Andre Vazquez Greciano* en su trabajo titulado “*Refuerzo estructural con PET reutilizado, aplicación en adobe*”. Existen otro tipo de propuestas como la del arquitecto *John Habraken* para Heineken llamada “*Wobom*” que presenta un tipo singular de botella la cual cuenta con ciertas características para su posterior utilización en la industria de la construcción.

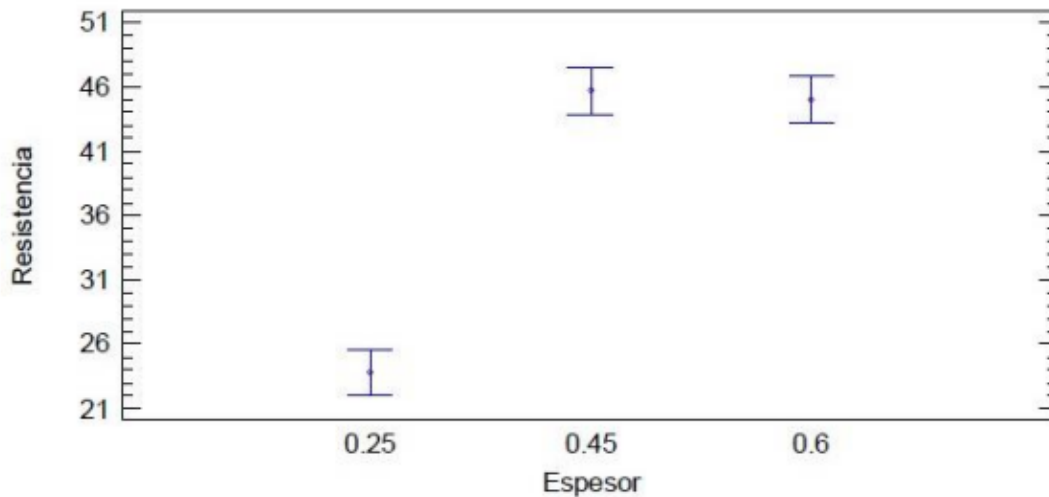
Sin embargo, como se mencionó anteriormente estos procesos requieren de medidas adicionales que terminan encareciendo y dificultando el proceso.

3. Botellas como elemento constructivo

3.1. Influencia del espesor de plástico

El espesor de la botella de plástico independientemente del relleno utilizado es muy importante a la hora de determinar la resistencia a compresión tal y como indican Espinosa-Guzmán, Francisco A. autores de “*Caracterización de botellas PET para su uso como elementos constructivos de muros de carga*”. Es por esto que los espesores a utilizar serán los más abundantes dentro de los residuos de botellas ya que son los que otorgarán mayor resistencia. En el presente experimento se analizaron 3 tipos de botella con espesores de

0.25mm que corresponde a una botella de agua mineral, y otros dos de 0.45mm y 0.60mm correspondientes a botellas de refrescos, obteniendo los siguientes resultados.



Gráfica 1. Relación entre espesor de botella (mm) y resistencia a compresión (KN) con mismo tipo de relleno. Caracterización de botellas PET para su uso como elementos constructivos de muros de carga. Tomado de construcción con botellas de plástico (González, 2019)

3.2. Influencia del relleno de botella

Dependiendo del uso que queramos darle las botellas pueden ser llenadas con distintos materiales, desde aire si se quiere un aislamiento sencillo y barato, agua si se quiere una buena inercia térmica, hasta diferentes rellenos como tierra, barro o escombros si lo que se busca es darle un uso estructural, las botellas también pueden ser rellenas con otros materiales como serrín si se desea uso para aislamiento hasta aun largo y tendido etc. Sin embargo, Espinosa-Guzman y Francisco A. recomiendan utilizar un relleno con densidad no menor a 1.5gr/cm con presencia de suelos arenosos y materiales finos, a continuación, se mostrarán diferentes curvas granulométricas de un ensayo de compresión para tres suelos distintos.



Gráfica 2. Curva granulométrica tierra T (Tepetate). Caracterización de botellas PET para su uso como elementos constructivos de muros de carga. Gráfica de análisis granulométrico suelo 1. Tomado de construcción con botellas de plástico (González, 2019)



Gráfica 3. Curva granulométrica tierra S (Arena muy limosa). Caracterización de botellas PET para su uso como elementos constructivos de muros de carga. Gráfica de análisis granulométrico suelo 3. Tomado de construcción con botellas de plástico (González, 2019)



Gráfica 4. Curva granulométrica tierra J (Arena bien graduada con grava).

Caracterización de botellas PET para su uso como elementos constructivos de muros de carga. Gráfica de análisis granulométrico suelo 2. Tomado de construcción con botellas de plástico (González, 2019)

Realizando el análisis de las tres curvas de manera simultánea, podemos deducir que las arenas con mayor porcentaje de finos presentan mejores resultados en cuanto a resistencia a compresión, siendo capaces de tener mayores compacidades dentro de la botella, sin tener en cuenta el espesor de la botella.

4. Sistema constructivo

4.1. Disposición de botellas en el espacio

Si bien las botellas se pueden ubicar de múltiples maneras, desde mosaico, verticalmente, hasta horizontalmente, etc. Se ha optado por ubicarlas de acuerdo a un estudio en el que se evalúan varios casos de disposición en muros y sus respectivos comportamientos, para esto se clasificarán entre dos tipos de muros, los estructurales o portantes y los no estructurales.



✓ **Muros no estructurales**

Como este tipo de muros únicamente soporta su peso propio y el de uno que otro elemento mobiliario que necesite del muro se puede prestar menos importancia a las características mecánicas del relleno de la botella y desviar la atención a otras propiedades como las térmicas, las de iluminación, decorativas etc.

Los elementos no portantes son puestos entre elementos estructurales de soporte, como marcos, pilares, bastidores, entre otros, su relleno suele estar entre juntas con materiales que variarán dependiendo del objetivo que se quiera. Para este tipo de muros la disposición de botellas puede ser vertical y horizontal, pero la más óptima es la vertical ya que es la que menos superficie de la vivienda ocupa y cumple con los requerimientos que exigen al muro, aunque para muros exteriores se recomienda la disposición horizontal de manera perpendicular al muro, esto para obtener mayor inercia térmica.

✓ **Muros estructurales**

Puesto que estos muros deben soportar cargas verticales y horizontales de tipo estructural la botella utilizada debe cumplir con ciertas características mecánicas suficientes que garantice la integridad de la estructura construida. Es por esto que se le dará enfoque especial en el presente documento, y si bien existe gran variedad de tipos de relleno y distintos tipos de muros estructurales solo se estudiarán los que se encuentran al alcance teniendo en cuenta un contexto de cooperación y desarrollo, buscando un enfoque en economía por lo que el agua y distintos tipos de suelo serán los principales elementos a trabajar.

El sistema constructivo siendo tan importante como el material a utilizar puede ser muy variable pero como se mencionó anteriormente se optará por la opción que nos brinde mayor economía y facilidad para adquirirlo.

4.2. Muros usados actualmente tanto portantes como no portantes

1. En este sistema se rellenan las botellas y la disposición a utilizar será vertical, utilizando la parte central de una botella para unir las otras dos; las botellas quedarán confinadas dentro de una malla metálica que ayude a evitar el pandeo de la estructura,



si bien no se tienen datos de el grosor de la estructura las imágenes dejan ver la inseguridad del sistema.



Imagen 5. Unión vertical de botellas (izq), Elementos de refuerzo de unión (cen).
Confinamiento vertical dentro de malla de acero (der). El PET como sistema alternativo para la construcción de muros en la vivienda. Tomado de construcción con botellas de plástico (González, 2019)

2. Para este sistema se empotran las botellas unas a otras de tal manera que queden verticalmente dispuestas, luego quedan confinadas dentro de una estructura metálica que será revestida con mortero, este tipo de sistema es dudosamente portante ya que las botellas están vacías por lo que la resistencia y estabilidad de la estructura recaerán únicamente en la armadura metálica y en la cuantía de acero que se tenga.



Imagen 6. *Confinamiento dentro de estructura metálica (izq), Empotramiento por el culo de la botella (der).* Diseño y desarrollo experimental de un panel a base de botellas PET, para ser utilizado en construcciones de muros en viviendas. Tomado de construcción con botellas de plástico (González, 2019)

3. Las botellas se colocan en un armazón de acero que será posteriormente revestido con mortero, de nuevo la capacidad portante será determinada por la cuantía de acero y no por las botellas



Imagen 7. *Confinamiento dentro de estructura metálica.* Fuente: www.plasticbottlevillage-theline.com (consultado el 08/11/2018). Tomado de construcción con botellas de plástico (González, 2019)

4. En este sistema se opta por un sentido transversal de la botella respecto a la dirección del muro, no se usa aglomerante entre las juntas, pero se rellenan las botellas con tierra, puede considerarse portante si los muros no son rectilíneos si no curvos para que los esfuerzos laterales puedan ser repartidos de manera eficiente:



Imagen 8. Muro de botellas a hueso (sin mortero entre juntas). Fuente: Pinterest (consultado en 18/11/2018). Tomado de construcción con botellas de plástico (González, 2019)

5. Este sistema es muy similar al anterior, pero se usan conglomerantes como unión entre piezas o incluso amarrar las botellas entre ellas, lo que permite mayor estabilidad, estos muros pueden considerarse portantes.



Imagen 9. *Atado de las botellas en Honduras en 2007 y Kajunga, Uganda en 2010.*

Fuente: <http://ecococos.blogspot.com/> . Artículo: sistema constructivo con botellas de plástico: ecotec. Tomado de construcción con botellas de plástico (González, 2019)

Si bien se han mostrado distintos tipos de variantes constructivas si lo que se busca es estabilidad estructural la mejor disposición es la de botellas en sentido horizontal, perpendicular a la dirección del muro, como se muestra a continuación:



Imagen 10. *Disposición horizontal de botellas.* Caracterización de botellas PET para su uso como elementos constructivos de muros de carga. Tomado de construcción con botellas de plástico (González, 2019)

Como en esta disposición se presenta mayor espesor y su superficie es mayor se mejora la capacidad de carga máxima y adicional a esto se obtiene mayor aislamiento y eficiencia sismorresistente. Por otra parte, también se aumenta la resistencia al pandeo que se calcula de la siguiente manera:

$$\lambda_b = \alpha L \sqrt{\frac{A}{I_m}}$$

Donde α es un valor adimensional que relaciona la esbeltez flexional natural y la esbeltez flexional, que dependerá del tipo de conexión en los extremos, en este caso como ambas configuraciones tienen el mismo tipo de enlace no afectará la comparación entre esbeltez en ambos sistemas

L es la longitud del elemento, este caso el muro hecho con botellas

A es el valor del área y,

I_m es el momento de inercia mínimo de la sección transversal

Por lo tanto, entre mayor sea λ_b (esbeltez) peor será el comportamiento del muro, lo que se explica por que entre menor sea el área de la sección transversal A mayor será el valor de la esbeltez λ_b , y el valor del área de la sección transversal es menor cuando la disposición de las botellas es vertical y mayor cuando la disposición es horizontal.

Adicional a esto al usarse una disposición horizontal aumenta la cantidad de material entre el interior y el exterior, lo que conlleva a menores pérdidas caloríficas y mayor inercia térmica, sin discriminar entre el material de relleno que se haya querido utilizar.

ELABORACION DEL LADRILLO ECOLOGICO

5. PET con arena, icopor y cascara de arroz

5.1. Propiedades de la Arena

La arena es un material muy usado en la industria de la construcción, este es el resultado de la desintegración de forma natural de las rocas; sus propiedades físicas que son resistencia, dureza, y durabilidad hacen que este material sea el apropiado para la mezcla de mortero del proyecto.

5.2. Propiedades del Icopor

El Icopor, también denominado como poliestireno expandido presenta ciertas características físicas por las cuales es utilizado en la industria de la construcción. Algunas de sus propiedades como su resistencia mecánica que es aproximadamente un 10% en flexión al corte ya la tracción; es un muy aislante térmico además de tener un muy comportamiento frente a los diferentes factores atmosféricos como la luz.

5.3. Propiedades de la cascara o cascarilla de arroz

Según el ministerio de agricultura Colombia es uno de los países con mayor producción de arroz, centrando dicha producción en 212 municipios del país siendo los llanos orientales donde se extrae la mayor cantidad. (Ministerio de agricultura, 2017)

Basados en varios estudios de investigación realizados se pudieron determinar las características físicas de la cascarilla de arroz donde se pudo observar que es una fuente potencial de energía, además presenta valores altos de impermeabilidad y resistencia. También presenta otras características como lo liviano y el buen drenaje que presenta.

Por las razones anteriores fue seleccionado para a mezcla de mortero para el ladrillo ecológico.

6. Relleno de botella PET con arena, icopor y cascara de arroz

Dadas las propiedades de la arena el llenado se hizo sencillo con la ayuda de un embudo, pero como puntos en contra se tiene que la botella PET queda con un peso elevado y para la estructura se necesitan más de 2000 botellas, adicional a esto si bien la arena tiene un costo relativamente bajo lo ideal es utilizar materiales que no tengan costo.

Las botellas funcionan como eco-ladrillos, en este caso se seleccionaron las botellas de plástico PET, ya que como lo mencionamos anteriormente por sus propiedades físicas y químicas resultan ser estructuralmente resistentes, de bajo peso y asegura condiciones térmicas adecuadas, permitiendo dar acceso a la vivienda familiar de bajos recursos.

El plástico PET tiene resistencia estructural, térmica y aislamiento acústico, esa fue la razón por la que se decidió usar ese material.

El ecoladrillos se construirá así:

- ✓ Después de tener la cantidad suficiente de botellas se dispondrá a la selección según su tamaño; para este caso se seleccionarán las botellas de 1.5L, 2L, 2.5L, y 3L; se retira la etiqueta y elementos que puedan tener en su interior y puedan afectar el buen desempeño del ladrillo.
- ✓ Una vez ya sean seleccionadas, se procede a realizar su lavado y secado. El secado se recomienda que sea por el medio ambiente.
- ✓ Se realiza la mezcla de los materiales seleccionados que son arena, la cascarilla de arroz y el icopor en grano en los siguientes porcentajes: arena 50% cascarilla de arroz 25% icopor 25%
- ✓ Se realizará la mezcla en un lugar libre de partículas, puede ser una caneca, seguido se tomará botella por botella y se ira llenando con un embudo ayudado con un pisón pequeño a medida que se esté llenando para mejorar su compactación entre elementos.
- ✓ Por último, se tapara cada botella y se ira almacenando en un lugar específico el cual será solo para su almacenamiento el cual esté libre de humedad y donde no le dé el sol.

En las siguientes imágenes podemos observar el proceso de la elaboración del ladrillo ecológico con la mezcla de materiales seleccionados previamente



Imagen 11, 12, 13. Disposición de los materiales arena, icopor y cascarilla de arroz para el relleno de las botellas PET. Fuente del autor.



Imagen 14, 15, 16. Mezcla de los materiales arena, icopor y cascarilla de arroz para el relleno de las botellas PET. Fuente del autor.



Imagen 17, 18, 19. *Proceso de relleno se las botellas PET con de los materiales arena, icopor y cascarilla de.* Fuente del autor.

PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA CONTRUCCION DE LA VIVIENDA

En la presente investigación se planteó propuesta de diseño para la construcción de la vivienda usando los ladrillos ecológicos planteados con anterioridad, dicha propuesta consiste en una casa de 6 m de frente por 7.08 de fondo; la cual tendrá dos habitaciones una principal, un baño, sala comedor cocina y un pequeño patio la cual será construida en sus muros con ladrillos ecológicos y en su estructura se utilizará concreto y varilla.

Los soportes del techo serán peinazos de madera se manejará madera que se encuentra a fácil disposición, a la final lo que se necesita es que estás puedan brindar un mejor toque arquitectónico a la estructura y a resistir ciertos esfuerzos dentro de la vivienda. La madera que elegio fue el eucalipto el cual será suministrado y cortado en la misma región de caldas Boyacá. La cubierta será en teja de zinc la cual será comprada por el constructor, este proyecto se trata de la elaboración de viviendas a muy bajo precio.

A continuación, se muestra el plano de diseño de dicha vivienda.

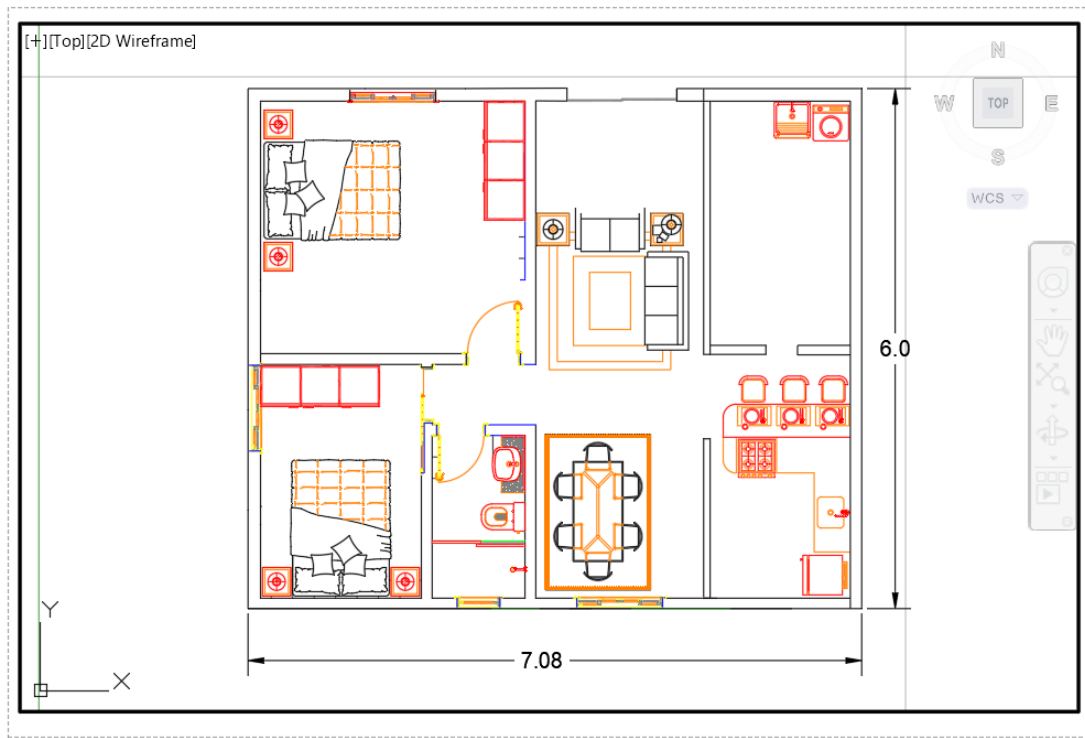


Imagen 20. *Diseño propuesto para la construcción de la vivienda usando ladrillos ecológicos en la construcción de muros. Fuente elaboración propia del autor.*

PROCESO CONSTRUCTIVO DE VIVIENDA USANDO LADRILLO ECOLOGICO

7. Adecuación del terreno

7.1. Preparación del terreno

Para la construcción de una vivienda se siguen una serie de pasos o pautas las cuales inician con la preparación del terreno procurando una nivelación óptima y la delimitación del área para la placa base. Para la limpieza del terreno se recomienda el uso de herramientas como machetes, azadones y palas, tal como se muestra a continuación:



Imagen 21. *Preparación del terreno.* Diseño y construcción de un módulo de vivienda con botellas reciclada. (Aguirre, Rodríguez, 2016). Trabajo de grado. Universidad Tecnológica de Pereira.

También se debe tener en cuenta que se deben realizar perforaciones guías en el terreno para la ubicación de tuberías de desagüe que desemboquen en el tanque séptico.

7.2. Nivelación del terreno

Posteriormente de la respectiva adecuación del terreno y luego del ensamblaje de las tuberías de desagüe, se extiende una capa de gravilla de manera uniforme que proporcionará firmeza al terreno y garantizará rigidez para la base de la estructura. Luego, se ubican estacas en los extremos o esquinas de la base, estas estacas se amarrará una cuerda que debe estar a la misma altura en cada punto ya que esta será la guía para la perfecta nivelación del terreno. El proceso está representado en las siguientes imágenes:



Imagen 22, 23, 24, 25. *Nivelación del terreno.* Diseño y construcción de un módulo de vivienda con botellas reciclada. (Aguirre, Rodríguez, 2016). Trabajo de grado. Universidad Tecnológica de Pereira.

Una vez nivelado el terreno se procede a instalar las formaletas de madera para el posterior vaciado de la placa base la cual será una mezcla de arena, cemento y gravilla para obtener una placa consistente y de gran resistencia, también se añadirá una malla electrosoldada la cual se hace necesaria para la compactación de la placa. Finalmente se debe dejar el espacio para el montaje y posterior anclaje de las columnas.

7.3. Estructura de vigas y columnas en concreto

La construcción de columnas y vigas se hizo siguiendo la normativa NSR-10 haciendo especial énfasis en los títulos A, B y C, especialmente el título C que proporciona los parámetros de diseño y construcción de estos elementos, el proceso de construcción y montaje consistió en instalar las armaduras sobre las perforaciones realizadas anteriormente una vez se ha solidificado la placa base, luego de esto se construyen las formaletas de madera para las columnas y las vigas, tal como se muestra a continuación:



Imagen 26, 27, 28. Estructura de vigas y columnas en concreto. Diseño y construcción de un módulo de vivienda con botellas reciclada. (Aguirre, Rodríguez, 2016). Trabajo de grado. Universidad Tecnológica de Pereira.

Para determinar el número de botellas necesarias para todos los muros se organizaron las botellas en 1m^2 y se realiza un sencillo cálculo para determinar cuántas botellas se necesitaban para ocupar el área de los muros restando el espacio de ventanas y puerta.

Las botellas se organizaron de manera horizontal con la boquilla apuntando al interior de la vivienda y los espacios entre botellas fueron rellenos con arena y cemento, como se muestra a continuación:



Imagen 29 Prueba para determinar el número de botellas. Diseño y construcción de un módulo de vivienda con botellas reciclada. (Aguirre, Rodríguez, 2016). Trabajo de grado. Universidad Tecnológica de Pereira.

8. Ejemplo de construcción de vivienda usando ladrillo ecológico

8.1. Levantamiento de muros

Al terminar la estructura básica se pretende levantar los módulos siguiendo la metodología mencionada anteriormente, dando como resultado el siguiente:



Imagen 30, 31. *Construcción de muros.* Diseño y construcción de un módulo de vivienda con botellas reciclada. (Aguirre, Rodríguez, 2016). Trabajo de grado. Universidad Tecnológica de Pereira.

Adicional a esto se construye una base de ladrillo sobre las vigas donde se ubicará el techo con una pendiente de 10% hacia el sur para el aprovechamiento de energía solar que será aprovechada por un colector solar

8.2. Base para el techo

Luego de instalados los muros y la base en ladrillo sobre las vigas se instalan las viguetas sobre las cuales irán las tejas solapadas una sobre otras con una distancia máxima de 1m entre apoyo, luego de instaladas las tejas se procede a realizar la fijación de estas por medio de amarres entre las tejas y las viguetas y vigas, luego de esto se procede a instalar las ventanas y la puerta.



Imagen 32, 33. *Bases para el techo.* Diseño y construcción de un módulo de vivienda con botellas reciclada. (Aguirre, Rodríguez, 2016). Trabajo de grado. Universidad Tecnológica de Pereira.

8.3. Instalación de servicios básicos

Finalmente se implementó la instalación de lavamanos, sanitario y ducha la cual cuenta con agua caliente proveniente del colector solar instalado con anterioridad.

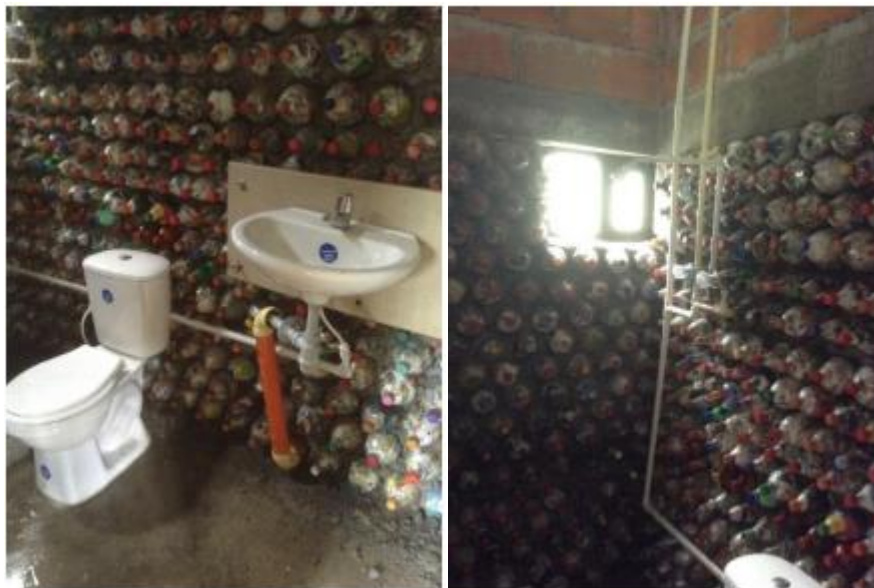


Imagen 34, 35. *Instalación de servicios básicos.* Diseño y construcción de un módulo de vivienda con botellas reciclada. (Aguirre, Rodríguez, 2016). Trabajo de grado. Universidad Tecnológica de Pereira.

8.4. Servicio de agua

El agua para el inodoro, la ducha y el lavamanos se implementó utilizando la distribución de agua que tiene el módulo de ladrillos hacia el módulo de botellas recicladas usando tubería en PVC, como se muestra a continuación:



Imagen 36, 37. Servicio de agua. Diseño y construcción de un módulo de vivienda con botellas reciclada. (Aguirre, Rodríguez, 2016). Trabajo de grado. Universidad Tecnológica de Pereira.

MODULO DE ECOLADRILLOS TERMINADO

Finalmente se concluyó con la construcción del módulo y el resultado fue el siguiente:



Imagen 38, 39. Módulo de eco ladrillo terminado. Diseño y construcción de un módulo de vivienda con botellas reciclada. (Aguirre, Rodríguez, 2016). Trabajo de grado. Universidad Tecnológica de Pereira.

9. Recolección del material

La recolección de las botellas PET se realizará por medio de compañías de reciclaje dirigidas a toda la población del Municipio de Caldas Boyacá, llamando la atención de los docentes de los diferentes centros educativos para contar con su colaboración y poder reunir la cantidad suficiente en un periodo determinado.

Se realizará charlas, anuncios y a la vez en la emisora del municipio se pedirá la colaboración para la recolección de tales botellas en canecas distribuidas en sectores importantes del municipio para así realizar su recolección.

Después de reunir el material suficiente se dispondrá un lugar para su selección y almacenamiento, seguido de esto procederemos con un grupo de trabajo a clasificar las botellas PET según sus condiciones físicas en las que se encuentre cada botella después de su recolección; por otro lado es importante mencionar que el PET (polietileno tereftalato) es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas que se consumen en grandes proporciones por la población

Luego de su clasificación de acuerdo a su origen químico le daremos una clasificación según su tamaño, diseño y textura.

10. Propuesta económica

Para poder realizar una propuesta económica para el desarrollo de presente proyecto, es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. La recolección de las botellas PET por medio de campañas de reciclaje en el municipio, especialmente por medio de las instituciones educativas generando un estímulo que será evaluado con ayuda de la institución. De esta manera se disminuirá el costo en materia prima.
2. El proceso de rellenar las botellas se hará en colaboración de la familia que se beneficiaria con el proyecto para disminuir de manera considerable el costo de la mano de obra.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos hacer una comparación de costos entre la construcción de un muro en bloque de manera tradicional y la construcción del muro en ladrillo ecológico.

En la tabla 3 podemos observar los costos relacionados con la construcción de un muro tradicional:

Costo Construcción de Muros Tradicionales				
Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Bloque	UN	339	\$ 1.400	\$ 474.723
arena	M3	2,3	\$ 96.000	\$ 221.719
cemento	bolsa	15,5	\$ 29.000	\$ 449.707
Mano de obra	Jornal		\$ 83.000	\$ 83.000
				\$ 1.146.149

Tabla 3: Costo de construcción de muros tradicionales. Elaboración propia del autor.

En la tabla 4 podemos observar los costos relacionados con la construcción de un muro con ladrillo ecológico:

Costo Construcción de Muros en Ladrillo Ecológico				
Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Botellas PET	UN	2000	\$ -	\$ -
Cascara de arroz	Kg	0,39	\$ 2.000	\$ 785
Icopor	Kg	0,33	\$ 300	\$ 98
Arena (relleno)	M3	1,0	\$ 96.000	\$ 96.000
Arena (mortero)	M3	2,3	\$ 96.000	\$ 221.719
Cemento	Bolsa	15,5	\$ 29.000	\$ 449.707
Mano de obra	Jornal		\$ -	\$ -
				\$ 768.309

Tabla 4: *Costo de construcción de muros en ladrillos ecologicos.* Elaboración propia del autor.

A la hora de realizar la comparación de los costos totales podemos observar que la propuesta de la construcción de la vivienda unifamiliar usando ladrillos ecologicos con las botellas recicladas PET si es viable económicamente.

CONCLUSIONES

- ✓ El proyecto de la elaboración de un ladrillo ecológico utilizando las botellas PET como material reciclable es viable y factible económicamente, siendo una propuesta innovadora y de muy bajo costo.
- ✓ El diseño que propuesto para la construcción de la vivienda unifamiliar cumple con los requisitos de la normatividad Colombiana.
- ✓ Este tipo de proyectos es una alternativa que brinda solución a los problemas de vivienda para las personas de escasos recursos del municipio de Caldas Boyacá.
- ✓ Con la construcción de vivienda con ladrillos ecológicos se disminuye un porcentaje importante en la generación de basuras del municipio de Caldas Boyacá, generando un impacto positivo al medio ambiente



BIBLIOGRAFIA

es.green peace () ¿Cómo llega el plástico a los océanos y que sucede entonces?.
<https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/como-llega-el-plastico-a-los-oceanos-y-que-sucede-entonces/>

(Admin Rotoplast, 2019).

Campos, Gómez, Montero, Pantoja, Pasco. (Noviembre de 2019). *Diseño del Proceso de Producción de Ladrillos Basados en Plástico Reciclado*. [Trabajo de investigación]. Universidad de Piura.
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4292/PYT_Informe_Final_Proyecto_Ladrillos_PET.pdf?sequence=1&isAllowed=y

López, Guerrero, (2020) *Elaboración de bloques ecológicos implementando sistemas de producción alternativos, para la construcción de viviendas sostenibles y sustentables*. [Trabajo de grado]. Universidad Santo Tomás.
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/29584/2020juancarloslopezlagoscarlosguerrerroruare.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Aguirre, Rodríguez, (2016) *Diseño y construcción de un módulo de vivienda con botellas recicladas* [Trabajo de grado] Universidad tecnológica de Pereira.
<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/5a9f69ac-77e8-488b-b831-c3a8fc33a3fe/content>

NSR-10 (Marzo, 2010) *Reglamento Colombiano de construcciones sismorresistente*. Títulos A, B, C. Consulta realizada en https://nuevaleislacion.com/files/susc/cdj/conc/nsr_10.pdf

Gómez, R. (2014). *Recuperación de Polietileno de Baja Densidad (LDPE) a partir de Empaques Tetra Pak* (Tesis de grado). Universidad Autónoma del Estado de México, Tlanguistenco, México. Recuperado de
<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/31126/419690.pdf?sequence=3&isAllowed=y>



Molina, S (Enero 2010) *Evaluación del uso de la cascarilla de arroz en la fabricación de bloques de concreto* (Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción. Instituto tecnológico de costa rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6262/evaluaciondelusodelacascarilladearrozenlafabricacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ministerio de agricultura. (2017) *Cascarilla de arroz en Colombia*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Arroz/Documentos/2017-12-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Propiedades físicas y químicas del icopor <https://www.casadelamoldura.com/poliestireno-expandido-o-unicel-propiedades/>

ANEXOS

1. Plano del modelo de vivienda usando el ladrillo ecológico