



Diseño de modelo de bloque ecológico con mezcla de fibra de maguey y polietileno tereftalato (pet)

Design of an ecological block model with mixture of maguey fiber and polyethylene terephthalate (pet)

Projeto de um modelo de bloco ecológico com mistura de fibra de maguey e tereftalato de polietileno (pet)

Norman David Vinueza-Salas ^I

nvinuezas@ulvr.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1298-3660>

Mateo Fernando Macancela-Cabrera ^{II}

mmacancelac@ulvr.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-4763-4812>

Alexis Wladimir Valle-Benítez ^{III}

avalleb@ulvr.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9274-3738>

Correspondencia: nvinuezas@ulvr.edu.ec

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de investigación

***Recibido:** 22 de mayo de 2021 ***Aceptado:** 20 de junio de 2021 * **Publicado:** 05 de julio de 2021

- I. Egresado en la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil 2020, Investigador independiente, Ecuador.
- II. Egresado de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil 2020, Investigador independiente, Ecuador.
- III. Ingeniero Civil, Magister en Sistemas Integrados en Gestión, Docente Investigador, Catedrático en la Universidad, Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Ecuador.

Resumen

El presente trabajo versa sobre los estudios previos a la elaboración de un prototipo de bloque ecológico a base de fibra de maguey y piedra polietileno tereftalato (PET); como alternativa al problema de la construcción de viviendas a bajo costo; se planteó el responder al problema de hacer frente a la destrucción del medio ambiente y a su vez cumpla con las normativas de Ecuador en relación a la elaboración de productos de la construcción con estándares internacionales en la aplicabilidad de insumos ecológicos. Por eso, el objetivo general de la investigación es diseñar el modelo de bloque ecológico con mezcla de fibra de maguey y polietileno tereftalato (PET) en las construcciones civiles ubicadas en La Troncal; con una metodología experimental, de diseño de investigación exploratorio, cuyos métodos empleados son: el analítico y el sintético con presencia de la inducción, además del tipo de investigación: descriptivo, simple, experimental con enfoque cuantitativo. Luego de los resultados, se detallaron los costo-beneficio entre los prototipos, siendo el de bloque de hormigón 3 es la más idónea de acuerdo al costo en el mercado del sector La Troncal, además de que el PET es un material de fácil manejo y de alto nivel de reciclaje, y la fibra de maguey, es una planta de múltiples formas de explotación y su recolección, tratamiento e industrialización a bajo costo la hacen rentable.

Palabras claves: Bloque; ecológico; fibra de maguey; polietileno tereftalato; reciclaje; costo.

Abstract

The present work deals with the studies prior to the elaboration of an ecological block prototype based on maguey fiber and polyethylene terephthalate (PET) stone; as an alternative to the problem of low-cost housing construction; It was proposed to respond to the problem of facing the destruction of the environment and in turn comply with the regulations of Ecuador in relation to the elaboration of construction products with international standards in the applicability of ecological inputs. Therefore, the general objective of the research is to design the ecological block model with a mixture of maguey fiber and polyethylene terephthalate (PET) in civil constructions located in La Troncal; with an experimental methodology, exploratory research design, whose methods used are: analytical and synthetic with the presence of induction, in addition to the type of research: descriptive, simple, experimental with a quantitative approach. After the results, the cost-benefits between the prototypes were detailed, being that of concrete block 3 is the most suitable according to the cost in the La

Troncal sector market, in addition to the fact that PET is an easy-to-handle material and high level of recycling, and maguey fiber, is a plant with multiple forms of exploitation and its collection, treatment and industrialization at low cost make it profitable.

Keywords: Block; ecological; maguey fiber; polyethylene terephthalate; recycling; cost.

Resumo

O presente trabalho trata dos estudos anteriores à elaboração de um protótipo de bloco ecológico baseado em fibra de maguey e pedra de tereftalato de polietileno (PET); como alternativa ao problema da construção de moradias de baixo custo; Propôs-se responder ao problema de enfrentar a destruição do meio ambiente e por sua vez cumprir as normas do Equador em relação à elaboração de produtos de construção com padrões internacionais na aplicabilidade de insumos ecológicos. Portanto, o objetivo geral da pesquisa é projetar o modelo de bloco ecológico com uma mistura de fibra de maguey e tereftalato de polietileno (PET) em construções civis localizadas em La Troncal; com metodologia experimental, delineamento de pesquisa exploratória, cujos métodos utilizados são: analítico e sintético com presença de indução, além do tipo de pesquisa: descritiva, simples, experimental com abordagem quantitativa. Após os resultados, foram detalhados os custos-benefícios entre os protótipos, sendo que o bloco de concreto 3 é o mais adequado de acordo com o custo no mercado do setor La Troncal, além do PET ser um material de fácil manuseio e alto nível de reciclagem, e a fibra de maguey, é uma planta com múltiplas formas de aproveitamento e sua coleta, tratamento e industrialização a baixo custo a tornam rentável.

Palavras-chave: Bloco ecológico; fibra maguey; polietileno tereftalato; custo de reciclagem.

Introducción

El aumento desmedido de la población, exige un manejo proporcional del sector alimentario y éste a su vez emplea los recipientes de plástico por ser livianos, fáciles de hacer y prácticos para el transporte de alimentos, sobre todo del agua (consumo masivo). En este sentido, se declara que al año se genera más de 400 millones de toneladas métricas en desechos de plástico a nivel mundial, donde la Organización de las Naciones Unidas - ONU (2018), menciona que “gran parte del plástico que producimos, está diseñado para desecharse después de ser utilizado una sola vez”, a la vez que este número asciende en el transcurso de cada año, tomando en cuenta que solo el 9 % de los desechos producidos son reciclados en todo el mundo.

La mayoría del plástico producido se ubica en Asia, pero Estados Unidos, Japón y la Unión Europea son los primeros fabricantes. La ONU (2018), detalla que “solo una pequeña fracción se recicla y alrededor de 13 millones de toneladas de plástico se filtran en nuestros océanos cada año, dañando la biodiversidad, las economías y potencialmente nuestra propia salud”. Por ello, en la actualidad existe un consenso mundial desde donde se origina la concientización de la población por darle otros usos; en la actualidad existen países que están dando manejo a estos residuos implementándolos como materia prima en el área de la producción y manufactura; lo que se busca probar, es que el elemento obtenga características similares o mejores al bloque tradicional, utilizando el plástico como un componente eco-sustentable.

Una de estas industrias de producción, es la del área de la construcción; ahora, la problemática está en probar que el plástico de reciclaje sea un elemento de características similares o mejores a los materiales tradicionales de la construcción, utilizando el plástico como un componente eco-sustentable.

Castro (2008), enuncia que “...materias primas básicas como el etileno o el propileno que, más tarde en las plantas químicas se utilizan para la producción de otros productos esenciales en la producción de filmes para la agricultura, bolsas de plástico...”. Así, para obtener el envase de una botella de plástico se utiliza PET que se encuentra compuesto por petróleo crudo, gases y aire. Solamente un kilo de PET está compuesto por un 64% de petróleo crudo en el que se extrae el producto químico denominado paraxileno que consecuentemente se oxida al contacto con el aire formando así el ácido tereftáltico, 23% de derivados líquidos del gas natural en donde el etileno es un derivado del mismo obteniéndose mediante la oxidación con el aire para formar etilenglicol, y un 13% de aire.

El PET es un material que está siendo reciclado debido a que como desventaja al usar este tipo de materia prima es su tardía degradación, llega a tardar hasta mil años en descomponerse solamente una botella de PET dependiendo su espesor, y debido a su alta demanda a nivel mundial pone en riesgo al planeta, porque al llegar al mar, por ejemplo, “Se fragmentan lentamente en trozos más pequeños hasta convertirse en micro plásticos...si son ingeridos por los peces pueden ingresar a nuestra cadena alimenticia” (ONU, 2018). Y esta falta de información hace que se actúe inconscientemente con el manejo del plástico.

En cuanto a la fibra de Maguey es un derivado de la penca o más conocido como Maguey, endémico en las zonas andinas; precede de varios usos, y uno de ellos es el licor en la cual tiene varios ciclos

tales como la obtención del agave, que consiste en la separación del tallo de sus hojas, cuyas hojas antes eran reutilizadas como calzado y sogas caracterizadas por tener una buena resistencia y de índole áspera, hoy en día ese aprovechamiento de la fibra del maguey es muy poco común por lo que da paso a nuevos métodos de optimizar este valioso material.

Todo lo expuesto, lleva a formularse el siguiente planteamiento: ¿De qué manera contribuirá al sector de la construcción la incorporación de un nuevo bloque ecológico de cemento con agregados de fibra de Maguey y PET, en las construcciones civiles ubicadas en La Troncal?, del cual se deriva el objetivo general de la investigación de diseñar el modelo de bloque ecológico con mezcla de fibra de maguey y polietileno tereftalato (PET) en las construcciones civiles ubicadas en La Troncal.

La hipótesis en que se fundamenta es el bloque elaborado con fibra de Maguey y PET, con propiedades físicas y mecánicas, cumplen con la normativa Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) de la construcción. La variable dependiente es el prototipo de bloque ecológico y la variable independiente es la elaboración de un bloque a base de fibra de Maguey y PET. Todo ello, basándose en la línea de investigación de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (2020), de: Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología y construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energía renovables; Facultad de Ingeniería Industrial y Construcción: Materiales de construcción y sub-línea: Materiales innovadores en la construcción.

En consecuencia, la investigación pretende adicionar una alternativa en el ámbito de la construcción, a partir de un nuevo bloque conformado por fibra de Maguey y PET, que cumpla con las normativas ecuatorianas de construcción para un bloque de mampostería, a la vez que genere fuentes de empleo y viviendas baratas, como alternativa del sector de la construcción a la matriz productiva del Ecuador y que cubra las expectativas sobre defensa del medio ambiente por el reciclaje de plástico a la vez que genere la producción técnica de agave de maguey enriqueciendo el sector agrícola con un producto que genere comercio.

Desarrollo

1. **Maguey:** es una planta suculenta de origen mexicano con la que se obtienen diversos productos tales como el pulque, bebida embriagante de gran arraigo en nuestro país, Ecuador; una especie de papel o película que se extrae de las pencas para formar hojas lo suficientemente fuertes para contener un platillo tradicional mexicano llamado mixiote, y también se obtiene forraje de dichas pencas para alimentar animales (Servicio de

Información Agroalimentaria y Pesquera, 2017). Su nombre científico: *Agave* sp. Familia: Asparagáceas (*Asparagaceae*), antes incluidas en las agaváceas (*Agavaceae* y éstas, a su vez, en las Liliáceas (*Liliaceae*), (Condori & Solano, 2019). En cuanto a su aplicación en la fabricación de bloques, a partir de la extracción de las fibras de las pencas, les da resistencia a la flexión (elasticidad), a la compresión (impide espacios vacíos), “Mantiene unida la masa cementante y hace que no se fisure, cuando la masas sufra expansión y contracción por cambios de temperatura” (Condori & Solano, 2019).

2. ***Aplicación de la Fibra de Maguey:*** una vez que se obtiene la fibra de maguey, se corta en filetes para luego secarla y proceder a sacar las fibras en forma de hilos de 30 a 50 centímetros de largo y 0,35 milímetros de diámetro (grosor). Según los estudios de Sánchez (2019), puede absorber humedad hasta en un 70% en 24 horas, e intercambiarla según su exposición a ella; resiste una tensión de 552 MPa; posee una elasticidad de 21 GPa, y un comportamiento posterior al agrietamiento si el volumen de la masa en fibra es mayor al 7% y soportan una flexión normal. Estas características de resistencia y humidificación, la hacen ideal para el manejo o manipulación durante la construcción de bloques de concreto.

El crecimiento desordenado y la falta de conocimientos sobre las características y cualidades del Maguey, no han permitido la explotación con fines comerciales de esta planta; crece en el páramo, en los caminos de herradura, junto a riachuelos o a la vera del camino. El desecho se utiliza para la extracción de la fibra y aplicarla en bloques de hormigón. Para asegurar la supervivencia de esta especie, existen viveros y proyectos de control de la población con fines de explotación in vitro. Sin embargo, “no existen procedimientos de propagación masiva disponibles a pesar de su alto interés económico.” (Criollo et al., 2011).

Existe una influencia de la adición de fibra de maguey en la resistencia del concreto, donde la fibra de maguey sustituye en parte al ripio, puestas en porcentaje de 1% del peso del agregado grueso o ripio, se fraguaron en bloques formales; a los siete días fueron sometidos a la prueba de resistencia de compresión y alcanzaron un valor de 94,13 kg/cm² muy por debajo del valor estándar para bloques normales o sea el bloque patrón o de prueba que es 134,4 kg/cm² el autor de la investigación aduce que existieron diferentes variables que no se consideraron, entre ellos, el concreto y la falta de homogeneidad de las fibras, el largo de las fibras, el grueso. Para los otros efectos mecánicos no se sometieron a pruebas, tampoco se realizaron pruebas a los 14 y 21 días (Quico-Thea, 2019).

Por otro lado, estudios de las características de bloques de hormigón con fibras de maguey, indican que la fabricación de bloques de hormigón con fibras de maguey, generan ventajas por el empleo que se les puede dar en las construcciones; "...donde permiten mejorar ciertas peculiaridades concernientes a la resistencia por tracción, flexión y corte, ya que el concreto simple o concreto normales solo trabajan a compresión" (Suma & Aimituna, 2019). Las pequeñas fibras finas agregadas en la construcción del bloque le dan firmeza a la mezcla y previene el agrietamiento, sin embargo, el ciclo de curado debe ser aplicado inmediatamente en su momento para que la compactación sea adecuada (Mallaupoma, 2019). No obstante, en la construcción de bloques puede soportar mayor resistencia de compresión si se manipulan variables como el tipo de fibra, el tamaño, humedad, tiempo de curado, porcentaje y peso proporcional. Los bloques de adobe con fibra de maguey, son más resistentes a la compresión y también resultan útiles para todo tipo de construcción.

3. ***Polietileno tereftalato (PET)***: es un material caracterizado por su gran ligereza, resistencia mecánica a la compresión y a las caídas, alto grado de transparencia y brillo, conserva el sabor y aroma de los alimentos, es una barrera contra los gases, es 100% reciclable y se identifica con el número uno, o las siglas PET, rodeado por tres flechas en el fondo de los envases fabricados con este material, según el sistema de identificación SPI. Tiene posibilidad de ser reutilizable; un polímero termoplástico de industriales, el 70% de todas las fibras sintéticas son de PET y se emplean para fabricar cuerda para llantas, diversos artículos de piel y textiles, pero sobre todo en envases para la industria alimenticia (Suasnavas, 2017).

Por ser derivado del petróleo, el plástico se forma: "...mediante la reacción química del ácido tereftalico (PTA) y el etilenglicol (EG), cuyo residuo es agua, o a su vez; mediante la reacción química del Dimetil tereftalato (DMT) con el etilenglicol (EG), cuyo residuo es metanol." (Ballesteros, 2015). El método es el de esterificación en el primer proceso y poli condensación en la última parte. Una vez obtenido, se lo emplea de múltiples formas y llegado el caso se lo desecha; su versatilidad hace que sea empleado para productos envasados en alimentos, juguetes y otros artefactos. Por estas características la producción masiva de artículos plásticos, ha aumentado considerablemente la contaminación del medio ambiente, convirtiéndolo en un problema político económico mundial.

En este sentido, un bloque PET es ideal, de acuerdo a la posición de Segura (2007) citado por Miranda et al., (2018), es aquel que a más de prestar una función de construcción posee una función como valor agregado "...una gran cantidad de basura, incluyendo los plásticos, es desechada en barrancas, ríos,

calles, etc. Algunas estimaciones hablan hasta de un 30%. En México se estima que de los plásticos que son desechados se colecta únicamente el 12%”.

Por lo que, crea fuentes de trabajo por la recolección de desechos de plástico como mano de obra no calificada en el que se insertan millares de “unidades” de recolección, centros de acopio que pagan a los recolectores y venden a los reprocesadores quienes generan la materia prima limpia de desechos orgánicos, seleccionada en plásticos del tipo polietileno tereftalato termoplástico, clasificada para la reutilización en nuevos materiales de plástico reciclado y en especial para la construcción de bloques con polímeros que serán empleados por la conservación de construcciones tradicionales, pero que presentan características sísmo resistentes. Su maniobrabilidad durante la mezcla, la combinación con el agua y el cemento permiten conseguir una pasta que junto a la fibra de maguey y al ripio, formen una sólida estructura que supere las pruebas físicas estandarizadas.

4. ***El polietileno tereftalato (PET) en el bloque:*** El cemento y el agua como catalizador, reaccionan con propiedad de adherencia y cohesión, formando una pasta, si se agrega arena fina a la pasta se forma el mortero y si al mortero se le agrega ripio o arena gruesa, se forma el hormigón; cuando una parte proporcional de la arena fina se sustituye por PET, se forma el bloque de hormigón PET.

Se deduce que se requerirá de una gran cantidad de este material para sustentar un proyecto de producción de bloques de este tipo, lo que se puede lograr porque el granulado molecular que sustituye en parte a la arena fina, proviene del procesamiento industrial de las botellas y recipientes de plástico que son desechadas y tiradas por doquier, lo que presenta una solución sostenible al grave problema de contaminación a nivel local y mundial; si agregamos a este bloque la fibra de Maguey, los estudios indican que tanto el material es idóneo para el sector de la construcción, como para la economía del país (Chacón & Lema, 2012).

5. ***Reciclaje:*** es un proceso simple que puede ayudar a resolver muchos de los problemas creados por la forma de vida moderna. Se pueden salvar grandes cantidades de recursos naturales no renovables cuando en los procesos de producción se utilizan materiales reciclados.

Los recursos renovables deben ser recuperados como es el caso de los árboles o el agua, pero otros recursos no renovables como las canteras y los minerales (arena, ripio), también pueden ser salvados, mediante la utilización de productos reciclados; ya que disminuye el consumo de energía empleado en su procesamiento industrial. Cuando se consuman menos combustibles fósiles, se generará menos

CO₂ y por lo tanto habrá menos lluvia ácida y se reducirá el efecto invernadero (EROSKI, 2015). Además de contribuir a la lucha contra la contaminación del medio ambiente se contribuye a asegurar el empleo medido de productos plásticos de alta demanda, así como la programación de estrategias que ayuden a mitigar este problema.

6. **Bloque de hormigón:** es un paralelepípedo rectangular prefabricado con numerosas celdas de paredes delgadas, que los convierten en piezas fáciles de maniobrar en obra y muy aislantes. Se elaboran a partir de morteros y hormigones de consistencia seca (de árido pequeño) comprimiéndolos y haciéndolos vibrar en moldes metálicos (Construmatica, 2019). Por tener mayores dimensiones que el ladrillo, permite la construcción de paredes en tiempos más reducidos a los que demanda una pared de obra de ladrillo.

Las paredes son más rígidas, pero rechazan los revestimientos si antes no les son aplicadas disposiciones constructivas especiales. Según la norma INEN 638, se elaboran 3 tipos de bloques diferentes, que son empleados de acuerdo a su uso: Clase A, para mampostería estructural; Clase B, para mampostería no estructural; y, Clase C, para alivianamientos en losas.

Para elaborar un bloque de hormigón, se parte del principio técnico que la mezcla depende del esfuerzo y resistencia al a que va a ser sometida; así las columnas y techos deberán presentar mucha mayor resistencia que las paredes, según los planos de estructuras. Al trabajar o elaborar los bloques, al cemento, se agrega árido fino (arena), árido grueso (ripio), y agua.

En la primera fase, el cemento y el agua forman la pasta, al agregar arena fina se forma el mortero y si seguimos agregando ripio se forma el hormigón; en esta fase se debe mantener la humedad al máximo, para que el fraguado sea el correcto y tenga como característica la trabajabilidad o maniobrabilidad para darle la forma que se requiera; si la mezcla está bien realizada y los materiales son adecuados, entonces la consistencia no permitirá exceso de huecos o partes con vacíos, ni tampoco que el ripio se asiente en la base; también se espera que el agua trabaje dentro de este bloque como catalizador y reaccione como pasta junto al cemento, lo que significa que al maniobrar la mezcla el agua no se desperdicie; si el concreto se expone al ambiente y el calor produce evaporación excesiva de esta mezcla, puede fisurarse, por ello es que se debe humedecer constantemente el concreto a fin de lograr la consolidación de la estructura. De estos tres procesos anteriores depende la elasticidad y resistencia.

7. **Características del proceso y material del hormigón PET:** A partir de la mezcla de cemento, agua, ripio, se sustituye en parte proporcional la arena fina con PET; los agregados forman las

$\frac{3}{4}$ partes del volumen del hormigón, su empleo disminuye costos y brinda resistencia a la aplicación de carga, a la erosión por rozamiento e impide la filtración de humedades, siempre que cumplan la norma INEN 872 “Áridos para hormigón. Requisitos” para ello se someten a la granulometría especificada para este producto. Se agrega el PET en porcentajes de 5%, 10%, 15% y 20% de gránulos de PET que pasan por un filtro de 5 mm y que sustituyen a arena fina en esas proporciones; es decir que en 100 gramos de arena fina se colocan 5 gramos de PET y así sucesivamente.

El análisis del bloque se realiza primero en el cálculo de la densidad, que es el volumen que adquirió luego de ser curada en agua por 28 días, (volumen adquirido/masa inicial); luego es el cálculo de la flexión y compresión, en este ejemplo según la norma del país donde se realiza la experiencia NCH158; se retiran del curado a los 28 días y se las seca superficialmente para pesarlos; se introducen al horno donde son secadas a $50^{\circ}\text{C} \pm$ (Infante & Valderrama, 2019).

Materiales y Métodos

El diseño de investigación es exploratorio, ya que se deberá realizar varios prototipos de bloques manteniendo constante las proporciones de agua, cemento, arena fina y arena gruesa; y con proporciones variables los porcentajes de la fibra de Maguey y la piedra PET, hasta obtener el que cumple con la normativa ecuatoriana de construcción mediante ensayos de laboratorio. La metodología además es experimental, de acuerdo al modelo del proyecto de investigación. Los métodos empleados son:

- *el analítico*, dado que se enfoca en la descomposición de todo el proceso de fabricación de bloques, separando en varias partes o elementos la fabricación y las pruebas físicas o mecánicas para determinar la resistencia del bloque patrón y las del prototipo.
- *el sintético*, porque consiste en integrar las partes o componentes materiales constantes y variables, de forma proporcional en el prototipo de bloque. Los procesos de construcción de bloques con agregados minerales fibras vegetales, se repiten con regularidad, porque alcanzan los límites y características de fabricación que las propiedades físicas y químicas exigen; por ello está presente la INDUCCIÓN, ya que los registros obtenidos en la experimentación permiten reconocer la aplicación del producto, cubriendo reglas generales en la construcción

Respecto al tipo de investigación, será de carácter descriptiva y simple, donde puntualizará las características del bloque prototipo a elaborar; y será experimental porque se extraerá, analizará y corroborará los datos obtenidos de varias muestras elaboradas con proporcionalidades diferentes en los materiales agregados (Agave de Maguey y PET), en comparación con el bloque patrón. Por otro lado, la investigación pertenece al enfoque cuantitativo, utilizando la recolección y el análisis de datos para probar la hipótesis establecida previamente y confía en la medición numérica realizada previamente mediante: ensayos, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento de una población.

La técnica empleada es la encuesta, la cual se realizó por página web, dirigida a: público en general, ingenieros civiles y estudiantes de ingeniería civil, para obtener información que se analizó mediante tabla de frecuencia, gráfico de pasteles, promedios y resultados; además, de los diferentes tipos de instrumentos que se acoplen al estudio.

- ***La encuesta a aplicarse al público en general***, necesario para la contribución a la protección del medio ambiente con la aceptación de un nuevo bloque ecológico, incorporándolo en las construcciones civiles ubicadas en La Troncal.
- ***La encuesta a aplicarse a ingenieros civiles***, contribuye profesionalmente con la incorporación de un nuevo bloque ecológico, en las construcciones en La Troncal.
- ***La encuesta a aplicar a estudiantes de ingeniería civil***, contribuye con la socialización de un nuevo bloque ecológico, para incorporarlos en la gestión del cuidado del ambiente y la disminución de costos, en las construcciones civiles en La Troncal.

Por otro lado, se encuentran los ensayos de laboratorios, para determinar las propiedades físicas y mecánicas del bloque, importantes para comprobar los estándares de calidad que la normativa lo exige. En cuanto a la población y muestra, se tiene que desde la posición de Cabezas et al. (2018), “la investigación experimental consiste en la manipulación de una o más variables experimental no comprobada en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular” (p.41).

Como investigación de enfoque cuantitativo, centrado en el proceso de investigación relacionada en medidas numéricas; se fundamenta y utiliza la observación del proceso en forma de recolección de datos y los analiza para llegar a responder las preguntas que se plantean en un inicio de la investigación. Por tanto, se maneja la recolección de la medición de parámetros, la obtención de

frecuencias y estadígrafos de la población que investiga para probar las hipótesis establecidas en capítulos iniciales de la investigación (Cabezas et al. (2018).

La investigación, tiene un enfoque cuantitativo y experimental; elaborado en Ecuador, en la región de la Sierra de la Provincia del Cañar, ciudad de La Troncal con una población de 76.872 habitantes, dando como resultado un tamaño en muestra de 382 personas, con una confianza del 95%, desviación estándar de 1.96 y margen de error del 5%. Además, se encuestan a 100 estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Industrial y Construcción de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil y 100 profesionales de la construcción del Colegio de Ingenieros Civiles del Guayas, para un total de la muestra a encuestar de 582 personas.

Análisis y discusión de los resultados

En primer lugar, se obtuvieron los resultados de las encuestas aplicadas por página web a la muestra de la población descrita con anterioridad (ingenieros civiles, estudiantes de ingeniería y público en general) y su debido análisis, arrojando los siguientes aportes a la investigación:

- ***Para los ingenieros civiles encuestados***, el prototipo de bloque podrá contribuir de manera profesional con la incorporación de fibra de Maguey y piedra PET, en las construcciones civiles ubicadas en los todos sitios donde se lo desee aplicar y en especial en La Troncal, lugar del objeto de estudio.
- ***Los resultados a la encuesta aplicada a estudiantes de ingeniería civil***, indican que sí aceptan, el empleo del bloque ecológico, porque cumplen la norma INEN, y la construcción de nuevos productos a base de materiales reciclados, por lo que se requiere una estrategia de publicidad.
- ***En su mayoría***, el público estaría conforme con el empleo de materiales ecológicos en la construcción de viviendas, confían en la seguridad que les otorgue la publicidad, el empleo de este prototipo por parte del profesional ingeniero y maestro constructor, que a la final abarata los costos de adquisición de vivienda.

Comprobación de la Hipótesis: Las encuestas de aceptación de aplicada a la muestra, ubicados en la ciudad de La Troncal y en Babahoyo, sobre el empleo a futuro del prototipo de bloque elaborado con Fibras de Maguey y piedras de PET, con propiedades físicas y mecánicas que cumplen con la normativa nacional de construcción; se da entre otras causas, por los estándares de calidad que cubre

Servicio Ecuatoriano de Normalización NTE INEN 3066-2016-11 “Bloques de Hormigón Requisitos y Métodos de Ensayo”, donde se especifica los materiales, propiedades, requisitos y métodos de ensayo de los bloques huecos de hormigón”.

Posteriormente, se inicia la elaboración del prototipo de bloque a base de fibras de maguey y piedras de PET, con propiedades físicas y mecánicas que cumplan con la normativa nacional de construcción.

1. **La fibra de Maguey:** es recogida en el campo, especialmente de los sectores de la sierra, donde crece a la vera del camino, en las laderas de las montañas de entrada a la sierra; en nuestro caso las encontramos gratuitamente en los caminos colindantes en la Troncal, en las vías que van hacia Azuay y en las vías de Santo Domingo. En general se las encuentra a disposición, y la proyección es generar como fuente de trabajo la siembra y cosecha del agave en las pencas del Maguey, y en este trabajo sólo emplea la fibra de la hoja.

Obtenida la hoja, que es larga y de bordes espinados, se procede a lavarla y retirar espinos e impurezas; se corta los extremos y se retira la cubierta de la hoja que se observa a manera de cáscara. Se corta en láminas largas y se coloca en la maquinaria (trapiche), permite separar el agave de la fibra por medio de rodillos (ver figura 1).

Una vez que se ha extraído el líquido de la pulpa de la hoja, el líquido se recoge en recipientes especiales para diferentes tratamientos, según el producto que se vaya a elaborar. El resto del material de la hoja deshidratada, es la fibra húmeda, que requiere de un tratamiento y secado sencillo, para que se pueda obtener la fibra seca, que es la que se procederá a manipular previo al cortado en hilos de pequeñas medidas y que permitirá su inserción entre las mezclas del mortero de concreto, en proporciones determinadas por las normas nacionales de construcción.

Para ello, el secado requiere de tendales y cordeles dispuestos a recibir calor y luz solar para el máximo secado de la fibra. Para el almacenamiento de la fibra de maguey, se dispone de un sitio amplio y seco (figura 2); usualmente se seleccionan por el largo del hilo y se ordenan por medio de trenzas para calcular posteriormente su peso en kg.

Figura 1: Maquinaria con rodillos (trapiche)



Fuente: Autoría propia (2020)

Figura 2: Trenzado y Almacenamiento de la fibra de maguey



Fuente: Autoría propia (2020)

2. **Recolección y tratamiento de materia prima:** El PET, es recogido de manera simple por personas dedicadas a reciclar, también en los colegios y escuelas las recogen, bajo la estrategia de prevención de la contaminación o como actividad escolar económica para venderlos a las recicladoras. Se asegura la procedencia con recolectores populares informales y microempresas dedicadas al comercio de materiales de reciclaje. Para efectos demostrativos se recolecto una mínima cantidad de botellas plásticas.

Una vez terminado el proceso de recolección, se los clasifica, se retiran las etiquetas, y se los limpia con abundante agua y se procede a seleccionar según el tipo de material, para luego triturarlos en pequeños trozos. Posteriormente, se hace la conversión de plástico en material pétreo, colocación del PET triturado en un recipiente con una temperatura de 300°C, para lograr derretir, presenta una coloración de aspecto café oscuro (figura 3). Y finalmente, se procede a enfriar, por lo cual su color se torna de color gris y luego se empieza a triturar para obtener la piedra PET (figura 4).

Figura 3: Recolección de botellas de plástico, triturado y proceso de fundición



Fuente: Autoría propia (2020)

Figura 4: Solidificación y Triturado del PET



Fuente: Autoría propia (2020)

3. **Procedimiento para la elaboración del bloque ecológico:** La trenza de fibra se dispone alargada, se desenrolla y se coloca en la maquina cortadora; para este trabajo se cortó en fibras de 5 centímetros de largo (figura 5). En cuanto a la colocación del conglomerado en mezcladora, se inicia con el agregado de arena, cemento y agua, los que se mezclan, formando el material conglomerante, lo que se agregarán en proporciones adecuadas de los otros agregados (figura 6).

Figura 5: Proceso de corte de la fibra (longitud de 2-5 cm)



Fuente: Autoría propia (2020)

Figura 6: Colocación arena y agua en la mezcladora



Fuente: Autoría propia (2020)

Luego, la dosificación, es tratada con la colocación del PET en pequeñas partículas y la colocación de la fibra, con lo que se deberá mezclar a fin de obtener una consistencia homogénea. Tratando de que esta mezcla forme una pasta de cemento que rodee a los materiales agregados; para lo cual debe tener suficiente agua y la retenga a fin de que la fusión permita condiciones de trabajabilidad y lograr mayor resistencia, luego del fraguado y curado.

En seis bloques tomados como prototipos, los pesos fueron diferentes; conformes a las pruebas a que se someterían. La relación del peso y la resistencia son proporcionales al tipo de bloque, que se va a destinar para un determinado sitio en la construcción; así el bloque de menor peso y mayor resistencia irá a los pisos superiores y los de mayor peso y resistencia irán como base en la parte inferior de la construcción, tal como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Pesos del material a agregar en el mortero

MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	Peso
FIBRA	0.000	0.359	0.359	0.766	0.253	0.206	Kg
PIEDRA PET	0.000	1.500	1.997	1.400	2.445	1.459	Kg
ARENA	14.500	14.500	16.700	12.950	11.000	12.960	Kg
PIEDRA POMEZ	21.750	20.250	19.750	18.030	14.055	17.980	Kg
CEMENTO	7.250	7.250	7.250	6.477	5.550	6.486	Kg
AGUA	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.500	Lts
TOTAL	43.500	43.859	46.056	39.623	33.303	39.091	Kg

Fuente: Autoría propia (2020)

La maquinaria prensadora-vibradora electromecánica, permite la formación del bloque mediante el prensado y la disminución de espacios vacíos en la masa del bloque formado. Por su parte, el moldeo ocurre una vez que la maquina ha hecho efecto de vibrar y el contenido de esta masa se vierte en los moldes (figura 7). Posteriormente, se observan las irregularidades para que pase el primer control de producción. Y el curado, se da ante el agregado de agua y los materiales, el cemento que es hidráulico, madura y endurece lentamente, se inicia el proceso de fraguado; a la salida del bloque se determina si la mezcla ha dado resultado con un bloque que presenta consistencia a la primera manipulación. A esta parte del proceso, se llama curado según el American Concrete Institute - ACI 308R con vigencia desde mayo de 2016 (figura 8).

Figura 7: De la mezcladora a la maquina moldeadora



Fuente: Autoría propia (2020)

Figura 8: Bloque listo para el curado



Fuente: Autoría propia (2020)

El ensayo de calidad, se inicia con el traslado de los bloques al laboratorio de suelo, para determinar si el bloque cumple con las mejores propiedades mecánicas como prototipo. Es codificado con la fecha, peso, masa, volumen, y tiempo de curado y los tiempos de curado establecido para las pruebas son: 7, 14 y 28 días, con una temperatura mayor a 5°C, necesario para que la hidratación del cemento desplace los poros entre los espacios de los materiales agregados. Luego, el ensayo de compresión se realiza a los 7 días, luego a los 14 y finalmente a los 28 días del curado, se somete a varios ensayos de compresión, para conocer a que esfuerzo físico sometido por la máquina de compresión, mediante la carga de ruptura se rompe o se fractura y cuál es el cálculo de la resistencia, cuyo valor es en Mega pascal Mpa (ver tabla 2).

Tabla 2: Resultados de la prueba de esfuerzo de compresión (unidades pascal) a los 7 días de curado

Muestras	Peso (Kgf)	Área (cm2)	Volumen (m3)	Kfg/cm2	Densidad (kg/m3)	Factor de Conversión	Mpa
1	2520	250	0.01	10.080	252000	0.10	0.989
2	2750	250	0.01	11.000	275000	0.10	1.079
3	2820	250	0.01	11.280	282000	0.10	1.106
4	3100	250	0.01	12.400	310000	0.10	1.216
5	3680	250	0.01	14.720	368000	0.10	1.444
6	2900	250	0.01	11.600	290000	0.10	1.138

Fuente: Autoría propia (2020)

Al análisis de los bloques de muestra del prototipo del día 7, en relación al peso de los materiales empleados, la muestra número 5, es la que tiene menor peso y mayor resistencia en el esfuerzo, al aplicar la carga en la máquina de compresión; En cambio, en la muestra 1 presento un diferencial de 0.451 Mpa, en comparación a la muestra 5, debido a la incorporación de las variables piedra PET en un 2.45 kg y en Fibra de maguey un 0.253 Kg lo que permitió mejores condiciones de resistencia.

Tabla 3: Resultados de la prueba de absorción de humedad en litros en la prueba de esfuerzo anterior a los 7 días de curado

MUESTRAS	PESO DE MASA	PSSS	P SECO	% ABSORCIÓN
1	2520,000	6939,700	6246,300	11,1
2	2750,000	7434,200	6640,700	11,9
3	2820,000	7708,700	7083,500	8,8
4	3100,000	7359,100	6600,200	11,5
5	3680,000	7905,800	7119,900	11,0
6	2900,000	7518,100	6809,800	10,4

Fuente: Autoría propia (2020)

En los bloques de la muestra 1, 2 y 3 se relaciona que la presencia de piedra PET permite al bloque 3 obtenga una menor absorción de agua con un 2 Kg de piedra PET; en cambio en los bloques de la muestra 4 y 6 se dedujo que, al colocarse más de Fibra de Maguey, conduce mínimo porcentaje en absorción de agua del 0.1 % de absorción.

Posteriormente, a los 14 días, los bloques presentaron mayores condiciones de resistencia; en la muestra 3 eleva su nivel de resistencia, mucho más que la muestra 4 y la 5 con diferencial aproximado de 0.27 Mpa en relación a la muestra 4. Se deduce que mientras mayor es la etapa de curado, aumenta la resistencia por el fraguado completo durante la hidratación del concreto.

Tabla 4: Resultados de la prueba de esfuerzo de compresión (unidades Pascal) a los 28 días

Muestras	Peso (Kgf)	Área (cm2)	Volumen (m3)	Kfg/cm2	Densidad (kg/m3)	Factor de Conversión	Mpa
1	3500	250	0.01	14	350000	0.10	1.37
2	4980	250	0.01	19.92	498000	0.10	1.95
3	7150	250	0.01	28.6	715000	0.10	2.80
4	7100	250	0.01	28.4	710000	0.10	2.79
5	5010	250	0.01	20.04	501000	0.10	1.97
6	3890	250	0.01	15.56	389000	0.10	1.53

Fuente: Autoría propia (2020)

En la tabla 4, se observa que el bloque 3 presenta un valor de esfuerzo de 2.80 MPa. Si consideramos que tiene mayor cantidad de PET y presentó un alto nivel de resistencia a los 7 y 14 días, aparentemente es el bloque que tiene condiciones para producirlo como prototipo; pero deben considerarse los costos de producción. Obteniendo un mismo resultado con la muestra 4, pero con menos dosificaciones en sus elementos, que en la muestra 3, tales como: 0.407 kg de fibra de maguey, 0.597 Kg piedra PET, 3.75 Kg arena, 1.72 Kg piedra pómez, 1 litro de agua y 0.773 Kg de cemento, haciendo de este un prototipo más liviano.

Tabla 5: Resultados de la prueba de absorción de humedad en litros en la prueba de esfuerzo anterior a los 28 días de curado

MUESTRAS	PESO DE MASA (Kg)	PSSS (Kg)	P SECO (Kg)	% ABSORCIÓN
1	2,793	3,188	2,445	30.35
2	3,117	3,671	2,847	28.93
3	3,046	3,518	2,796	25.84
4	3,308	3,777	2,995	26.09
5	3,597	4,100	3,240	26.56
6	3,126	3,552	2,839	25.11

Fuente: Autoría propia (2020)

En la tabla 5, se muestra que el bloque 6 obtiene un menor porcentaje de absorción debido a que presenta menor cantidad de piedra pómez (menos espacios vacíos) y porcentaje de fibra de maguey, mientras que en las muestras de bloque 3 y 4 son las que presentan un mayor esfuerzo a la compresión presentan un porcentaje de absorción de 25.84 y 26.09 debido a las dosificaciones de piedra PET, fibra de maguey y piedra pómez.

En cuanto al ensayo de humedad, se colocan varios bloques en una piscina, para calcular el valor de hidratación a efectos de lograr un bloque superficialmente húmedo (figura 9). Una vez curado y realizado el ensayo de compresión; debe ser secado para extraer los restos de agua, a fin de pesarlo; de manera que se pueda ofrecer un bloque de alta resistencia y de bajo peso. Para ello se coloca el bloque dentro del horno a 26°C durante 24 horas. Luego, el bloque ha disminuido al máximo las partículas de aire y de agua en su interior; junto con las medidas de su volumen se determinará si cumple con los requerimientos estandarizados. El peso del bloque y su tamaño, conforme las normas nacionales de elaboración de bloques, servirá como bloque tipo A, B o C y se aplicará en las construcciones acorde a la necesidad de la edificación de paredes en piso bajo, piso alto, losas, y divisiones que demande las especificaciones de la obra (figura 10).

Figura 9: Colocación de bloques en piscina



Fuente: Autoría propia (2020)

Figura 10: Se calcula el peso del bloque, secado



Fuente: Autoría propia (2020)

Análisis de Costos: Los costos se calcularon y están agrupados en el valor de los equipos, mano de obra, materia prima y transporte para todos los prototipos, como se muestra a continuación:

- **El bloque 1 (patrón)**, no aplica fibra de Maguey ni PET, con un costo de 0.23 ctvs de dólar.
- **En el bloque ecológico 2**, aplica PET y mide la resistencia del bloque solo a base de fibra de agave de Maguey; además varía la cantidad de arena, que también aumenta, así como la cantidad de fibra de maguey, reflejando un costo de 0.31ctvs de dólar.
- **Para el bloque Ecológico 3**, varía el costo de la materia prima, se mide la resistencia del bloque a base de fibra de agave de maguey y PET; se mantiene estable la cantidad de arena y fibra de maguey, siendo el costo de 0.32 ctvs de dólar.
- **Para el bloque 4**, aquí varía para el costo de la materia prima, se aplica PET y se incrementa la fibra de maguey, además disminuye la cantidad de arena en relación al bloque anterior, obteniéndose un costo de 0.34 ctvs de dólar.

- **El bloque ecológico 5**, aplica fibra de maguey y PET; mide la resistencia del bloque en base al PET y fibra; además: se disminuye la cantidad de arena, piedra pómez y fibra de maguey, con un costo de 0.27 ctvs de dólar.
- **El bloque ecológico 6**, se aplica PET y una pequeña cantidad la fibra de maguey; midiendo la resistencia en base a la fibra; disminuye la cantidad de arena, aumenta la cantidad de piedra pómez y disminuye la cantidad de fibra de maguey, para un costo de 0.27 ctvs de dólar.

Conclusión

Se identificaron las características mecánicas del PET, concluyendo que a menor tamaño las micro aristas permiten un mayor acercamiento entre el plástico y el cemento formando una mejor compactación con menor cantidad de espacios vacíos entre ellos.

Las características mecánicas de la fibra del maguey, tiene relación a la elasticidad y la capacidad de contener altas cantidades de agua al interior de cada hilo de sus fibras, siendo esta la razón por la cual se adapta al cemento durante el proceso de fraguado y permite que la humedad madure el cemento mientras este ocupa la mayor parte de espacios inter moleculares de aire antes de convertirse en una pasta ideal; se concluye que las fibras, tienen óptima condición cuando ésta es más corta, porque permite la compactación y el fraguado de óptima calidad.

Al realizar el ensayo de compresión en los bloques de hormigón de la muestra 1(tradicional) ,2 y 3 (ecológicos) que contienen Fibra de Maguey y piedra PET, se determinó un incremento en su resistencia de 29.74% entre el bloque tradicional y el bloque ecológico 2. En los bloques 2 y 3 (ecológicos) se aumentó y reemplazo un 25% más de piedra PET por piedra pómez, aportando una resistencia del 30.36% al bloque tipo 2 (ecológico).

En el ensayo de compresión, se puede dictaminar que el bloque de hormigón a base de Fibra de Maguey y piedra PET, al ser mezclada con arena, cemento y agua, se logro obtener una resistencia de 2.8 Mpa cumpliendo con los requerimientos de resistencia de un bloque hormigón tipo “C” correspondiente a Losas de alivianamiento; con una densidad superior a 2000 denominando como un bloque de tipo normal establecido en la norma INEN 3066-2016 “Bloques de Hormigón, Requisitos y Métodos de Ensayo”.

La evaluación costo-beneficio entre la muestra de bloque de hormigón 3-4 y su venta al mercado, se demostró que la muestra de bloque de hormigón 3 es la más idónea, ya que su costo es de 5.88% en

comparación al bloque de hormigón 4, mientras que su costo al mercado ubicados en La Troncal sería 29% más barata que el bloque convencional.

El PET es un material de fácil manejo y de alto nivel de reciclaje, cuya tendencia siempre va a la contaminación ambiental; La fibra de maguey, es una planta de múltiples formas de explotación y su recolección, tratamiento e industrialización a bajo costo la hacen rentable. Ambos productos crearán fuente de trabajo y en conclusión son materias primas de bajo costo y de acopio constante, lo que garantiza su empleo en la elaboración de bloques a gran escala siguiendo el prototipo de bloque ecológico de hormigón planteado en este trabajo.

Referencias

1. American Concrete Institute - ACI 308R (2016). Guide to External Curing of Concrete Reported by ACI Committee 308. <https://n9.cl/i5v7h>
2. Ballesteros, L. (2015). Utilización de fibras sintéticas recicladas, en mezcla con concreto; para la fabricación de bloques de construcción de viviendas. <https://n9.cl/95hxj>
3. Cabezas, E., Andrade, D. y Torres, J. (2018). Introducción a la metodología de la investigación científica. Universidad de las fuerzas armadas. <https://n9.cl/iufq>
4. Castro, J. (2008). Recursos energéticos: El petróleo en nuestras vidas. <https://n9.cl/2a8i9>
5. Chacón, E. y Lema, G. (2012). Estudio comparativo de elementos fabricados de hormigón con material reciclado PET (Polietileno Tereftalato) y de hormigón convencional. <https://n9.cl/mfq5f>
6. Condori, A. y Solano, Y. (2019). Influencia de la fibra de maguey en la compresión, tracción y absorción del adobe. <https://n9.cl/vwshg>
7. Constitución de la república del Ecuador. (2008). Registro Oficial No. 449 , 20 de Octubre 2008. <https://n9.cl/j43vj>
8. Construmatica. (2019). Construmatica. <https://n9.cl/z7orr>
9. Criollo, H., Benítez, H, y Morillo, E. (2011). Generación de una alternativa biotecnológica para la masificación in vitro para agaves con potencial económico en el Ecuador. <https://n9.cl/mavgon>
10. EROSKI, F. (2015). Fundación EROSKI. <https://n9.cl/tgbmk>
11. Instituto Ecuatoriano de Normalización - INEN 638. (2014). Bloques huecos de hormigón. definiciones, clasificación y consideraciones generales. <https://n9.cl/raqp>
12. Instituto Ecuatoriano de Normalización - INEN 643. (1992). Bloque hueco de hormigón conforme la norma INEN 639. <https://n9.cl/iwm94>

13. Infante, J y Valderrama, C. (2019). Análisis Técnico, Económico y Medioambiental de la Fabricación de Bloques de Hormigón con Polietileno Tereftalato Reciclado (PET). <https://n9.cl/fv2rr>
14. Mallaupoma, G. (2019). Comportamiento del concreto con adición de fibras de agave americana L para la mejora de sus propiedades en estado fresco. <https://n9.cl/alh4q>
15. Miranda, E., Doumet, F,y Durán, E. (2018). Análisis de las propiedades de bloques construidos a base de cemento y plástico (PET) para determinar su uso y aplicación en elementos arquitectónicos. <https://n9.cl/73s3b>
16. NTE INEN 3066. (2016). Universidad Central del Ecuador. <https://n9.cl/0cff>
17. NTE INEN 3066. (2016). Bloques de hormigón requisitos y métodos de ensayo, guías, proyectos, investigaciones de materiales y sistemas constructivos. <https://n9.cl/a3txc>
18. Organización de las Naciones Unidas - ONU. (2018). El estado de los plásticos. Perspectiva del día mundial del medio ambiente 2018. <https://n9.cl/nc0zb>
19. Quico-Thea, J. (2019). Influencia de la adición de fibra de maguey en la resistencia del concreto. <https://n9.cl/cn4oh>
20. Sánchez, J. (2019). Resistencia a compresión en mortero con ceniza de cascara de arroz y fibra de maguey. <https://n9.cl/gpqsr>
21. Segura, D. (2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. <https://n9.cl/5q6xg>
22. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2017). Maguey: un agave que nos provee diversos productos agroalimentarios nativos. <https://n9.cl/v20bh>
23. Suasnavas, D. (2017). Degradación de materiales plásticos PET (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión. <https://n9.cl/v20bh>
24. Suma, R. y Aimituma, O. (2019). Estudio de las características Físico-Mecánicas de bloques de hormigón con fibras de maguey-2017. <https://n9.cl/sx0qa>
25. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (2020). Descripción de proyecto de investigación. <https://n9.cl/6nuu3>