



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE *BLOCKS* ECOLÓGICOS A  
PARTIR DE LOS DESECHOS PLÁSTICOS TRITURADOS PET Y SU USO EN LA  
CONSTRUCCIÓN EN GUATEMALA.**

**Pablo Esteban Rubio Estrada**

Asesorado por MSc Gerardo Osvely Quiñonez Berganza

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE BLOCKS ECOLÓGICOS A  
PARTIR DE LOS DESECHOS PLÁSTICOS TRITURADOS PET Y SU USO EN LA  
CONSTRUCCIÓN EN GUATEMALA.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**PABLO ESTEBAN RUBIO ESTRADA**

ASESORADO POR MSc GERARDO OSVELY QUIÑONEZ BERGANZA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, ENERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga
EXAMINADOR	Ing. Jorge Alejandro Arévalo Valdez
EXAMINADOR	Ing. José Mauricio Arriola Donis
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE *BLOCKS* ECOLÓGICOS A PARTIR DE LOS DESECHOS PLÁSTICOS TRITURADOS PET Y SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN EN GUATEMALA.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con 15 de octubre del 2022.

**Pablo Esteban Rubio Estrada**



**EEPFI-PP-2089-2022**

Guatemala, 16 de noviembre de 2022

**Director**  
**Armando Fuentes Roca**  
**Escuela De Ingenieria Civil**  
**Presente.**

**Estimado Mtro. Fuentes**

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE BLOCKS ECOLÓGICOS A PARTIR DE LOS DESECHOS PLÁSTICOS TRITURADOS PET Y SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN EN GUATEMALA.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión Ambiental - Tratamientos estrategias en la Gestión de Residuos - Problemática en la generación de residuos**, presentado por el estudiante **Pablo Esteban Rubio Estrada** carné número **201700428**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Energía Y Ambiente.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

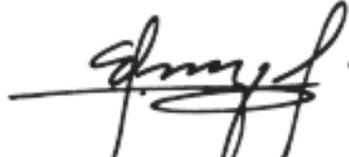
*"Id y Enseñad a Todos"*



Mtro. Gerardo Osvely Quiñónez Berganza  
Asesor(a)



Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque  
Coordinador(a) de Maestría



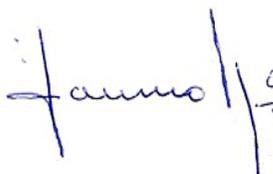
Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería



EEP.EIC.1710.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE BLOCKS ECOLÓGICOS A PARTIR DE LOS DESECHOS PLÁSTICOS TRITURADOS PET Y SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN EN GUATEMALA.**, presentado por el estudiante universitario **Pablo Esteban Rubio Estrada**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Mtro. Armando Fuentes Roca  
Director  
Escuela De Ingenieria Civil

Guatemala, noviembre de 2022



LNG.DECANATO.OI.125.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE BLOCKS ECOLÓGICOS A PARTIR DE LOS DESECHOS PLÁSTICOS TRITURADOS PET Y SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN EN GUATEMALA**, presentado por: **Pablo Esteban Rubio Estrada**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por haberme permitido realizar una más de mis metas.
<b>Mis padres</b>	Por haberme traído al mundo y guiado a través de él, mi eterno agradecimiento por su apoyo para hacer realidad este sueño.
<b>Mis hermanas</b>	Karen, Jackeline y Raquel Rubio, por su apoyo y compañía durante mi vida.
<b>Mis abuelos</b>	Luisa Castillo, Cristina Salam (q. d. e. p.) y Alfredo Rubio, por sus sabias enseñanzas y consejos durante toda mi vida.
<b>Familia y amigos</b>	Andrés Cano, Diego Gaitan, Javier Alarcón, Dennis Rojas, por su amistad y apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San Carlos de Guatemala** Por ser el alma *mater* que me permitió nutrirme de conocimientos.

**Facultad de Ingeniería** Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.

**Mis amigos** Por haberme acompañado durante la carrera.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
4. JUSTIFICACIÓN .....	9
5. OBJETIVOS .....	11
5.1. General.....	11
5.2. Específicos .....	11
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	13
7. MARCO TEÓRICO.....	15
7.1. El plástico PET en la actualidad .....	17
7.2. Generalidades de los desechos plásticos.....	17
7.3. El plástico según su plasticidad.....	17
7.3.1. Termoplásticos .....	18
7.3.2. Termoestables .....	18

7.4.	Tereftalato de Polietileno (PET) .....	19
7.4.1.	Propiedades Generales del plástico PET .....	20
7.4.2.	Métodos de recolección del PET .....	21
7.4.3.	Comparación del plástico PET con diversos materiales.....	21
7.5.	Aplicaciones del PET .....	22
7.5.1.	Reciclaje del plástico PET .....	22
7.5.2.	Reciclado Químico .....	23
7.5.3.	Pirólisis .....	24
	7.5.3.1. Hidrogenación .....	24
	7.5.3.2. Gasificación.....	24
	7.5.3.3. Quimiólisis.....	24
7.6.	Concreto.....	25
7.6.1.	Componentes del concreto.....	25
7.6.2.	Propiedades del hormigón.....	26
	7.6.2.1. Trabajabilidad.....	26
	7.6.2.2. Segregación .....	27
	7.6.2.3. Elasticidad.....	27
	7.6.2.4. Resistencia.....	27
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	29
9.	METODOLOGÍA .....	31
9.1.	Tipo de estudio.....	32
9.2.	Fases del estudio .....	32
9.3.	Fase 1: Exploración técnica .....	32
9.4.	Fase 2: Estimación teórica para el diseño de mezcla para el block ecológico.....	33

9.5.	Fase 3: Elaboración de blocks a partir de desecho plástico triturado .....	34
9.6.	Fase 4: Recolección de datos y análisis.....	34
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS .....	37
10.1.	Promedio .....	38
10.2.	Desviación estándar .....	38
10.3.	Coefficiente de variación de Pearson .....	39
11.	CRONOGRAMA.....	41
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	43
	REFERENCIAS .....	45
	APENDICES .....	49



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Fórmula.....	19
2.	Comparación del PET con otros elementos.....	21
3.	Proporciones Volumétricas del concreto convencional .....	26
4.	Diagrama metodológico.....	31
5.	Cronograma de desarrollo.....	41

### TABLAS

I.	Propiedades Químicas del PET .....	20
II.	Propiedades Físicas del PET .....	20
III.	Recursos necesarios para la investigación. ....	43



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Área
<b>Ab Max</b>	Absorción máxima
<b>Ab Min</b>	Absorción mínima
<b>Ab</b>	Área bruta
<b>Ac</b>	Área del cubo
<b>BCM</b>	Bloque cemento mezclado
<b>BMC</b>	Bloque mezcla control
<b>Cm<sup>2</sup>/g</b>	Centímetros cuadrados por gramo
<b>D</b>	Densidad
<b>F</b>	Fuerza de compresión
<b>Fh</b>	Fuerza lateral
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Gramos por centímetro cubico
<b>kg</b>	Kilógramos
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	Kilogramo por metro cubico
<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	kilogramo por centímetro cubico
<b>m<sup>2</sup></b>	Metros cuadrados
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos
<b>m sat</b>	Masa saturada
<b>m sec</b>	Masa seca
<b>m ss</b>	Metro sumergida y suspendida
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	Metro cúbico por segundo
<b>mm</b>	Milímetro
<b>N</b>	Numero de datos

<b>No.</b>	Numero
<b>Pi</b>	Densidad aparente
<b>psi</b>	Libras sobre pulgada cuadrada
<b>#</b>	Numero
<b>%</b>	Porcentaje
<b>“</b>	Pulgada
<b>Σ</b>	Suma
<b>σ</b>	Desviación estándar

## GLOSARIO

<b>Área bruta</b>	Producto del largo por el ancho de los bloques.
<b>Absorción máxima</b>	Cantidad máxima de agua que puede absorber un bloque expresado en kg/m <sup>3</sup> .
<b>ASTM</b>	Siglas en inglés de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales.
<b>Bloques huecos de mampostería</b>	Elementos huecos que se emplean apilados ensamblados o unidos, con un mortero y otro material similar para construir muros.
<b>COGUANOR</b>	Siglas de la Comisión Guatemalteca de Normas.
<b>Densidad aparente</b>	Relación entre la densidad de un cuerpo y la densidad del agua.
<b>Hormigón</b>	Mezcla utilizada en construcción, producto de la mezcla de cemento, arena y grava con agua.



## RESUMEN

Este trabajo de investigación nos muestra sobre el cemento mezclado con adición plástica (cemento *portland* + plástico PET), como una alternativa a la problemática nacional de los desechos plásticos PET, y su reutilización en blocks ecológicos.

Se hace una breve descripción de los cementos mezclados, haciendo referencia a los combinados con desechos plásticos PET, evaluando para este estudio la cantidad de desechos plásticos PET, que se pueden reutilizar por cada elemento constructivo y obtener una cantidad en peso del PET reutilizado de una manera sustentable.

También se describe el proceso de producción de bloques fabricados con cemento mezclado BCM (cemento *portland* + plástico PET) y bloques con materiales tradicionales BMC (mezcla control), de la cual se hace una descripción del proceso de producción.

Se presentan los ensayos y resultados de los tres tipos de bloques evaluados de acuerdo a las Normas COGUANOR NTG 41056h1

También se describen los ensayos físicos y mecánicos, además se presentan los resultados de los ensayos realizados al mortero y el concreto utilizados, siguiendo lo indicado en las normas aplicables.

Luego se compararon los resultados obtenidos de los bloques y se clasificaron de acuerdo a las especificaciones de la Norma COGUANOR NTG 41054.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se desarrollará la investigación de reutilización de los desechos plásticos PET, para la elaboración de *block* y como por medio de ensayos de laboratorio podemos clasificar estos blocks ecológicos de manera que sus características físicas y mecánicas al agregarles plástico triturado PET, pueda ser de un beneficio tanto ambiental como económico.

El plástico PET, desde su implementación a gran escala por las industrias para la distribución y embotellamiento en los años de 1970 a la fecha, han fomentado el uso constante de este material, sin una medida de reutilización sustentable donde todos los desechos plásticos PET no acaben en vertederos, ríos, lagos o mares flotando dañando el ecosistema y haciendo el proceso de recolección más difícil, como una medida para promover un sistema más circular y sustentable la integración del PET en la fabricación de *blocks* ecológicos hace que estos desechos plásticos no resulten contaminando ni alterando fuentes naturales.

El sector constructivo siempre se mantiene activo y a la vanguardia de nuevas tecnologías que ayuden a maximizar procesos garantizando la seguridad estructural de las obras, la realización de *block* ecológicos ayuda reutilizar de manera más sustentable los desechos plásticos, dando un ciclo de vida más largo, sino también a conseguir materiales más livianos con características mecánicas y físicas similares con un impacto ambiental positivo.

Los desechos plásticos PET, son una gran problemática en la actualidad, se han impulsado campañas para impulsar productos menos contaminantes y amigables con el ambiente hasta el punto de ser biodegradables, el inconveniente ahora es como procesar todos los desechos plásticos PET ya existentes que están los menos naturales y hacer de la manera más ecológicamente amigable sin perjudicar al medio ambiente.

En este sentido los materiales plásticos, considerados como contaminantes por no ser biodegradables, pueden constituirse como una alternativa más amigable con el ambiente y para la reducción de costos de producción de material constructivos presentando otros beneficios a la construcción como: durabilidad y resistencia a la corrosión, efectividad como aislante de frío, calor y ruido, fácil limpieza y mantenimiento, sencilla manipulación y rápida instalación, livianos y con una gran vida útil por ser reutilizables y reciclables.

Obtener un *block* ecológico con características físicas y mecánicas similares o mejores a los *blocks* tradicionales, aportara al sector constructivo un material más sustentable y al medio ambiente una medida de mitigación contra la problemática ambiental que se tiene por la gran cantidad de desechos plásticos PET, que contaminan y destruyen medios naturales, alterando ecosistemas y dañando la flora y fauna natural.

## 2. ANTECEDENTES

En el artículo publicado *Contaminación por plástico advierte sobre falsas soluciones* Nairobi 21 de octubre del 2021, nos indica como “una reducción drástica del plástico es inevitable más cuando se enfrenta el planeta en una crisis global de contaminación, el plástico es una amenaza creciente en todos los ecosistemas, iniciando desde su proceso de recolección” (Nairobi, 2022), si es que existe uno hasta llegar al mar, dentro del artículo nos indica que se prevé que se duplique para el 2030 la cantidad de plástico que se encuentra ya en el océano, también el autor rechaza que el reciclaje sea una salida a la crisis de la contaminación por los plásticos PET. “Esta investigación proporciona el argumento científico más sólido hasta la fecha para responder a la urgencia, actuar de manera colectiva, y proteger y restaurar nuestros océanos y todos los ecosistemas afectados por la contaminación a su paso” (Anderson, 2022, p.1).

En el artículo *Estudio dinámico del reciclaje de envases PET en el valle del Cauca* publicado por la revista *Lasallista de investigación* Vol.15 No. 1-2018 M.F Valderrama Ocoro, nos indica:

Como el acelerado crecimiento de la población generan un incremento en el consumo y por lo tanto en la generación de los desechos sólidos, los cuales al no ser procesados de una manera adecuada tienen efectos negativos en el medio ambiente y a pesar de que el PET es un material 100% reciclable, este termina en rellenos sanitarios disminuyendo la vida útil de los mismos y consumiendo recursos como el petróleo para la generación de materiales nuevos o que pueda reutilizarse de manera más eficiente. (Valderrama,2018,p 53)

En el artículo Los residuos plásticos son una amenaza creciente y una oportunidad desperdiciada nos da un parámetro de países desarrollados que recuperan y reciclan entre el 18% y el 25% de los plásticos reciclables, aludiendo que “es necesaria una transformación en la manera que utilizamos y gestionamos los plásticos y los países más desarrollados deben apoyar hacer una economía circular que procure diseñar productos que no generen residuos de no generar impactos negativos al medio ambiente” (Toro, 2004, p. 2).

Los daños más notorios al no contrarrestar la contaminación plástica los sufren los ríos, que ponen en peligro los ecosistemas marinos, que a su vez tiene un impacto negativo en los sectores cruciales de la economía como es el turismo, transporte y la pesca.

En la publicación Construcción con botellas de plástico análisis y mejora de elementos y sistemas constructivos estructurales, nos indican que:

Actualmente para la humanidad uno de sus mayores retos es como tratar de procesar o reutilizar los desechos plásticos PET, y aunque existen numerosos medios de reutilización algunos de ellos requieren procesos preindustriales de tratamiento, antes de poder ser reutilizados o sacados a una producción, sin embargo el plástico puede ser utilizado como un bloque o ladrillo en construcciones, ya que posee muchas ventajas respecto a otros residuos. (Gonzales 2020, p. 3)

Como lo es el proceso de descomposición neutro para el medio ambiente que esto hace que su periodo de descomposición dure hasta 500 años pero esta característica es muy positiva si se trata como un material para la construcción.

En la publicación del informe publicado por las Naciones Unidas (2020) donde se nos expusieron el *Programa para la mitigación y medidas de cambio del medio ambiente*, la arena y su sustentabilidad. Según registros a nivel mundial cada año se extraen de canteras y medios naturales alrededor de 40 a 60 mil millones de toneladas de arena de distintas procedencias como lo es de canteras, pozos, ríos, costas y ambientes marinos en todo el mundo, el motivo de esta extracción del recuso es por su fácil obtención, el precio tan accesible y su versatilidad como un agregado en el sector constructivo, la obtención de este recurso natural como tal no es el inconveniente, sino que hemos sobrepasado rápidamente las reservas de arena disponibles a un ritmo que ha estado creciendo durante décadas, indico el informe, y agregó que es un recurso natural muy rentable y con menos supervisión de parte de las autoridades respectivas.

El incremento de este tipo de explotación es debido al bajo precio de obtención de este mineral, con el que se cuenta en abundancia, además, hay que recordar que su descomposición completa tarda entre 40 y 500 años aproximadamente en descomponerse totalmente, lo que supone un gran impacto para el medio ambiente por el potencial de contaminación.

La Dirección General de Minería en su publicación Anuario Estadístico Minero de Guatemala Correspondiente al Año 2016 indica como el 99.5% de la actividad minera de Guatemala consiste principalmente en minería no metálica, entre ellas: arenas; basalto; caliza; mármol; yeso, canto rodado, formador de ondas, feldespatos, cuarzo, mica, jade, la importancia de la arena de río y su explotación sobre todo en los controles de calidad y la no alteración de los ecosistemas es un tema de gran relevancia que debe tomar en cuenta la dirección general de mineralogía, para no dañar de manera permanente el ecosistema. (Pimentel, 2016)



### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los desechos del plástico PET, como las botellas de aceite, agua y los envases en general que después de su uso son desechados a la basura en el mejor de los casos, en otros a drenajes o fuentes naturales de agua, donde se han convertido en un gran problema por el alto volumen de desechos que llegan a parar a la naturaleza, según organizaciones ecologistas como Greenpeace, han calculado que desde 1950 se han generado 8.000 millones de toneladas de plásticos.

Asimismo, la compra de plásticos, la falta de reciclaje, el vertido de este desecho plástico a la naturaleza y la falta de políticas sostenibles y ecologistas hacen que generemos más residuos plásticos y estos no sean desechados de una forma sustentable, esto lo vemos reflejo de la poca concientización de los manejos del plástico PET.

Aunque el reciclaje es bueno en sí mismo, no es una medida que logre solucionar la problemática en su totalidad, no es suficiente para evitar que los plásticos terminen en los océanos, la tierra o los ríos. Según el informe de la ONU (Naciones unidas) sobre la contaminación del plástico, destaca que el plástico representa el 85% de los residuos que llegan a los océanos.

El sobreconsumo de plástico es directamente la causa principal, dado que hoy en día la mayor parte de los productos que compramos están contenidos en plásticos y este material tarda entre 40 a 600 años en descomponerse por completo por lo cual los plásticos que se produjeron en los años de 1980 aún están en la naturaleza.

Por lo presentado con anterioridad se plantean las siguientes preguntas de investigación:

Pregunta Principal:

- ¿Cómo aprovechar los residuos plásticos triturados en la elaboración de *blocks* para su uso en la construcción en Guatemala?

Preguntas auxiliares:

- ¿Qué cantidad de desecho plástico triturado de PET se requiere para el diseño de mezcla de concreto para la elaboración de *blocks*?
- ¿Qué parámetros físicos y mecánicos deben considerarse para evaluar la resistencia y durabilidad del *block* construido a partir de los desechos triturados del PET?
- ¿Cuál es el costo y beneficio obtenido a partir de la elaboración del *block* a partir de los desechos plásticos triturados de PET para su uso en la construcción?

## 4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en el área de Investigación y Tecnología de los Materiales, en la línea de investigación de Gestión y tratamientos de residuos de la Maestría de Energía y Ambiente

Para la elaboración de *blocks*, tiene como objetivo buscar una alternativa viable y sostenible al aprovechamiento de los residuos plásticos PET en los procesos de construcción. Por lo que al obtener los residuos plásticos PET y triturarlos, llevándolo a partículas más pequeñas se usará como agregado en la elaboración de *block* para la construcción, sustituyendo de manera parcial el agregado fino utilizado tradicionalmente.

La elaboración de *block* ecológicos, impacta de manera positiva a la reutilización de los desechos plásticos PET, de manera que no quede en una fase de reciclaje sino que pueda reutilizarse de manera constante y en un sector de crecimiento constante donde su ciclo de vida será mucho mayor y se evitara que los desechos lleguen a los mares y fuentes naturales, su uso en la construcción beneficiara a tener materiales livianos y con características físicas y mecánicas más competitivas creando un sector constructivo más sustentable,

La importancia de la recolección y reutilización de los desechos plásticos PET, en el área de la de construcción es por su versatilidad, fácil manipulación y modelación a altas temperaturas, se convierte en una opción favorable en la construcción, donde sería utilizado como materia prima para la elaboración de *blocks* ecológicos y a su vez aumentaría los niveles de recolección y reciclaje aportando a la disminución de desechos plásticos en la naturaleza.

Los *blocks* ecológicos, ayudaran a inversión de recolección y recuperación de zonas naturales afectadas por el alto consumo de plásticos PET que llegan a estos lugares, cuidado también la integridad estructural que todos los elementos constructivos deben tener, garantizando que los *blocks* ecológicos impactan en la recuperación y recolección de los desechos plásticos de manera positiva y obteniendo un *block* amigable y sustentable con la naturaleza.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1. General

- Evaluar el aprovechamiento de los residuos plásticos triturados PET para la elaboración de blocks y su uso en la construcción en Guatemala.

### 5.2. Específicos

- Determinar la cantidad de desecho plástico triturado de PET requerido para el diseño de mezcla de concreto para la elaboración de *blocks* para la construcción.
- Evaluar los parámetros físicos y mecánicos que midan la resistencia y durabilidad del *block* construido a partir de los desechos triturados del PET.
- Estimar el costo y beneficio económico obtenido a partir de la elaboración del *block* a partir de los desechos plásticos triturados de PET para su uso en la construcción



## 6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Los desechos plásticos PET, son usados de manera cotidiana en gran parte del mundo, su fabricación y costo son muy accesible comparado con otros materiales que cumplen una función similar en los mercados, el inconveniente es que se ha sobre pasado la cantidad de plástico PET, haciendo que este no pueda ser reutilizado e incluso reciclado de una manera sustentable ya que se estima según proyecciones de la ONU, que para el 2040 los volúmenes de plásticos PET que fluirán hacia el mar se triplicaran pudiendo llegar a ser entre 23 a 37 millones de toneladas de este desecho plástico.

La alta contaminación afecta a las especies marinas y fuentes naturales de agua, además de que es un costo que se suma en la limpieza de estas áreas afectadas y hacer una recolección correcta, pero sin tener una reutilización sustentable dará el problema de repetir el ciclo casi de manera inmediata, la realización de *block* ecológicos para la mitigación y reutilización sustentable de los desechos plásticos PET, permitirá un constante uso de estos desechos y permitirá que no vuelvan a contaminar y lleguen a los océanos afectando los ecosistemas.



## 7. MARCO TEÓRICO

El plástico PET, está hecho a base de polímeros orgánicos sintéticos derivados de los combustibles fósiles, es un material que no se descompone fácilmente, mucho menos de forma natural, por lo cual por su resistencia y adaptabilidad puede implementarse para diversos usos. Esta materia plástica, por muy buenas características que tenga, también suele acumularse cuando no es desechado de forma correcta, llegando a parar a ríos, lagos y posteriormente llega al océano, permaneciendo durante décadas y disolviéndose entre los ecosistemas, causando una alteración ambiental. (Gonzales, 2020)

Los plásticos origen y su evolución a lo largo del tiempo durante el año de 1860, el inventor y científico Norteamericano Wesley Hyatt pudo desarrollar un método el cual le permitía comprimir piroxilina con la implementación del nitrato celulosa este con un bajo contenido de nitrito pretratado añadido en alcanfor y moderadas dosis de disolvente alcohólico, lo que dio como resultado la resina. Este producto, patentado como celuloide, fue un éxito comercial significativo a pesar de ser altamente inflamable y degradante por exposición a la luz, sin embargo, no dejaba de ser un gran método que empezó a implementarse con más frecuencia.

La obtención del celuloide parte cuando disolviendo celulosa, un carbohidrato de origen vegetal, en una base o solución de alcanfor junto con etanol. Con su ayuda, comenzaron a producirse varios artículos, entre ellos mangos de cubiertos como cuchillos, cucharas, aros de lentes como también escenarios de películas.

El celuloide tiene la característica de que puede ablandarse y cambiar de forma muchas veces bajo la influencia del calor, por eso se le llama hasta la fecha termoplástico.

Por los mismos años específicamente en el año de 1909, el investigador y químico de profesión belga-estadounidense Hendrix Bakeland desarrollo un diseño de polímero muy comercial e importante, por medio de partes moleculares de fenol y de formaldehído. El producto es moldeable, duro después de la solidificación, no conductor, resistente al agua y a los disolventes, y muy fácil de trabajar. El nombre con el que se le conoce es baquelita (o baquelita), que es el primer plástico en su totalidad sintético de la historia.

El químico Bakeland no imagino que, lo que obtuvo por medio de los experimentos fue lo que conocemos hoy como un copolímero. En diferencia de los llamados copolímeros que estos se componen de unidades monoméricas muy similares, los copolímeros se componen como mínimo de dos monómeros diferentes.

El politetrafluoroetileno, comúnmente conocido como teflón, se usa para hacer rodillos y sartenes antiadherentes. Otro plástico desarrollado en la década de 1930 en Alemania fue el poliestireno. Es un material muy transparente muy utilizado en la fabricación de vasos y envases. Fue descubierto por el químico Wallace Carothers, que solía trabajar para Dupont. Descubrió que los dos productos químicos producidos eran hexametilendiamina y ácido adípico. polímeros cuando se bombean a través de orificios y se estiran para formar fibras tejidas.

### **7.1. El plástico PET en la actualidad**

El plástico PET, hoy en día ha dejado de ser tan consumido gracias a campañas de reciclaje y de utilización de otros tipos de materiales amigables con el ambiente, se busca no incrementar los daños que se han causado por el consumo masivo de los plásticos PET, según datos recolectados por *Plastics Recycles Europe* Indica que se observa un crecimiento importante en el mercado de recicla del PET, y junto con ello los proyectos de reutilización sustentable deben ir alineados con los compromisos de mitigación ambiental y lograr una circularidad del PET.

### **7.2. Generalidades de los desechos plásticos**

El plástico es un material que se caracterizan por buena relación resistencia-densidad, funciona como un excelente aislante térmico y de elementos eléctricos con una excelente resistencia a ácidos, bases y solventes. Las moléculas de este material son de un tamaño considerable y estas se presentan de 2 formas las cuales son lineales y en otras ocasiones ramificadas o reticuladas, esto dependerá del tipo estructural del elemento y como este está compuesto.

### **7.3. El plástico según su plasticidad**

En términos de ductilidad, a medida que aumenta la temperatura del elemento, los plásticos se dividen en dos distintas categorías las cuales son:

- Termoplásticos.
- Termoestables.

### **7.3.1. Termoplásticos**

Estas resinas como también se les puede llamar, fluyen como líquidos viscosos cuando se calientan y se solidifican cuando se enfrían. El enfriamiento y el calentamiento se pueden realizar cualquier número de veces sin pérdida de las propiedades del material. Este es el tipo de plástico que constituye aproximadamente el 85% del plástico utilizado y es reciclable. Los principales tipos de termoplásticos son:

- Polietileno
- Polipropileno
- Cloruro de Polivinilo
- Nylon
- Polietileno Tereftalato
- Poliestireno

### **7.3.2. Termoestables**

Estos plásticos al someterlos a temperaturas relativamente altas se derriten y se endurecen cuando se les sigue aplicando aún más calor adicional. No se pueden calentar ni moldear, pero se pueden reciclar derritiéndolos. Estos polímeros son generalmente más fuertes, pero más frágiles que los termoplásticos. Los materiales más comunes termoestables son los siguientes:

- Resina de Poliéster.
- Melanina Formaldehído.
- Urea Formaldehído.
- Fenol Formaldehído (Bakelita).

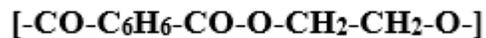
#### 7.4. Tereftalato de Polietileno (PET)

También conocido por su abreviatura como PET, cuyo nombre científico es *tereftalato de polietileno*, fue aprobado por J. Winfield y J.T. Dickinson en 1941, la producción del plástico PET como se le conoce por su abreviación continuamente se ha mejorado, logrando alta calidad y variedad de usos.

Desde 1976 se ha implementado su uso en masa para la producción de envases más livianos, transparentes en algunas ocasiones y resistentes a temperaturas ciertas temperaturas, aunque fundamentalmente su utilización es para bebidas frías, en un principio iniciaron siendo de un material más grueso y se le veía en botellas gruesas y pesadas, pero hoy, sin perder sus propiedades de envase, son más ligeras para la comodidad y optimización del producto

El PET está hecho de ácido tereftálico y etilenglicol y tiene la siguiente fórmula química:

Figura 1. **Fórmula**



**Fuente:** Chauisi, Editorial Hispano Europa, (2006) *Manual sobre el plástico*.

El PET es uno de los materiales que se caracteriza por la ligereza entre otras características muy nobles como lo son la resistencia a la compresión mecánica y también a caída, lograr mantener estas propiedades aun siendo un material con alta transparencia, que logra mantener los sabores a los alimentos, de manera de hacerlos más perecederos siendo un buen aislador de aire, 100% reciclable, los más reciclados conocidos por sus abreviaturas *PET* o *PETE* en inglés, desde su incorporación a la industria y producción en masa vemos que es un plástico reciclable de alta calidad.

#### 7.4.1. Propiedades Generales del plástico PET

- Cristalizable
- Es esterilizable ya sea por gamma o también por óxido de etileno
- Es un material muy reutilizable por su grado de reciclabilidad
- Liviano
- Puede ser Procesado por aire a presión, inyección, extrusión
- Transparente y con brillo según su preparación con efecto lupa

**Tabla I. Propiedades Físicas del PET.**

<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	
<i>Absorción de agua – Equilibrio (%)</i>	< 0.7
<i>Densidad</i>	1.3 – 1.4
<i>Índice Refractivo</i>	1.58 – 1.64
<i>Inflamabilidad</i>	Auto extinguable
<i>Resistencia a los ultravioletas</i>	Buena

**Fuente:** Adaptado de la tesis ESPOL. Aplicación para PET reciclado, 2004.

**Tabla II. Propiedades Químicas del PET.**

<b>RESISTENCIA QUÍMICA</b>	
<i>Ácidos concentrados</i>	Buena
<i>Alcalis</i>	Mala
<i>Alcoholes</i>	Buena
<i>Grasas y aceites</i>	Buena
<i>Halógenos</i>	Buena
<i>Hidrocarburos aromáticos</i>	Aceptable

**Fuente:** Adaptado de la tesis ESPOL. Aplicación para PET reciclado, 2004.

### 7.4.2. Métodos de recolección del PET

El Plástico PET normalmente se suele clasificar como una resina de poliéster hecha de *etilenglicol* y de ácido *tereftálico*. Se clasifica según su viscosidad intrínseca, el cual le indica cuál es su peso molecular, en la polimerización es que suele bajar de su cristalización y también afecta el punto de fusión.

### 7.4.3. Comparación del plástico PET con diversos materiales

En la última década, el PET se ha convertido en el material más importante y ampliamente utilizado para la producción de agua, bebidas y alimentos embotellados con una producción de alrededor de 11 millones de toneladas debido a su transparencia, baja densidad y alta durabilidad. flexibilidad de formato, buenas propiedades organolépticas, etc. Es importante destacar que la debilidad actual del PET se minimiza al combinar esta tecnología con otros materiales. (Gaggino, 2008)

Figura 2. Comparación del PET con otros elementos.

	PET	PVC	HOPE	PP	PS	HOPE con barreras de Nylon	Vidrio	Aluminio
Transparencia	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↓
Resistencia	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↑
Impermeabilidad	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Barrera para el paso de gases	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑
Capacidad de llenado en caliente	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↑
Resistencia a microondas	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓
Capacidad de reciclaje	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↑
Propiedades organolépticas	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑	↑
Flexibilidad de formas	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓

+ Subtítulo  
 ↑ Excelente    ↑ Aceptable    ↓ Malo    ↓ Pésimo

Fuente: María Valderrama (2018), Reciclaje de envases PET.

## **7.5. Aplicaciones del PET**

Las aplicaciones más comunes del PET son en botellas plásticas para el consumo de bebidas, bandejas y láminas. También se suele utilizar para otros usos no tan conocidos como es el sector textil, en la construcción con diversos materiales y estructuras y en otras ramas de producción donde se está implementando por su versatilidad y adaptabilidad.

### **7.5.1. Reciclaje del plástico PET**

También se puede definir como obtener materias primas de los desechos y colocarlos en el ciclo de reciclaje, esto se hace ante el agotamiento de los recursos naturales y la eliminación eficiente de los desechos.

Básicamente, el volumen y el peso de los desechos deben mantenerse al mínimo para resolver su problema global. Cualquier actividad de gestión de residuos plásticos debe comenzar con la reducción de la fuente.

La reducción en la fuente está directamente relacionada con las etapas de diseño y producción, principalmente el empaque previo al consumo. Es una forma de crear productos con un nuevo criterio ecológico; producen menos residuos

También se puede decir que gran parte de la responsabilidad recae en el consumidor, ya que tiene el poder de elegir entre un producto que se crea teniendo en cuenta criterios de reducción de recursos, y un producto que desperdicia materias primas y aumenta los costes innecesariamente. cantidad de residuos. Principales beneficios de la reducción en la fuente:

- Reducir los residuos, es mejor no generar residuos que decidir qué hacer con ellos.
- Ayuda a evitar que los vertederos se llenen rápidamente.
- Se ahorran recursos naturales, energía, materias primas y finanzas.
- La reducción de fuentes reduce la contaminación y el efecto invernadero.
- Se requiere menos energía para transportar materiales más livianos. Menos energía significa que se quema menos combustible, lo que a su vez significa menos daño al medio ambiente.

Para procesar plásticos, los diferentes tipos de plástico deben separarse en partes separadas. Hay dos opciones para el reciclaje de plástico: mecánica o química.

### **7.5.2. Reciclado Químico**

El reciclaje químico implica varios procesos en los que las moléculas de polímero se descomponen nuevamente, lo que da como resultado una materia prima básica que se puede utilizar para producir nuevos plásticos.

La industria petroquímica ha comenzado a desarrollar el procesamiento químico para cumplir con sus objetivos establecidos de gestión de desechos y optimización de recursos. Algunos métodos que más se han implementado en el reciclaje químico tienen la ventaja de no ser especialmente la separación de las partículas de plástico, lo que permite que pueden procesar distintos desechos plásticos mezclados, lo que reduce significativamente los costos de recolección y la clasificación de los plásticos. Como resultado, la calidad del producto final es muy buena. Los principales procesos disponibles son:

### **7.5.3. Pirólisis**

Esta es la descomposición del material, o en palabras más simples se podría decir que plantea como el proceso térmico de degradación de una sustancia en la ausencia de oxígeno. En este proceso se producen hidrocarburos líquidos o sólidos, que luego de su obtención se procesan en refinerías para la obtención de un mejor producto.

#### **7.5.3.1 Hidrogenación**

Es una reacción química, pero en el caso de la hidrogenación, el plástico se trata a altas temperaturas. Las cadenas de polímeros se descomponen y se convierten en aceites sintéticos que posteriormente se utilizan en refinerías y plantas químicas como aprovechamiento de este recurso.

#### **7.5.3.2 Gasificación**

El plástico se calienta con aire u oxígeno. De esta forma se obtiene el gas de síntesis: monóxido de carbono y también hidrógeno, que se utiliza para producir metanol y también puede ser en su parte amoníaco, e incluso como vehículo de transporte en la producción de acero en horno colgante.

#### **7.5.3.3 Quimiólisis**

El proceso de *Quimiólisis* se implementa para el *poliéster* en su gran mayoría, pero también en *poliuretanos*, *poliacetales* y *poliamidas*. Se requiere una gran cantidad de plástico separable. Implica el uso de procesos de disolución como la hidrólisis, el glucólisis o los alcoholes para su reciclado y conversión.

nuevamente en sus monómeros primitivos para volver a descomponerlos o regresarlos en su estado básico u otros plásticos y reutilizarlos.

## **7.6. Concreto**

El hormigón es un material constituido por una mezcla de cemento, agua, áridos y, en su caso, aditivos, que presenta inicialmente una estructura dúctil y deformable, para luego adquirir una consistencia sólida con propiedades aislantes del calor y duraderas, que lo convierten en un excelente material. para construir.

### **7.6.1. Componentes del concreto**

La tecnología actual del concreto se define por cuatro componentes: cemento, agua, agregados y aditivos como ingredientes activos y aire. Aunque la definición tradicional considera que los aditivos son opcionales, son un ingrediente común en la práctica del mundo moderno porque se ha demostrado científicamente que son útiles para mejorar la trabajabilidad del material, la vida útil y la vida útil de la herramienta, al mismo tiempo, una solución más económica. si se tiene en cuenta el ahorro en obra y disposición de equipos. (*Gaggino, 2018*)

La necesidad de conocer en profundidad las propiedades de los componentes del hormigón se debe a que se debe demostrar que todo cemento merece un conocimiento especial, y para conocer sus propiedades podremos analizar cómo otros materiales y áridos favorecen esto. o no, dependiendo de la utilidad que se le vaya a dar.

Figura 3. **Proporciones Volumétricas del concreto convencional**

<b>Aire = 1 % a 3 %</b>
<b>Cemento = 7 % a 15 %</b>
<b>Agua = 15 % a 22 %</b>
<b>Agregados = 60 % a 75 %</b>

Fuente: Enrique Pasquel (2018) *Temas tecnológicos del concreto*

## **7.6.2. Propiedades del hormigón**

Las propiedades del hormigón son las siguientes

### **7.6.2.1. Trabajabilidad**

El hormigón fresco es hormigón recién mezclado. De hecho, existe una prueba de trabajabilidad de la concreto llamada "prueba de caída" en la que necesita una placa base, un cono y una varilla de metal.

El ensayo consiste en medir la altura del bloque de hormigón después de haberlo extraído del cono utilizado como molde. Cuanto mayor sea la altura, mejor será el rendimiento.

#### **7.6.2.2. Segregación**

“La segunda propiedad del hormigón fresco es la disociación. En este caso, hay que decir que a mayor deslaminación, peor calidad del hormigón. Para evitar una delaminación excesiva, es recomendable evitar que el hormigón se deslice por caminos irregulares” (ICAITI 41001, 2021, pag 8).

#### **7.6.2.3. Elasticidad**

“Es la capacidad de recuperarse después de haber sido deformado” (ICAITI 41001, 2021, p 8).

#### **7.6.2.4. Resistencia**

“Es la capacidad del hormigón para resistir las cargas que se le aplican. Para obtener la resistencia indicada en el plano, se debe preparar con cemento y áridos de alta calidad. Además, debe transportarse, apilarse, vibrarse y endurecerse adecuadamente” (ICAITI 41001, 2021, p 8).



## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### 1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Estudios previos (recientes)

1.2 Antecedentes

### 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Los plásticos origen y su evolución a lo largo del tiempo

2.2. El plástico en la actualidad

2.3. Generalidades de los desechos plásticos

2.4. El plástico según su plasticidad

2.4.1. Termoplásticos

2.4.2. Termoestables

2.5. Tereftalato de polietileno (PET)

2.5.1. Propiedades generales del plástico PET

2.5.2. Métodos de recolección del PET

2.5.3. Comparación del plástico PET con diversos materiales

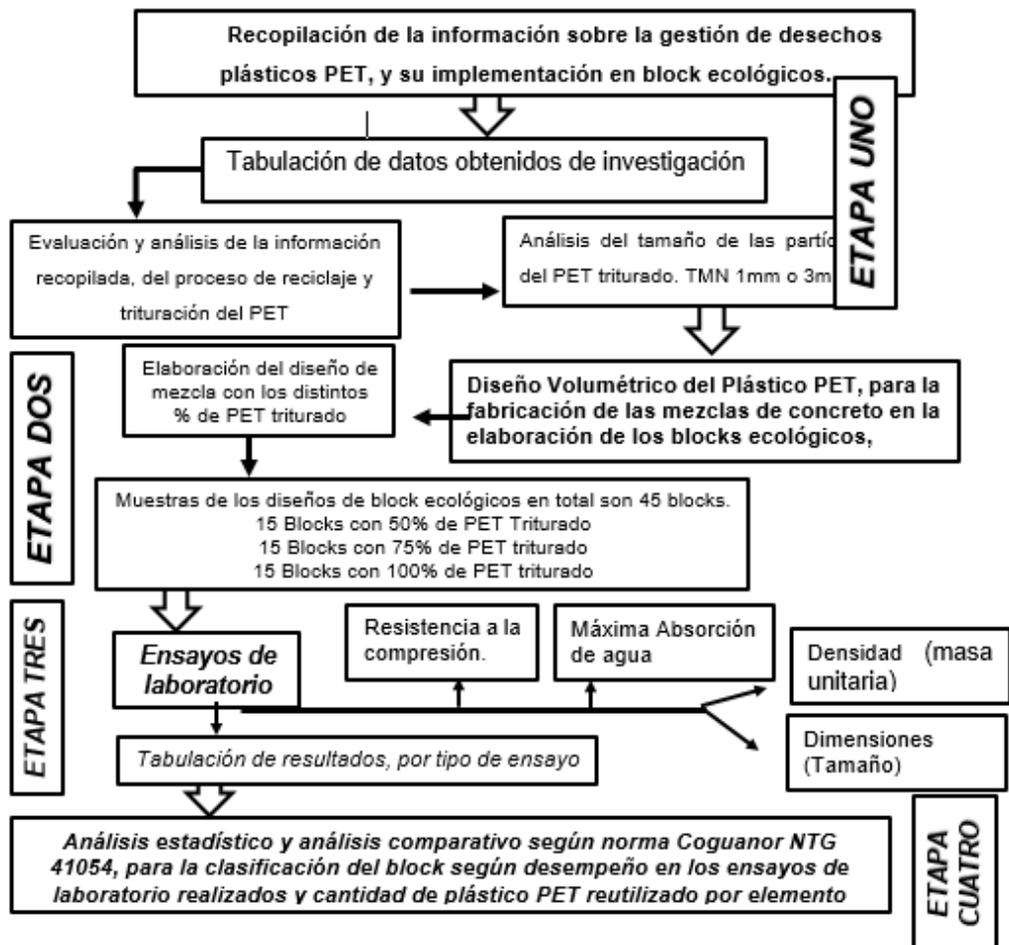
2.5.4. Aplicación del PET

- 2.5.5. Reciclaje del plástico PET
  - 2.5.5.1. Reciclaje Químico
  - 2.5.5.2. Reciclaje mecánico
- 2.6. Concreto
  - 2.6.1. Componentes del concreto
  - 2.6.2. Propiedades del concreto
    - 2.6.2.1. Concreto fresco
    - 2.6.2.2. Concreto endurecido
- 3. METODOLOGIA
  - 3.1. Características del estudio
    - 3.1.1. Diseño
    - 3.1.2. Enfoque
    - 3.1.3. Alcance
    - 3.1.4. Unidad de análisis
  - 3.2. Variables
  - 3.3. Fases del desarrollo de la investigación
    - 3.3.1. Fase 1
    - 3.3.2. Fase 2
    - 3.3.3. Fase 3
    - 3.3.4. Fase 4
  - 3.4. Técnicas de análisis de información
- 4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
- 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES
- REFERENCIAS
- APÉNDICES
- ANEXOS

## 9. METODOLOGÍA

La metodología de la siguiente investigación es de tipo descriptiva en donde se describirá el proceso y herramientas para determinar la factibilidad de los blocks ecológicos y como su aplicación impacta en el ámbito ambiental y en el sector constructivo. A continuación, se muestra un diagrama de la metodología:

Figura 4. Diagrama metodológico



Fuente: elaboración propia, realizado con Visio.

### **9.1. Tipo de estudio**

La siguiente tesis de investigación es de estudio tipo cuantitativo-descriptivo dado a que la investigación busca recopilar información sobre los procesos ya existente en el mercado guatemalteco de empresas que se dedican a la recolección y procesamiento de los desechos plásticos PET, según el proceso y el producto esperado que sería un plástico PET limpio y triturado a un tamaño entre 1 y 3 mm, en conjunto con un diseño experimental que buscara que la investigación tenga un impacto aplicable y sostenible.

### **9.2. Fases del estudio**

Cada una de las fases del estudio se desarrollará de manera secuencial, con el objetivo de obtener resultados ordenados y con los instrumentos acorde a la investigación, en conjunto con cada uno de los procesos que se documentaran en cada fase, la recolección de datos y procesamiento de la información debe ser clara para tener una presentación de resultados confiable el correcto desarrollo de cada fase nos ayuda a poder determinar el impacto de la investigación y futuras mejoras en elementos constructivos. La descripción del desarrollo de cada una de las fases se presentará a continuación

### **9.3. Fase 1: Exploración técnica**

Durante la fase de exploración técnica, se buscara y visitara algunas empresas que ya estén implementando procesos de recolección y reutilización de los plásticos PET, con el objetivo de poder conocer su proceso de recolección, y separación de estos plásticos, como también su proceso de trituración, y conocer si hay algún proceso intermedio hasta llegar a obtener el producto deseado que sería el PET triturado de un tamaño de 0.1mm y 0.3mm, esta fase

técnica nos dará un parámetro mucho más amplio de cómo se realizan los procesos y los costos de estos procesos ya establecidos por las empresas y poder determinar si dentro del mismo puede haber mejoras y así poder aprovechar de mejor manera los desechos plásticos, es importante destacar que esta fase es de evaluación y análisis del mercado ya existente dedicados a la recolección y procesamiento de los plásticos PET.

La realización de esta fase con el fin de conocer procesos industriales ya establecidos para la recolección de los desechos plásticos PET, pero la recolección individual o de manera más puntual por sectores es muy importante, ya que cada botella recolectada y desechada de una manera correcta ayuda a que esta no pare en los vertederos sanitarios o fuentes de agua naturales dañando el ecosistema.

#### **9.4. Fase 2: Estimación teórica para el diseño de mezcla para el block ecológico**

Durante la fase del diseño experimental, se desarrollará de manera teórica por medio de un diseño de mezcla de concreto dado por el ACI (Asociación Americana de Concreto), 4 diseños de concreto con distintas cantidades de plásticos triturados PET, con el objetivo de poder tener 4 diseños teóricos de elementos constructivos *Blocks*, con agregados plásticos PET. Cada uno de los modelos será identificado por un color este en relación al porcentaje de plástico PET triturado que se le agregará a cada elemento constructivo, con el fin de tener las muestras correctamente identificadas.

Todos los elementos constructivos serán hechos con, cemento, grava, arena de río y plástico triturado, la variación se dará en relación al porcentaje de arena de río que se sustituirá por plástico *PET*, de manera de obtener en que

porcentaje de plástico el block es más eficiente y se comporta de una manera similar o mejor ante los esfuerzos mecánicos.

Considerando la norma, sobre la cual se ensayarán los blocks de concreto con agregados triturados de plástico *PET*, Norma NTG 41054 *Especificaciones Bloques Huecos De Concreto*. La muestra para tener resultados con parámetros más confiables debe de ser 5 muestras por cada tipo de muestra.

### **9.5. Fase 3: Elaboración de blocks a partir de desecho plástico triturado**

Ya establecido los diseños de mezcla del concreto para la realización de los elementos constructivos, se realizarán *5 block*, por cada diseño de mezcla de concreto con los distintos porcentajes de plástico triturado PET. Los cual se ensayarán según Norma NTG 41054, donde se evaluarán propiedades físicas y mecánicas de todos los elementos, para obtener un buen muestreo de resultados y poder analizarlos de la mejor manera.

Los ensayos que se realizaran son los siguientes:

- Resistencia a la compresión.
- Máxima Absorción de agua
- Densidad (masa unitaria)
- Dimensiones (Tamaño)

### **9.6. Fase 4: Recolección de datos y análisis**

En base a los ensayos de laboratorio realizados a cada grupo de blocks ecológicos se ordenarán los datos y se analizaran por cada ensayo realizado y poder determinar según norma COGUANOR NTG 41054, si los *blocks* ecológicos se encuentran dentro de los parámetros y clases como se clasifica y poder

determinar la utilidad que se le pueden dar en la construcción desde el tipo estructural hasta un tipo de obra no estructural de carácter temporal, de manera general se determinara cual es el aporte que proporciona el plástico triturado PET, a los elementos constructivos, junto con la cantidad volumétrica de plástico PET, reutilizado por cada *block* ecológico.



## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

En las técnicas de obtención de información se usarán, la obtención de datos de empresas que ya desarrollan una recolección de plásticos PET, y como es su proceso de tratamiento de manera inicial esto ayudara a poder asentar nuestra investigación al contexto nacional y plantear si el proceso de recolección y reciclado implementado por estas empresas esta optimizado y de lo contrario implementar un sistema más eficaz, esto es parte de la técnica de investigación de campo.

Con la estimación teórica para el diseño de mezcla de concreto con PET triturado, se pasará al proceso de ensayos que se realizaran a los Block ecológicos, que busca obtener una muestra significativa donde se analizaran comportamientos físicos y mecánicos de la implementación del PET, este proceso será subdividido en relación al porcentaje de PET, que lleve cada elemento, formándose 4 subdivisiones las cuales son:

- *Block ecológico con 50% de PET*
- *Block ecológico con 75% de PET*
- *Block ecológico con 100% de PET*

Cada elemento se ensayará y se verificaran sus propiedades físicas y mecánicas para su análisis en relación a sus propiedades y porcentaje de PET agregados.

Es importante destacar que, aunque un elemento tenga mejores características y propiedades no significa que los demás no sirvan o sean útiles

su implementación puede darse, pero especificando la utilización, como bordillos, o levantados de muros no estructurales.

Al ensayar muestras con distintos porcentajes de plástico triturado PET, es necesario aplicar algunos métodos estadísticos para determinar precisión de los ensayos por lo cual por cada ensayo realizado se realizará el promedio, desviación estándar y el coeficiente de variación de Pearson. Con el objetivo de sustentar de manera estadística los resultados y analizar el comportamiento de cada ensayo, estos análisis estadísticos son complementarios a los análisis de los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio, las fórmulas estadísticas serán las siguientes:

### **10.1. Promedio**

Mide la tendencia central, que es la ubicación del centro de un grupo de resultados en una distribución estadística.

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

Donde:

$\bar{X}$  = Promedio

$\sum X$  = Suma de los datos obtenidos

N = Numero de datos

### **10.2. Desviación estándar**

Es un índice numérico de la dispersión de un conjunto de datos. Mientras mayor es la desviación estándar, mayor es la dispersión de los resultados.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{N}}$$

Donde:

$\sigma$  = Desviación estándar

X= Cada uno de los datos

$\bar{X}$  = Promedio

N = Numero de datos

### 10.3. Coeficiente de variación de Pearson

Medida estadística que nos informa acerca de la dispersión relativa de un conjunto de datos.

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$$

Donde:

V = Coeficiente de variación de Pearson

$\sigma$  = Desviación estándar

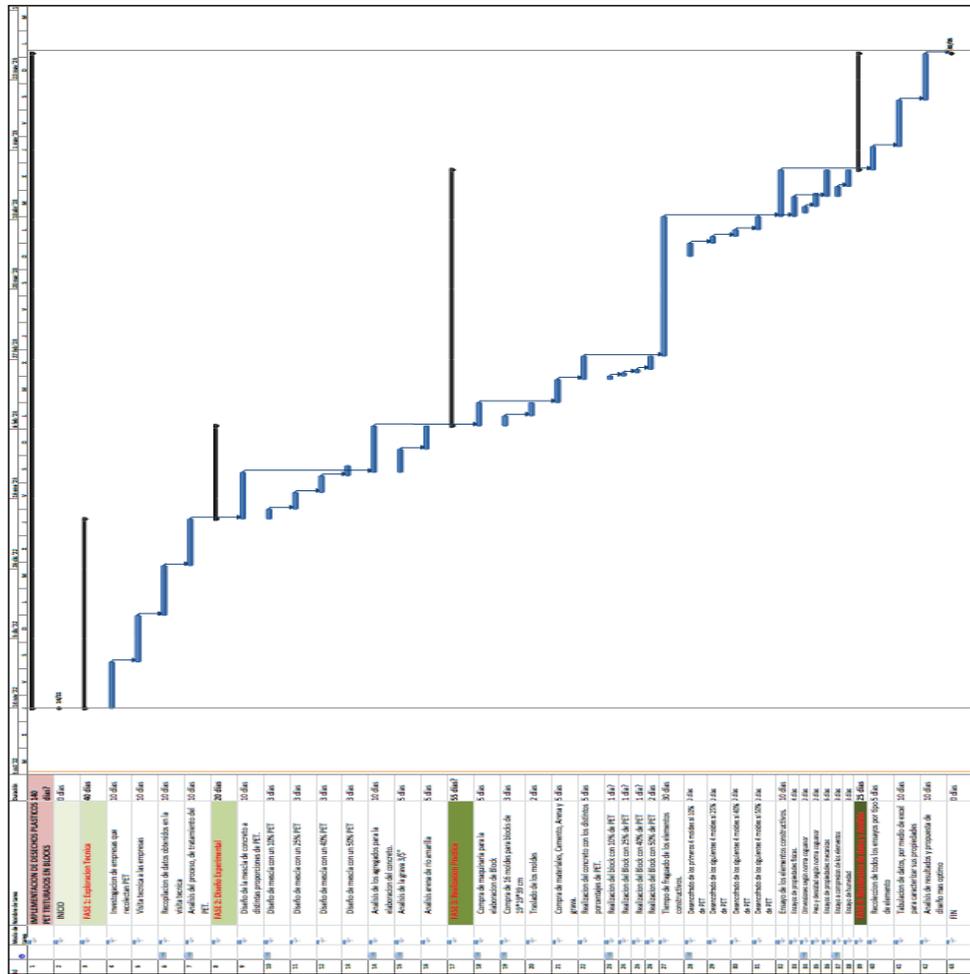
$\bar{X}$  = Promedio



# 11. CRONOGRAMA

En el siguiente cronograma nos indicara de manera gráfica cada una de las fases, con sus tiempos de ejecución y desarrollo, el tiempo total de ejecución es de 6 meses con 16 días, iniciando en noviembre 14 del 2022, y finalizando con el análisis de los resultados en mayo 30 del 2023.

Figura 5. Cronograma de desarrollo



Fuente: Elaboración propia, realizado en Visio.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizó con recursos propios del estudiante de la maestría de energía y ambiente, siendo esta una investigación descriptiva y los recursos utilizados a lo largo de todo el proceso de desarrollo son los siguientes:

**Tabla III. Recursos necesarios para la investigación.**

<b>Recursos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Moldes de <i>Block</i> medidas 19*19*39cm Metálicos	15	Q250	Q3,750.00
sacos de Cemento UGC	10	Q80	Q800.00
m3 de arena amarilla	1	Q150	Q150.00
m3 de Grava 3/4"	1	Q200	Q200.00
Ensayos de Laboratorio de Materiales	Global	Q3500	Q3,500.00
Viáticos	Global	Q1000	Q1,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>Q9,400.00</b>

Fuente: elaboración propia.

Los recursos expuestos con anterioridad son suficientes para la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.



## REFERENCIAS

1. AGEXPORT. (2022). *Comisión de plásticos*. doi:<https://www.export.com.gt/inicio>
2. Alvarado, J. N. (2004). *Características del concreto*. Tesis Posgrado, Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de [www.construaprende.com/Ingtrabajos](http://www.construaprende.com/Ingtrabajos)
3. Anderson, I. (2021). La justicia forma parte indisoluble del debate medioambiental. (P. d. Unidas, Entrevistador) Obtenido de <https://www.un.org/es/climatechange/inger-andersen-climate-justice>
4. ASTM C219. (2020). *1. ASTM C-219 Standard terminology relating to hydraulic cement. (Terminología estándar relacionada con cemento hidráulico)*.
5. Castillo, V. (2004). *Repositorio Dspace*. Obtenido de Proyecto de inversión para la instalación de una planta recicladora de polietilen tereftalato (pet) para transformar los desperdicios plasticos de pet generados por la ciudad de Guayaquil en escamas recicladas para destinarlas a la exptración: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/3769>

6. Dirección General de Minería. (2016). Anuario Estadístico Minero de Guatemala. *Sobre explotación minera*, 45.
7. Gaggino, R. (2008). Ladrillos y placas prefabricados con plásticos reciclados Aptos. *Revista INVI*, 137.
8. Gary Bolaños, J. J. (2019). *Reciclado de Plástico PET*. Obtenido de [http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/16146/1/BOLA%C3%91OS\\_ZEA\\_JUA\\_PET.pdf](http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/16146/1/BOLA%C3%91OS_ZEA_JUA_PET.pdf)
9. Gonzáles, J. (enero de 2019). *Ecuador Documents*. Obtenido de Construcción con botellas de plástico: Análisis y mejora de elementos y sistemas constructivos.: <https://documents.ec/document/construccin-con-botellas-de-pl-segn-green-peace-anunci-en-un-articulo-publicado.html?page=1>
10. González Sánchez, J. (2019). *Biblioteca Universitaria* . Obtenido de Construcción con botellas de plástico: análisis y mejora de elementos y sistemas constructivos estructurales: <https://oa.upm.es/54207/>
11. González, M. P. (2009). Máquinas de Fluidos.
12. Interpresas. (23 de 02 de 2022). *Canales sectoriales*. Obtenido de Los envases de PET avanzan con paso firme hacia la circularidad: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/379924-Los-envases-de-PET-avanzan-con-paso-firme-hacia-la-circularidad.html>

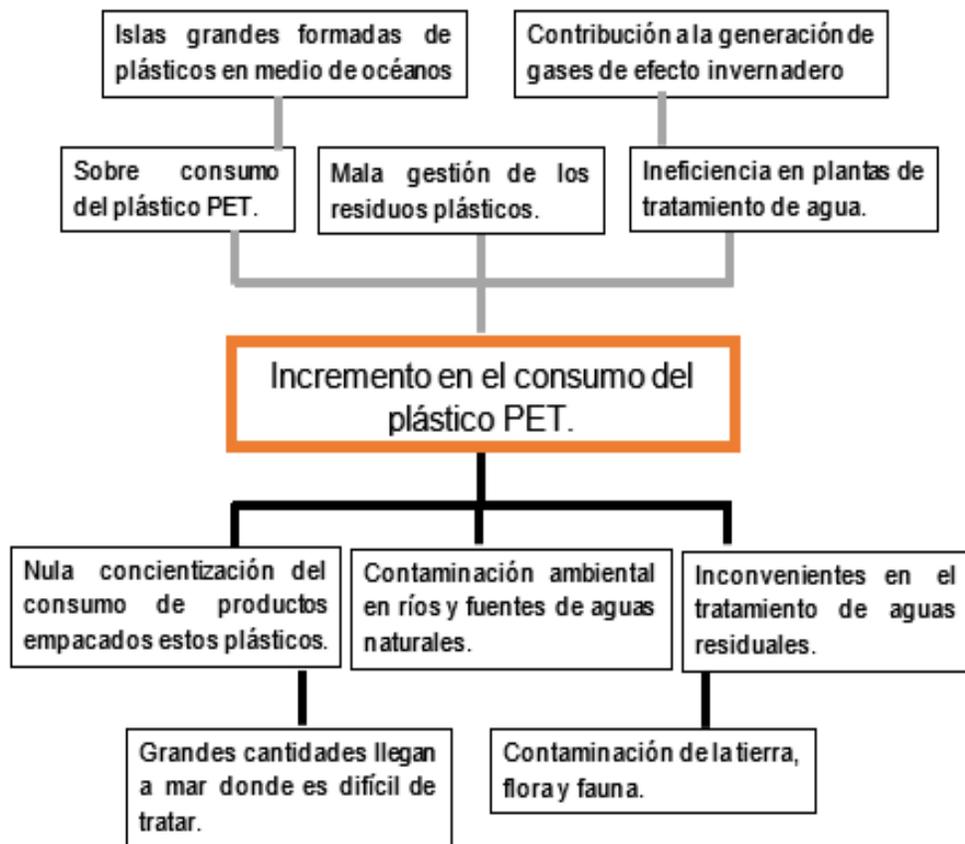
13. Ministerio de Energía y Minas. (2016). *Turbinas hidráulicas tipo Pelton marca Andritz*. Recuperado el 18 de 10 de 2018, de Anuario Estadístico Minero: <http://www.andritz.com/no-index/pf-detail?productid=9224>
14. Naciones Unidas. (02 de Marzo de 2022). *Noticias ONU*. Obtenido de I mundo se une contra el plástico: <https://news.un.org/es/story/2022/03/1504922>
15. ONU. (marzo de 2022). *ONU Programa para el Medio ambiente*. Obtenido de Informe de la ONU sobre contaminación por plásticos advierte sobre falsas soluciones y confirma la necesidad de una acción mundial urgente: [https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos#:~:text=Nairobi%2C%202021%20de%20octubre%20de,el%20Medio%20Ambiente%20\(PNUMA\)](https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos#:~:text=Nairobi%2C%202021%20de%20octubre%20de,el%20Medio%20Ambiente%20(PNUMA)).
16. ONU. (26 de abril de 2022). *ONU Programa para el Medio Ambiente*. Obtenido de Arena y sostenibilidad: 10 recomendaciones estratégicas para evitar una crisis: <https://www.unep.org/es/resources/informe/arena-y-sostenibilidad-10-recomendaciones-estrategicas-para-evitar-una-crisis>
17. Parker, L. (12 de septiembre de 2019). *National Geographic*. Obtenido de La botella de plástico: de recipiente práctico a residuo odiado: <https://www.nationalgeographic.com/medio-ambiente/botellas-plastico>
18. Toro, J. (2004). *Aplicación para Polietileno Tereftalato (PET) reciclado*. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/14671>

19. Valderrama Ocoró, M. F. (2018). Estudio dinámico del reciclaje de envases. *Scielo*. Recuperado el 24 de 10 de 2018
20. Valderrama, M. F. (2018). Estudio dinámico del reciclaje de envases. *Revista lasallista de investigación vol.15, 15, 53*.
21. Vergara, F. (2013). Cemento y sus especificaciones en las normas ASTM C 595. *Revista Utp.ac*, 6-7. Recuperado el 12 de 10 de 2018
22. Zuluaga, J. D. (2012). *Microturbinas Pelton*. Artículo Científico.

## APENDICES

Estas páginas contienen información elaborada por el estudiante no debe continuar con la numeración de figuras y tablas.

Apéndice 1. Árbol de problemas



Fuente: Elaboración propia.

## Apéndice 2. Matriz de Coherencia

<i>Preguntas</i>	<i>Objetivos</i>	<i>VARIABLES</i>	<i>Diseño Metodológico</i>
¿Cómo aprovechar los residuos plásticos triturados en la elaboración de blocks para su uso en la construcción en Guatemala?	Evaluar el aprovechamiento de los residuos plásticos triturados PET para la elaboración de blocks y su uso en la construcción en Guatemala.	Cantidad de Plástico Reciclado (Kilo) PET  Resistencia compresión (fp): >90 kg/cm <sup>2</sup>	La cantidad de plástico reutilizado, por elemento realizado nos ayuda a obtener los volúmenes de desechos aprovechados, dándoles un segundo uso de manera sustentable con el medio ambiente.
¿Qué cantidad de desecho plástico triturado de PET se requiere para el diseño de mezcla de concreto para la elaboración de blocks?	Determinar la cantidad de desecho plástico triturado de PET requerido para el diseño de mezcla de concreto para la elaboración de blocks para la construcción.	Peso Específico del elemento constructivo (kg)	Por medio de la norma Coguanor NTG 41055h1 se tomará como punto de comparación las características físicas y mecánicas de un block tradicional y un block con desechos plásticos PET, como agregado en sus distintas proporciones.
¿Qué parámetros físicos y mecánicos deben considerarse para evaluar la resistencia y durabilidad del block construido a partir de los desechos triturados del PET?	Evaluar los parámetros físicos y mecánicos que midan la resistencia y durabilidad del block construido a partir de los desechos triturados del PET.	Porcentaje de absorción de los elementos constructivos (%)	En conjunto con el cumplimiento de la norma se obtendrá cual es el diseño más óptimo en relación a sus características y costo de fabricación de los elementos constructivos con agregados de desechos plásticos PET.
¿Cuál es el costo y beneficio obtenido a partir de la elaboración del block a partir de los desechos plásticos triturados de PET para su uso en la construcción?	Estimar el costo y beneficio económico obtenido a partir de la elaboración del block a partir de los desechos plásticos triturados de PET para su uso en la construcción	Costo de la implementación del PET en elementos constructivos e impacto ambiental.	

Fuente: Elaboración propia (2022)