

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

**TRABAJO DE DISERTACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN MAMPUESTO ECOLÓGICO
COMO MATERIAL SOSTENIBLE DE CONSTRUCCIÓN
EMPLEANDO RESIDUOS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO Y
COMPARACIÓN DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS CON UN
MAMPUESTO TRADICIONAL**

ROY RONY RODRÍGUEZ RECALDE

DIRECTOR:

ING. LAURO ARMANDO LARA CARRERA

Quito, agosto 2022

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy gracias a Dios por permitirme llegar hasta aquí con salud y poder culminar una nueva etapa especial en mi vida, la cual me llena de mucha satisfacción y alegría, a toda mi familia, en especial a mi padre Paco Miller Rodríguez Tamayo por el apoyo y la confianza brindada incondicionalmente desde el inicio de este proceso.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por haberme permitido formar en ella y poder haber adquirido nuevos conocimientos y valores que benefician a mi vida personal y profesional. A mis maestros, en especial a mi director de tesis el Ing. Lauro Lara que, gracias a su experiencia académica, conocimientos teóricos y técnicos me han formado y me han ayudado en la culminación de este proyecto. A mis lectores el Ing. Oscar Jaramillo y el Ing. Eddy Sánchez por el tiempo, la experiencia y todos los conocimientos brindados.

Y a todas las personas quienes fueron partícipes de este proceso, muchas gracias.

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a toda mi familia, en especial a mi padre Paco Miller Rodríguez Tamayo, quien a pesar de las dificultades que se le han presentado durante el transcurso de la vida, ha estado junto a mí en todo momento, brindándome su apoyo incondicional, amor y excelentes consejos para continuar con mi formación académica, personal y profesional.

Y a mi madre María Elena Recalde Endara, que desde el cielo siempre ha estado cuidando y guiando de mí en cada momento y etapa de mi vida.

De todo corazón, les agradezco la vida.

RESUMEN

El presente trabajo investigativo se encuentra enfocado en la disminución de la contaminación ambiental; por lo tanto, se plantea elaborar un mampuesto ecológico tipo bloque, como material alternativo y sostenible de construcción, empleando residuos de desechos plásticos (tereftalato de polietileno) obtenidos mediante un apropiado proceso de reciclaje y triturado y posterior a esto su comparación de las propiedades mecánicas con un mampuesto tradicional. Para la realización de la mezcla de hormigón se utilizó materiales naturales provenientes de canteras de la provincia de Pichincha y maquinaria especializada para la elaboración de los mampuestos. Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión y a la absorción a los mampuestos con adición de residuos de tereftalato de polietileno resultaron satisfactorios, cumpliendo con los valores mínimos de resistencia de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 3066 “Bloques de Hormigón”, en donde el valor mínimo para la resistencia a la compresión es de 13,8 MPa y el valor máximo para la resistencia a la absorción es de 208 Kg/m³, ambos para bloques de clase A.

ABSTRACT

The present investigative work is focused on the reduction of environmental pollution; therefore, it is proposed to develop an ecological block-type masonry as an alternative and sustainable construction material using plastic waste residues (polyethylene terephthalate) obtained through an appropriate recycling and crushing process and after this its comparison of mechanical properties with a traditional masonry. For the realization of the concrete mixture, natural materials from quarries in the province of Pichincha and specialized machinery for the elaboration of the masonry were used. The results of the tests of resistance to compression and absorption to the masonry with the addition of polyethylene terephthalate residues were satisfactory, complying with the minimum resistance values in accordance with the Ecuadorian Technical Standard NTE INEN 3066 "Concrete Blocks", where the minimum value for resistance to compression is 13,8 MPa and the maximum value for resistance to absorption is 208 Kg/m³, both for class A blocks.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE ANEXOS	XIV
CAPÍTULO I	12
1. GENERALIDADES	12
1.1. Introducción.....	12
1.2. Antecedentes	13
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo General	14
1.3.2. Objetivos Específicos	14
1.4. Alcance	15
CAPÍTULO II	16
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1. El Plástico	16
2.1.1. Definición	16
2.1.2. Historia del Plástico.....	16
2.1.3. Características y Propiedades	17
2.1.4. Tipos y Clasificación	18
2.2. Tereftalato de Polietileno (PET).....	21
2.2.1. Definición	21
2.2.2. Composición	21

2.2.3. Características y Propiedades	21
2.2.4. Tipos de PET.....	22
2.2.5. La Contaminación del PET al Medio Ambiente	23
2.2.6. Reciclaje del PET.....	25
2.2.7. Utilización del PET en Mampuestos.....	27
2.3. Mampostería	31
2.3.1. Definición	31
2.3.2. Tipos de Mampostería	32
2.3.2.1. Mampostería Confinada.....	32
2.3.2.2. Mampostería Reforzada Interiormente	33
2.3.2.3. Mampostería No Reforzada.....	33
2.4. Mampuestos.....	34
2.4.1. Ladrillo	34
2.4.1.1. Definición	34
2.4.1.2. Características y Propiedades	34
2.4.1.3. Proceso de Fabricación.....	35
2.4.2. Bloque	36
2.4.2.1. Definición	36
2.4.2.2. Características y Propiedades	37
2.4.2.3. Clasificación	39
2.4.2.4. Dimensiones	39
2.4.2.5. Proceso de Fabricación.....	39
2.4.3. Mampuestos Ecológicos	40
2.4.3.1. Tipos de Mampuestos Ecológicos.....	40
2.4.3.1.1. Mampuestos Ecológicos Cementados	40
2.4.3.1.2. Mampuestos Ecológicos Cocidos.....	41
2.4.3.1.3. Mampuestos Ecológicos Geopolimerizados.....	41

CAPÍTULO III	43
3. DISEÑO DEL MAMPUESTO	43
3.1. Caracterización de los Materiales	43
3.1.1. Árido Fino y Árido Grueso	43
3.1.1.1. Granulometría	43
3.1.1.2. Humedad Natural	43
3.1.1.3. Gravedad Específica y Absorción	43
3.1.1.4. Material Fino que pasa el Tamiz No. 200.....	43
3.1.1.5. Contenido Orgánico	43
3.1.1.6. Equivalente de Arena.....	44
3.1.1.7. Abrasión.....	44
3.1.2. Tereftalato de Polietileno (PET)	44
3.1.2.1. Granulometría.....	44
3.1.3. Cemento.....	44
3.1.3.1. Finura Blaine.....	44
3.1.3.2. Tiempo de Fraguado.....	44
3.2. Características de los Mampuestos	45
3.2.1. Mampuesto Tradicional tipo Bloque	45
3.2.1.1. Componentes.....	45
3.2.1.2. Dimensiones	46
3.2.1.3. Dosificación	47
3.2.1.4. Proceso de Fabricación	49
3.2.2. Mampuesto Ecológico tipo Bloque	49
3.2.2.1. Componentes.....	49
3.2.2.2. Dimensiones	50
3.2.2.3. Dosificación	50
3.2.2.4. Proceso de Fabricación	54

3.3. Ensayos de Resistencia.....	54
3.3.1. A la Compresión.....	54
3.3.2. A la Absorción.....	54
CAPÍTULO IV.....	55
4. RESULTADOS	55
4.1. Caracterización de los Materiales	55
4.1.1. Árido Fino y Árido Grueso	55
4.1.1.1. Granulometría.....	55
4.1.1.2. Humedad Natural.....	55
4.1.1.3. Gravedad Específica y Absorción	55
4.1.1.4. Material Fino que pasa el Tamiz No. 200	59
4.1.1.5. Contenido Orgánico.....	60
4.1.1.6. Equivalente de Arena.....	60
4.1.1.7. Abrasión.....	60
4.1.2. Tereftalato de Polietileno (PET)	61
4.1.2.1. Granulometría.....	61
4.1.3. Cemento	63
4.1.3.1. Finura Blaine.....	63
4.1.3.2. Tiempo de Fraguado.....	63
4.2. Ensayos de Resistencia.....	64
4.2.1. A la Compresión.....	64
4.2.2. A la Absorción	67
CAPÍTULO V.....	70
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
5.1. Conclusiones.....	71
5.2. Recomendaciones	77
BIBLIOGRAFÍA	79

ANEXOS	86
---------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dosificación del Mampuesto Tradicional.	48
Tabla 2. Primer Caso de Dosificación del Mampuesto Ecológico.	51
Tabla 3. Segundo Caso de Dosificación del Mampuesto Ecológico.....	52
Tabla 4. Tercer Caso de Dosificación del Mampuesto Ecológico.....	53
Tabla 5. Granulometría del Árido Fino.	55
Tabla 6. Granulometría del Árido Grueso.....	57
Tabla 7. Humedad Natural del Árido Fino y Árido Grueso.	58
Tabla 8. Gravedad Específica y Absorción del Árido Fino y Árido Grueso.....	59
Tabla 9. Material Fino que pasa el Tamiz No. 200.	59
Tabla 10. Contenido Orgánico.....	60
Tabla 11. Equivalente de Arena.	60
Tabla 12. Abrasión en la Máquina de los Ángeles.	60
Tabla 13. Granulometría del PET.....	61
Tabla 14. Finura Blaine del Cemento.	63
Tabla 15. Tiempo de Fraguado del Cemento.	63
Tabla 16. Ensayo a la Compresión de los Mampuestos Tradicionales.	64
Tabla 17. Ensayo a la Compresión de los Mampuestos Ecológicos - Primer Caso (3% de Tereftalato de Polietileno).	65

Tabla 18. Ensayo a la Compresión de los Mampuestos Ecológicos - Segundo Caso (6% de Tereftalato de Polietileno).	65
Tabla 19. Ensayo a la Compresión de los Mampuestos Ecológicos - Tercer Caso (12% de Tereftalato de Polietileno).	66
Tabla 20. Ensayo a la Absorción de Agua en los Mampuestos Tradicionales.	67
Tabla 21. Ensayo a la Absorción de Agua en los Mampuestos Ecológicos – Primer Caso (3% de Tereftalato de Polietileno).	68
Tabla 22. Ensayo a la Absorción de Agua en los Mampuestos Ecológicos - Segundo Caso (6% de Tereftalato de Polietileno).	69
Tabla 23. Ensayo a la Absorción de Agua en los Mampuestos Ecológicos - Tercer Caso (12% de Tereftalato de Polietileno).	70
Tabla 24. Promedio de los Resultados Obtenidos en los Ensayos a Compresión y Absorción de los Mampuestos Tradicionales.	73
Tabla 25. Promedio de los Resultados Obtenidos en los Ensayos a Compresión y Absorción de los Mampuestos Ecológicos.	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plástico, (ICONTEC, 2004).	16
Figura 2. Clasificación del plástico según la SPI, (NTE INEN 2634, 2012).	18
Figura 3. Tipos de Plástico, (ICONTEC, 2004).	18
Figura 4. Clasificación del plástico de acuerdo con el tipo de resina, (NTE INEN 2634, 2012).	20
Figura 5. Tereftalato de Polietileno, (Moya et al., 2018).	21
Figura 6. Contaminación del plástico al planeta Tierra, (Gil, 2020).	24
Figura 7. Contaminación del PET en océanos, (BBC, 2015).	24
Figura 8. La regla de las 3R's, (Bolaños, 2019).	25
Figura 9. Proceso de reciclaje PET, (Bolaños, 2019).	26
Figura 10. Mampostería, (Gutiérrez, 2003).	32
Figura 11. Mampostería Confinada, (Jean & Pérez, 2003).	32
Figura 12. Mampostería Reforzada Interiormente, (Jean & Pérez, 2003).	33
Figura 13. Mampostería No Reforzada, (Jean & Pérez, 2003).	33
Figura 14. Ladrillos, (The Brick Industry Association, 2006).	34
Figura 15. Proceso de fabricación de ladrillos, (The Brick Industry Association, 2006).	36
Figura 16. Bloques, (Mineral Products Association, 2013).	36
Figura 17. Clasificación de bloques de hormigón de acuerdo con su uso, (NTE INEN 3066, 2016).	37

Figura 18. Clasificación de bloques de hormigón de acuerdo con su densidad, (NTE INEN 3066, 2016).....	38
Figura 19. Dimensiones Modulares y Nominales de los bloques de hormigón, (NTE INEN 3066,2016).....	38
Figura 20. Proceso de fabricación de bloques, (Mineral Products Association, 2013).	40
Figura 21. Mampuesto Ecológico Cementado, (Zhang,2013).	41
Figura 22. Mampuestos Ecológicos Cocidos, (Zhang, 2013).	41
Figura 23. Mampuesto Ecológico Geopolimerizado, (Zhang,2013).....	42
Figura 24. Análisis Granulométrico del Árido Fino, (NTE INEN 872, 2011).	45
Figura 25. Mampuesto Tradicional tipo Bloque, (Roy Rodríguez, 2022).	46
Figura 26. Dimensiones Mínimas de Paredes y Tabiques para bloques de Clase A, (NTE INEN 3066, 2016).	47
Figura 27. Mampuesto Ecológico tipo Bloque, (Roy Rodríguez, 2022).	50
Figura 28. Curva Granulométrica del Árido Fino, (Roy Rodríguez, 2022).	56
Figura 29. Curva Granulométrica del Árido Grueso, (Roy Rodríguez, 2022).	58
Figura 30. Curva Granulométrica del PET, (Roy Rodríguez,2022).	62
Figura 31. Resistencia Mínima a la Compresión en bloques de hormigón, (NTE INEN 3066, 2016).....	73
Figura 32. Resistencia Máxima a la Absorción de Agua en bloques de Clase A, (NTE INEN 3066, 2016).	73
Figura 33. Gráfica Peso, (Roy Rodríguez, 2022).	74
Figura 34. Gráfica Compresión, (Roy Rodríguez, 2022).	75

Figura 35. Gráfica Absorción, (Roy Rodríguez, 2022).....	76
--	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Vertido de Materiales para la Fabricación de los Mampuestos Tradicionales tipo Bloque.	86
Anexo 2. Mezclado de Materiales para la Fabricación de los Mampuestos Tradicionales tipo Bloque.	86
Anexo 3. Moldes para la Fabricación de los Mampuestos tipo Bloque.	87
Anexo 4. Preparación de los Mampuestos Tradicionales tipo Bloque.	87
Anexo 5. Comprobación de las Dimensiones de los Mampuestos tipo Bloque.	87
Anexo 6. Mampuestos Tradicionales tipo Bloque.....	88
Anexo 7. Granulometría del Tereftalato de Polietileno, (PET).....	88
Anexo 8. Preparación de los Materiales para la Fabricación de los Mampuestos Ecológicos tipo Bloque.	88
Anexo 9. Vertido y Mezclado de Materiales para la Fabricación de los Mampuestos Ecológicos tipo Bloque.	89
Anexo 10. Mampuestos Ecológicos tipo Bloque.....	89
Anexo 11. Resistencia a la Compresión de los Mampuestos tipo Bloque.....	89
Anexo 12. Resistencia a la Absorción de Agua de los Mampuestos tipo Bloque.	90

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

En la actualidad, a nivel mundial se está viviendo una etapa crítica en relación con el medio ambiente, debido a que la mayor parte de los productos que consumimos y las grandes industrias que los producen generan contaminación, ya sea de una manera directa por su producción o bien indirecta por su degradación en el ecosistema. Uno de los desechos sólidos generados en grandes cantidades y que representa una gran amenaza para la sostenibilidad de nuestro planeta es el plástico. El plástico tuvo sus inicios en el siglo XVIII y se ha convertido en uno de los materiales más utilizados en la sociedad, debido a su gran versatilidad de usos, durabilidad y sobretodo bajo costo (GREENPEACE, 2019).

Su creciente producción amenaza con contaminar cada rincón del planeta, debido a que cada año se producen un total de 300 millones de toneladas de plástico. De ellas, se estima que 8 millones acaban directamente en los mares y océanos (INFOBAE, 2019). Un informe de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos ha demostrado que, de varias toneladas de plástico generados anualmente, solo el 7% se recicla, aproximadamente el 8% se incinera y el resto termina en quebradas y vertederos (Awoyera, 2020).

El incremento de la contaminación en el ecosistema y en los océanos de todas las regiones del mundo, especialmente en países en vías de desarrollo; se debe a una inapropiada gestión del manejo y uso de los desechos plásticos, una vez hayan culminado su vida útil, afectando directamente a los ecosistemas acuáticos y marinos.

Buscar alternativas que promuevan la reducción de la contaminación del medioambiente se ha convertido en uno de los principales objetivos en la actualidad. Con lo cual, se espera que los nuevos campos de investigación logren incorporar los residuos plásticos en diferentes usos y aplicaciones de la ingeniería, garantizando la sostenibilidad del medioambiente. El uso del plástico en la

construcción permitirá reducir el impacto ambiental en el medio marino y aportará en la conservación del ecosistema.

1.2. Antecedentes

La historia de la humanidad va de la mano con la necesidad del hombre de establecerse en un lugar en donde pudiera protegerse de las inminencias de la naturaleza, bajo esta necesidad el hombre construía sus propios refugios empleando materiales accesibles y fáciles de utilizar con la finalidad de lograr sentirse en un ambiente seguro, agradable y confortable.

El planeta se encuentra en un constante crecimiento poblacional y consigo también aumenta el consumo masivo de recursos naturales, materiales, productos y servicios, que tienen como mismo objetivo, satisfacer las necesidades de bienestar y comodidad del ser humano. Lo que de una manera u otra para el ser humano resulta ser beneficioso, para nuestros ecosistemas en general resulta ser perjudicial, debido a que se están generando grandes impactos ambientales de contaminación y sobreexplotación de recursos naturales.

Conforme ha transcurrido el tiempo, el ser humano ha ido mejorando los métodos de construcción en las distintas ramas de la ingeniería, aplicando nuevas tecnologías que promuevan soluciones eco-amigables con el medio ambiente, empleando materiales alternativos que impulsen el desarrollo sostenible y sustentable en la construcción sin ocasionar daños ni deterioros al mismo.

El desarrollo sostenible tiene como objetivo principal, la reutilización de desechos sólidos y la implementación de nuevos materiales alternativos en la construcción de obras civiles, con la finalidad de satisfacer y mejorar la calidad de vida de los seres humanos, sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras, garantizando el respeto hacia la naturaleza mediante el uso responsable de los recursos.

Es necesario comprender que la solución global con respecto a la contaminación ambiental depende de lo cultural, energético, educacional, demográfico, industrial y político. Siendo el ser humano el principal agente con la capacidad de mejorar el equilibrio de nuestro planeta, por lo tanto; es de total importancia el encontrar una

solución que nos permita vivir de una manera sustentable con mayor comodidad, preservando el medio en el que vivimos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Diseñar y elaborar un mampuesto ecológico empleando residuos de tereftalato de polietileno en conjunto con áridos, cemento y agua.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar las propiedades mecánicas del mampuesto ecológico mediante los ensayos de resistencia a la compresión y absorción.
- Comparar las propiedades mecánicas entre el mampuesto ecológico y un mampuesto tradicional.
- Proponer la utilización de residuos de tereftalato de polietileno en la elaboración de mampuestos, en base a los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio.

1.4. Alcance

La presente investigación es de tipo experimental, la cual está enfocada en el diseño y elaboración de un mampuesto ecológico tipo bloque que incorporará residuos de tereftalato de polietileno (PET) en ciertos porcentajes a la mezcla de cemento, áridos y agua, como una alternativa de material sustentable para la construcción de viviendas y obras civiles en beneficio de la comunidad y del medio ambiente.

Para la obtención de los residuos (PET) se tomará en consideración la producción realizada por la empresa ENKADOR, especializada en la obtención, trituración y distribución del material. Se realizarán ensayos de caracterización de los materiales; árido fino, árido grueso y tereftalato de polietileno. Para la caracterización del cemento me registraré a la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 152, 2010).

Se elaborarán 12 mampuestos tradicionales cuyas dimensiones serán (10x20x40cm) con su respectiva dosificación, ya antes determinada en base a un análisis de estudio. Posterior a esto, se elaborarán 36 mampuestos ecológicos cuyas dimensiones serán de igual manera (10x20x40cm), aplicando la dosificación patrón de los mampuestos tradicionales, pero con una pequeña variación en el reemplazo del árido grueso por residuos (PET) de manera progresiva en un rango del 3, 6 y 12%, en donde se mantendrá en todos los casos la misma proporción para el agua, cemento y árido fino.

Se ejecutarán los ensayos de resistencia a la compresión y absorción a los mampuestos ecológicos y tradicionales a los 28 días, donde se analizarán los resultados y se compararán sus propiedades mecánicas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El Plástico

2.1.1. Definición

Proviene del término griego “plastiko” que significa que se puede moldear, el mismo que se utiliza para describir una amplia gama de materiales sintéticos o semi-sintéticos que serán adaptados a diferentes formas, aplicaciones o requerimientos, (ICONTEC, 2004).



Figura 1. Plástico, (ICONTEC, 2004).

2.1.2. Historia del Plástico

En 1859, gracias al descubrimiento del petróleo se empezaron a sintetizar polímeros a base de petróleo refinado. Es así como, en 1860 Alexander Parkes utilizó fibra celulosa extraída de la madera para fabricar el primer polímero natural modificado. En el mismo año, Phelan & Collander realizaron un concurso que buscaba reemplazar el marfil natural que se utilizaba para la fabricación de bolas de billar y como recompensa ofrecían 10.000 dólares a la persona que lo lograría. Para 1869, John W. Hyatt mezcló alcanfor con el polímero descubierto por Alexander Parkes, dándole como resultado un producto fácil de moldear, flexible y transparente, al cual lo nombró celuloide y recibió el calificativo de termoplástico, sin este producto la industria cinematográfica no existiría.

En el año de 1907, Leo Backeland fabrica el primer polímero sintético a partir de moléculas de fenol y formaldehído, este producto llamado baquelita se podía

moldear a medida que era formado, pero se endurecía al solidificarse. Hernán Staudinger en 1920, ganó el premio Nobel de química al comprender la estructura y síntesis de los polímeros. El desarrollo de varios polímeros y la aparición de la palabra “plástico” fueron entre 1920 y 1940; por lo tanto, en la búsqueda de sustitutos para los materiales tradicionales, la investigación, la fabricación y la producción de los plásticos aumentó.

2.1.3. Características y Propiedades

El plástico al presentar una relación directa entre la resistencia y la calidad le permite poseer las siguientes características:

- Buen aislamiento eléctrico y térmico,
- Buena resistencia a los ácidos, disolventes y demás materiales corrosivos,
- Dependiendo del tipo de plástico su composición le permite tener una forma lineal, entrelazada y ramificada.

A continuación, se nombran las principales propiedades del plástico:

- Baja densidad,
- Impermeabilidad,
- Plasticidad,
- Aislante acústico,
- Bajo costo de producción,
- Posee una estructura macromolecular,
- En ciertos casos no es biodegradable,
- Debido a su elasticidad es fácil de moldear y trabajar.

El plástico, al ser un material orgánico su elemento principal es el carbono, el mismo que puede ser combinado con hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. A pesar de que su estado final es sólido, puede ser moldeado por medio de calor o presión ya que en determinada etapa de su producción es lo suficientemente suave.

2.1.4. Tipos y Clasificación

El sistema de codificación de la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI), los clasifica de acuerdo con el tipo de resina con la que están fabricados (NTE INEN 2634, 2012).

NÚMERO	ABREVIATURA	NOMBRE COMPLETO
1	PET (en inglés PETE)	Poliétilentereftalato
2	PE-AD (en inglés HDPE)	Poliétileno de alta densidad
3	V, PVC	Vinilo, Policloruro de vinilo
4	PE-BD (en inglés LDPE)	Poliétileno de baja densidad
5	PP	Polipropileno
6	PS	Poliestireno
7	Otros	Incluye las demás resinas y los materiales multicapa. Poliuretano (PU). Acrilonitrilo-butadienestireno (ABS). Policarbonato (PC). Biopolímeros

La base del código es un símbolo de forma triangular, integrado por tres flechas (símbolo de reciclaje), con un número específico en el centro que establece el tipo de plástico.

En la mayoría de los envases plásticos el código está marcado en su parte inferior, aplicado por moldeo o impreso por algún otro método.




Figura 2. Clasificación del plástico según la SPI, (NTE INEN 2634, 2012).

Existen diferentes tipos de plásticos, que son clasificados en varias categorías:

- **Según su reacción con la temperatura:** termoplásticos, son aquellos plásticos que se pueden moldear ya que al ser calentados sus relaciones intermoleculares se debilitan y se vuelven más suaves. Y termoestables, son aquellos plásticos que al ser calentados no sufren ninguna deformación una vez que han adquirido la rigidez necesaria.
- **Según su estructura molecular.**



Figura 3. Tipos de Plástico, (ICONTEC, 2004).

CÓDIGO DE LA RESINA	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES DEL PRODUCTO
	<p>Polietilentreftalato (PET, PETE). PET es claro, duro y tiene buenas propiedades de barrera de gas y humedad. Esta resina se utiliza comúnmente en botellas de bebidas y muchos contenedores de productos de consumo elaborados por moldeo por inyección. Copos/hojuelas y «pellets» limpios de PET reciclado tienen gran demanda para el hilado de fibra para alfombra, producción de fibra de relleno y geotextiles. Conocido como poliéster.</p>	<p>Botellas plásticas para bebidas ligeras, agua, jugo, bebidas deportivas, cerveza, enjuague bucal, salsa de tomate y aderezo.</p> <p>Frascos de comida, para aceite de cocina, mantequilla de maní, jalea, mermelada y encurtidos.</p> <p>Películas para hornos, bandejas de comida para microondas.</p> <p>Además de los envases, el mayor uso de PET son los textiles, monofilamentos, alfombras, correas, películas y molduras de ingeniería.</p> <p>Limpiadores suaves.</p>
	<p>Polietileno de alta densidad (PEAD, HDPE). Es utilizado para elaborar diversos tipos de envases. Los envases no pigmentados son translúcidos, tienen buenas propiedades de barrera y rigidez y son adecuados para envasado de productos con una corta vida de estante como la leche.</p> <p>Debido a que el HDPE tiene buena resistencia química, se usa para el envasado de muchos productos químicos domésticos e industriales tales como detergentes y lejía. Las botellas pigmentadas de HDPE tienen mejor resistencia al estrés por agrietamiento que aquellas de HDPE no pigmentado.</p>	<p>Envases para lácteos, agua, jugo, cosméticos, champú, detergente para platos y lavandería y limpiadores domésticos.</p> <p>Bolsas para alimentos y compras al por menor.</p> <p>Fundas de cajas de cereales.</p> <p>Contenedores reutilizables.</p> <p>Además de los envases, el mayor uso del HDPE son las aplicaciones en moldeo por inyección, tubería y conducto extruidos, agregados de "madera plástica", y cubierta de alambres y cables.</p>
	<p>Cloruro de polivinilo (PVC, Vinyl). Además de sus propiedades físicas estables, el PVC tiene buena resistencia química, resistencia a la intemperie, características de flujo y propiedades eléctricas estables. La diversa lista de productos de vinilo puede dividirse ampliamente en materiales rígidos y flexibles.</p>	<p>Aplicaciones de embalaje rígido incluyen ampollas y recipientes con bisagras para comida para llevar.</p> <p>El uso en envases flexibles incluyen bolsas para ropa de cama y ropa médica, delicatesen y presentan utilidad para embalajes y resistencia a la manipulación.</p> <p>Además de los envases, mayor uso del PVC se verifica en aplicaciones rígidas, tales como tubería, revestimientos, pisos perfiles, marcos de ventana, persianas, vallas, terrazas, muebles y pasamanos.</p> <p>Aplicaciones flexibles incluyen productos médicos tales como bolsas de sangre y tubos médicos, aislamiento de hilos y cables, mangueras de jardín, respaldo de alfombra y suelos.</p> <p>En válvulas, accesorios, grifería, suelas de calzado, tarjetas de crédito y en juguetes.</p>





CÓDIGO DE LA RESINA	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES DEL PRODUCTO
	<p>Poliétileno de baja densidad (PE-BD, LDPE). LDPE se utiliza principalmente en aplicaciones de película debido a su dureza, flexibilidad y relativa transparencia, y es de uso común en aplicaciones donde es necesario el sellado mediante calor. El LDPE también se utiliza para fabricar algunas tapas flexibles y botellas, así como en aplicaciones sobre alambres y cables. Incluye al Poliétileno Lineal de Baja Densidad (LLDPE).</p>	<p>Boisas y envolturas transparentes o pigmentadas. Boisas para limpieza en seco, periódicos, pan, alimentos congelados, productos frescos y basura doméstica.</p> <p>Termoencogibles y película de estiramiento (stretch film).</p> <p>Recubrimientos para cartones de leche y vasos de bebidas calientes y frías.</p> <p>Tapas de contenedores.</p> <p>Juguetes.</p> <p>Botellas flexibles (por ejemplo, miel y mostaza).</p> <p>Tuberías.</p> <p>Recipientes de cosméticos y algunos productos de aseo personal.</p> <p>Además de los envases, los principales usos de polietileno de baja densidad son aplicaciones de moldeo por inyección, en adhesivos y selladores y revestimientos de alambres y cables.</p>
	<p>Polipropileno (PP). El PP tiene buena resistencia química, es fuerte y tiene un elevado punto de fusión por lo que le da aptitud para ser llenado con líquidos en caliente. Esta resina se encuentra en embalajes flexibles y rígidos, fibras y grandes piezas moldeadas para automóviles y productos de consumo.</p>	<p>Contenedores para yogur, margarina, comidas para llevar y alimentos gourmet.</p> <p>Botellas de medicamentos y cosméticos.</p> <p>Tapas de botellas y cierres. Sorbetes.</p> <p>Botellas de salsa de tomate y jarabe.</p> <p>Además de los envases, los principales usos del PP están en fibras, artefactos y productos de consumo, incluidas aplicaciones de larga duración, como tuberías, accesorios, válvulas, sogas, zunchos, partes y accesorios automotrices y alfombrados.</p>
	<p>Poliestireno (PS). PS es un plástico versátil que puede ser rígido o espumoso. El poliestireno de uso general es claro, duro y quebradizo. Tiene un punto de fusión relativamente bajo. Las aplicaciones típicas incluyen el embalaje de protección, envases de alimentos, botellas.</p> <p>El PS se combina a menudo con caucho para hacer poliestireno de alto impacto (HIPS) que se utiliza para el envasado y aplicaciones de larga duración que requieren dureza, pero no de claridad.</p>	<p>Artículos para servicios de alimentos, tales como tazas, platos, cuencos, cubiertos, recipientes con bisagras para comida para llevar, bandejas de carne y aves de corral, envases rígidos para alimentos (por ejemplo, yogur). Estos artículos pueden ser elaborados con PS en forma espumosa o no espumosa.</p> <p>Espuma de embalaje de protección para muebles, aparatos electrónicos y otros objetos delicados.</p> <p>Relleno de embalaje conocido como "relleno suelto."</p> <p>Cajas de discos compactos y botellas de aspirina.</p> <p>Además de los envases, los principales usos del PS se encuentran en bandejas agrícolas, cajas electrónicas, carretes de cable, aislamiento de edificios, cartuchos de cintas de vídeo, perchas y productos médicos y juguetes.</p>
CÓDIGO DE LA RESINA	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES DEL PRODUCTO
	<p>Otros. El uso de este código indica que un paquete/envase/embalaje está elaborado con una resina, distinta a las seis anteriormente enlistadas o está compuesta por más de una resina y se utiliza en una combinación de múltiples capas.</p> <p>Incluye al poliuretano (PU), acrilonitrilo-butadienoestireno (ABS), policarbonato (PC), resina acetal.</p>	<p>Botellas de agua reutilizables de tres y cinco galones, algunas botellas de jugos cítricos y salsa de tomate.</p> <p>Boisas de cocción al horno, capas de barrera y el embalaje a medida.</p> <p>Piezas de grifería y de vehículos.</p> <p>Discos compactos, techo traslúcido, armazones.</p> <p>El PU se emplea principalmente como aislante de temperatura.</p> <p><i>El ABS es un plástico duro empleado en perfiles, tuberías, defensas de automóviles y juguetes.</i></p> <p>Los discos compactos y garrafones de agua están hechos de PC.</p>

Figura 4. Clasificación del plástico de acuerdo con el tipo de resina, (NTE INEN 2634, 2012).

2.2. Tereftalato de Polietileno (PET)

2.2.1. Definición

Es un poliéster que proviene de la familia de los plásticos termoformables o mejor conocidos como termoplásticos, razón por la cual es posible reciclarlo. Al ser un material sintético es fácilmente moldeable a una determinada temperatura, permitiéndole adaptarse a cualquier forma para ser utilizado en diferentes aplicaciones, (Moya et al., 2018).



Figura 5. Tereftalato de Polietileno, (Moya et al., 2018).

2.2.2. Composición

Se encuentra compuesto aproximadamente de 64% de petróleo crudo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. Es un polímero que proviene de la policondensación que se forma de la reacción entre el ácido tereftalático y el etilenglicol, El paraxileno se extrae del petróleo crudo, el mismo que al oxidarse con el aire forma el ácido tereftalático, mientras que el etileno que proviene del gas natural, al oxidarse con aire forma el etilenglicol (Moya et al., 2018).

2.2.3. Características y Propiedades

Sus principales características y propiedades se nombran a continuación:

- Barrera para gases,
- Irrompible,
- Liviano,

- No tóxico,
- Alta resistencia al desgaste,
- Alta resistencia ante la acción de agentes químicos y estabilidad a la intemperie,
- Alta resistencia al plegado y baja absorción de humedad,
- Alta rigidez y dureza,
- Aprobado para la utilización en productos de consumo,
- Buen comportamiento ante la acción de esfuerzos permanentes,
- Buen coeficiente de deslizamiento,
- Barrera para CO₂ y aceptable barrera a O₂,
- Compatible con otros materiales barrera,
- Totalmente reciclable.

Los plásticos PET se caracterizan por su alta pureza, resistencia y tenacidad, presentando propiedades de transparencia y resistencia química. Al ser un polímero resistente a la acción de ácidos y gases atmosféricos no se estira, es resistente al calor a pesar de absorber poca cantidad de agua, facilitando el planchado para formar fibras o películas fuertes y flexibles. Al presentar un punto de fusión alto, le permite resistir ante la acción de bacterias, hongos y polillas.

La cristalinidad permite clasificarlos en tres diferentes grados:

- **Grado fibra:** los de menor peso molecular,
- **Grado película:** los de peso molecular medio,
- **Grado ingeniería:** los de mayor peso molecular.

Debido a sus características y propiedades el tereftalato de polietileno (PET) se ha convertido en el plástico con mayor versatilidad que existe en el mercado, siendo la materia prima para la producción de toda clase de envases y como elemento para ser utilizado en otras aplicaciones.

2.2.4. Tipos de PET

Según García (2015), los tipos de PET son los siguientes:

- **APET:** Tereftalato de Polietileno Amorfo, son plásticos rígidos térmicos,
- **PET Post-Consumo:** son botellas PET recicladas,
- **PET Post-Industrial:** son residuos plásticos puros de tipo y color,
- **RPET:** es plástico PET reciclado.

2.2.5. La Contaminación del PET al Medio Ambiente

La contaminación del PET ha sido considerada como un problema ambiental, económico, estético y social. Durante el transcurso de los años, los plásticos PET han ido originando un gran impacto ambiental a nuestro planeta, provocando modificaciones en el ecosistema debido a la acumulación de grandes cantidades de desechos y residuos en el mismo.

Al ser uno de los materiales más abundantes que existe alrededor del mundo, es altamente contaminante, debido a que su proceso de degradación en el ecosistema tarda aproximadamente entre 100 a 1000 años, convirtiéndolo así, en un material no renovable.

El ecosistema al no asimilar las características del plástico PET, ha generado un conflicto entre ambas partes, alterando los procesos naturales que se originan en las matrices ambientales, como lo son el (aire, agua, biota y suelo). En el Ecuador, la generación de desechos plásticos representa un 8% del peso total de basura generada a nivel urbano (Gamboa et al., 2015).

El plástico PET al ser un material de bajo costo en su proceso de producción, ha ocasionado una severa contaminación al medio ambiente debido a su alto consumo. Su inadecuado manejo y disposición, lo convierten en un grave problema para la sociedad y el mundo entero.

Los problemas de contaminación se producen principalmente por mala gestión administrativa por parte de las autoridades, carencia de conocimientos en temas de reciclaje y falta de innovación en temas tecnológicos. Los mismos deberían ser tratados y fomentados para lograr una conciencia ambiental en la población que tenga como objetivo el aprovechamiento de los desechos plásticos y su reutilización para un desarrollo sostenible.



Figura 6. Contaminación del plástico al planeta Tierra, (Gil, 2020).

La contaminación generada por el plástico PET, se puede apreciar en las siguientes figuras:

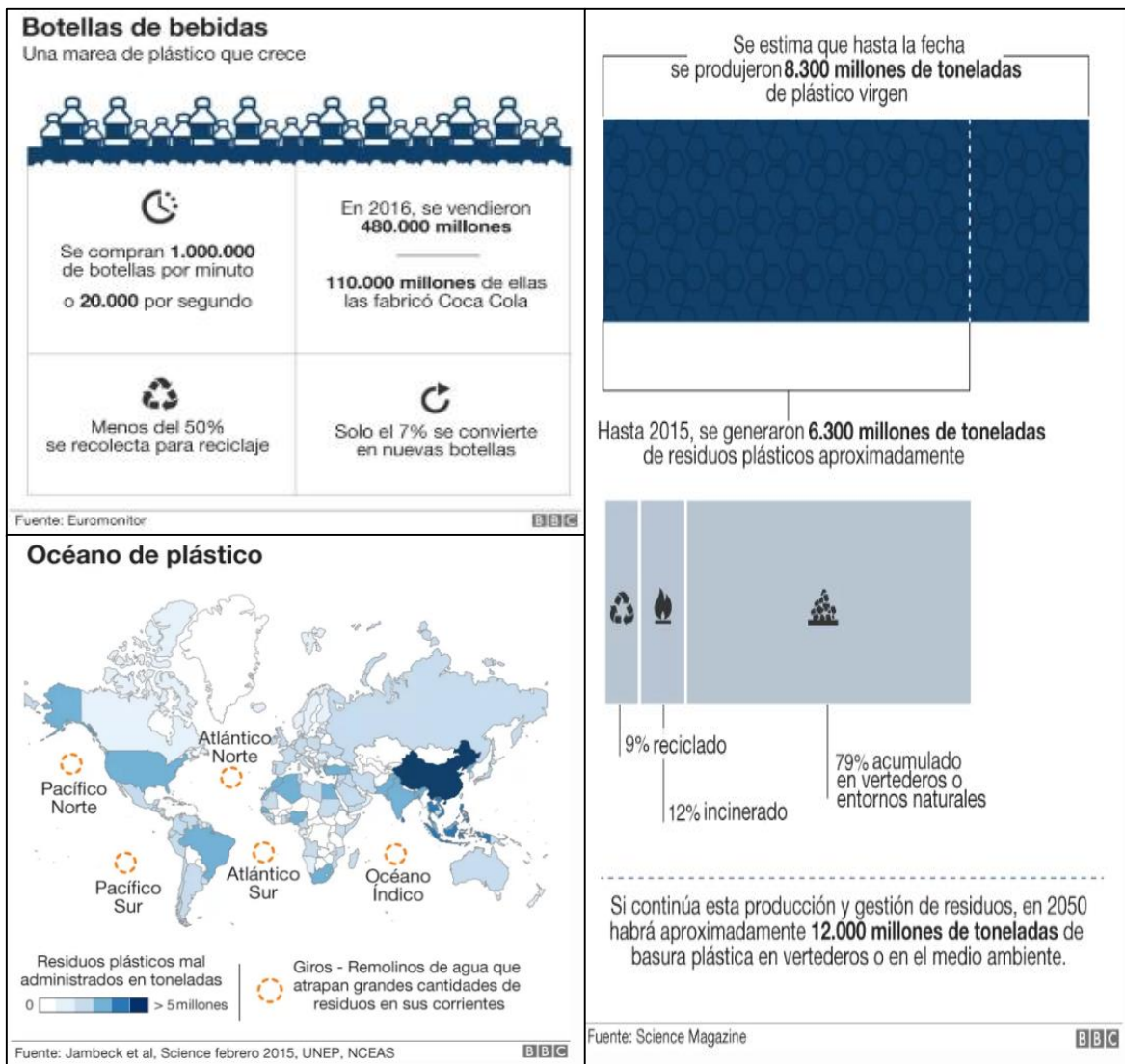


Figura 7. Contaminación del PET en océanos, (BBC, 2015).

2.2.6. Reciclaje del PET

El reciclaje se produce cuando un producto existente y fuera de uso es sometido a un tratamiento parcial o total para obtener materia prima o un nuevo producto con características similares o distintas al anterior.

En la actualidad, con el fin de disminuir los altos niveles de impacto ambiental en nuestro entorno y brindar nuevas alternativas sustentables para la población, se están desarrollando e introduciendo campañas de reciclaje y reutilización de toda clase de plásticos, principalmente de envases de plástico “rígido” (PET, HDPE, PVC, LDPE, PP y PS) las cuales son muy utilizadas por varios sectores comerciales e industriales. Estas son propuestas eco-amigables, que tienen como objetivo reducir el consumo progresivo y el deterioro que ocasionan los mismos al medio ambiente.



Figura 8. La regla de las 3R's, (Bolaños, 2019).

El principal objetivo del reciclaje y de la reutilización del plástico, es utilizarlo como materia prima para la producción de nuevos materiales y elementos e impedir el desperdicio de estos. Existen 4 tipos de reciclaje de plástico, que se mencionan a continuación:

- **Primario:** los residuos plásticos conservan las propiedades físicas y químicas idénticas al material original.
- **Secundario:** el plástico presenta propiedades inferiores a las del polímero original.
- **Terciario:** el polímero se degrada en compuestos químicos básicos y combustibles.
- **Cuaternario:** el plástico es utilizado como un combustible con el objetivo de reciclar energía.

Existen 3 procesos de reciclaje para los plásticos PET, una vez estos hayan culminado su vida útil, los mismos que se nombran a continuación:

- **Reciclaje Energético:** es un proceso que se realiza en materiales que no pueden ser clasificados ni recuperados, cuya finalidad es el aprovechamiento energético; Al ser un proceso de combustión que produce CO_2 , se deben tomar medidas de seguridad y control ante efectos negativos que se pudieran presentar. Algunos ejemplos son: gasificación, incineración de residuos y pirólisis.
- **Reciclaje Mecánico:** hace referencia a todas las técnicas y procesos físicos que incluyen el trabajo manual o por medio de máquinas, en el cual el PET Post-Consumo o el PET Post-Industrial ha sido recuperado para volver a ser utilizado. Este proceso sirve principalmente para el reciclaje de plásticos y para la clasificación de residuos mezclados.
- **Reciclaje Químico:** al ser un proceso complementario del reciclaje mecánico que incluye técnicas y procedimientos que implican el cambio en la estructura química del material, produce la descomposición del polímero para la obtención de monómeros, (componentes de partida) que posteriormente a un proceso de polimerización se obtendrán nuevos materiales. Este proceso es utilizado mediante disoluciones, hidrólisis e hidrogenación.



Figura 9. Proceso de reciclaje PET, (Bolaños, 2019).

2.2.7. Utilización del PET en Mampuestos

En la actualidad, gracias a la evolución de la tecnología y las técnicas de diseño, se ha permitido la incorporación de nuevos materiales alternativos para la elaboración de mampuestos, con el objetivo de reducir la contaminación y fomentar la construcción de edificaciones sostenibles. Una alternativa como nuevo elemento de construcción es la fabricación de mampuestos ecológicos, provenientes de la combinación de residuos de tereftalato de polietileno (PET) con árido fino, árido grueso, cemento y agua.

La incorporación de residuos PET en la elaboración y producción de mampuestos, permitirá obtener estructuras más ligeras, reduciendo el uso de materiales naturales y la explotación de sus minas y canteras.

Gran parte de profesionales del sector de la construcción como ingenieros y arquitectos, carecen de conocimientos acerca de estos tipos de materiales y elementos innovadores en el área de la construcción. Por lo que hasta el momento no se ha llegado a elaborar con exactitud un proceso de desarrollo técnico y normativo para la fabricación de estos elementos.

A continuación, se presentarán varios estudios de investigación relacionados a la presente investigación, con la finalidad de conocer más a fondo acerca de los comportamientos que puedan presentar los mampuestos ecológicos elaborados con la adición de residuos de tereftalato de polietileno:

Ecuador

Ladrillos elaborados con plástico reciclado (PET), para mampostería no portante. Se investigó el uso de plástico reciclado para la fabricación de ladrillos para construcción de mampostería no portante. Se realizó la caracterización de residuos sólidos y se investigó las características del plástico (PET), con la finalidad de descartar efectos nocivos al momento de incluirlos en la mezcla. Se elaboraron ladrillos con dimensiones de 20x10x6cm con adición de PET al 10, 25, 40, 55, 65 y 70% en sustitución del árido fino, los mismos que fueron evaluados para ser comparados con los ladrillos convencionales. Como resultado el ladrillo con 25%

de adición de PET, presentó niveles de confort térmico de mejor calidad en viviendas (Angumba, 2016).

La construcción sostenible a partir del empleo de ladrillos tipo PET. Se buscaron alternativas de construcción mediante el reciclaje de materiales de alto consumo, como la reutilización de las botellas plásticas de cualquier capacidad como elementos constructivos de mampostería, los mismos que fueron evaluados para cumplir con los parámetros de seguridad y diseño, según las normas vigentes en el país (Moya et al., 2018).

Bases de diseño para la construcción sostenible con mampostería de ladrillo tipo PET. Proporcionaron factores favorables para una construcción sostenible, porque intentaron mitigar el problema de la contaminación, disminuir el uso de mampostería tradicional y reducir la explotación excesiva de canteras que abastecen de agregados necesarios en la construcción. El objetivo fue brindar a la sociedad alternativas de construcción mediante el reciclaje de materiales de alto consumo logrando conservar el medio ambiente, una forma de mitigación es mediante la reutilización de las botellas plásticas de cualquier capacidad como elementos constructivos de mampostería. A través de ensayos en los especímenes de mampostería se determinaron las bases de diseño para la construcción con elementos reciclados, se verificó los resultados con las normas vigentes en el País y las normas internacionales, de esta forma pudieron determinar los límites aceptables para la construcción (Gamboa & Recalde, 2015).

Colombia

Proyecto de factibilidad económica para la fabricación de bloques con agregados de plástico reciclado (PET), aplicados en la construcción de vivienda. La importancia de esta investigación fue brindar un material alternativo de construcción de vivienda a bajo costo, liviana, fácil de transportar que no requiera mano de obra calificada y sea amigable con el ambiente. Utilizaron plástico reciclado como materia prima para la elaboración de bloque plástico, proponiendo este nuevo elemento para la construcción de vivienda con polímeros reciclados que cumpla con los estándares de calidad y la normativa vigente para este tipo de materiales, de esta forma establecieron una alternativa para la construcción

tradicional, la misma que consume recursos no renovables o que produce un impacto ambiental negativo. (Herrera & Piñeros, 2018).

Elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico polietileno-tereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construcción. Presentan los resultados de factibilidad sobre una alternativa ecológica para los bloques de hormigón, para lo cual; se reemplazó 12,5; 25 y 37,5% de agregado fino por plástico PET triturado y recolectado como desecho para la fabricación de bloques de hormigón de 6 pulgadas. Se desarrollaron cinco fases: recopilación y análisis de información existente, identificación de las fuentes de los materiales, elaboración de los bloques, realización de los ensayos físicos y mecánicos a los materiales y a los bloques y por último el análisis de los datos obtenidos. Los resultados demostraron que la alternativa es factible, debido a que los bloques con PET presentaron una reducción de peso por unidad, reduciéndose un 2% de la masa en comparación con un bloque convencional, con respecto a la sustitución del 37,5% de agregado fino. Al hablar de las sustituciones de 12,5 y 25% de agregado fino presentaron una mayor resistencia (3,5 y 3,2 MPa; respectivamente) versus la normal (2,83 MPa); por lo tanto, el porcentaje de absorción de agua si cumplió para dichas dosificaciones. El uso de bloques con PET triturado resulta más económico que un bloque convencional (Caballero & Florez, 2016).

Evaluación del tereftarato de polietileno (PET) como agregado en la elaboración de mortero para ladrillos y concreto. Evalúa la posibilidad de aprovechar el tereftarato de polietileno (PET) reciclado como un material de agregado en las mezclas de mortero y concreto para su aprovechamiento y disminución de impactos ambientales. La evaluación se realizó mediante ensayos de laboratorio, pruebas mecánicas de resistencia y pruebas físicas como permeabilidad y absorción, desarrolladas para 32 muestras con PET reciclado por cada tipo de material, es decir 16 muestras para morteros y 16 muestras para concretos, donde se sustituyó hasta el 15% del agregado fino por PET reciclado. Como resultado se obtuvo que, si es posible la inclusión de PET reciclado, ya que mejora el desempeño a compresión y tracción de los materiales (Zúniga, 2015).

Perú

Parámetros físicos y mecánicos de ladrillos ecológicos hechos a base de material reciclado (plástico PET) para construcción: una revisión. Tuvo como objetivo realizar una revisión de las publicaciones actuales sobre los valores más aceptables de los parámetros físicos y mecánicos de los ladrillos con agregado PET, para que puedan ser usados de forma segura en la edificación de viviendas. Para este fin, realizaron una revisión sistemática de 20 artículos científicos provenientes de diferentes países, además fueron revisadas 2 normas internacionales de construcción, obteniendo los parámetros de resistencia a la compresión, absorción, densidad, aislamiento térmico y durabilidad. Concluyeron que las observaciones sobre las características mecánicas y físicas de los ecoladrillos en base a los compuestos poliméricos cumplen el valor mínimo requerido por las normas de construcción (Ampuero & Romero, 2020).

Evaluación de las propiedades mecánicas del ladrillo ecológico prensado manualmente de arcilla y arcilla/plástico en albañilería confinada, Chiclayo, Lambayeque 2018. Se propuso la elaboración de dos nuevas unidades de albañilería, denominándolas ladrillo ecológico, las mismas que fueron inspiradas en el ladrillo artesanal, con la finalidad de sustituir al ladrillo convencional cocido. Para la fabricación de los ladrillos se utilizó arcilla, arena, cemento y plástico reciclado y triturado, las proporciones de estos materiales fueron variando para la obtención de los ladrillos ecológicos de arcilla y arcilla-plástico. La adición de plástico triturado supuso la reducción del gran impacto medio ambiental que genera contaminación en la ciudad de Chiclayo (Peña, 2019).

Al considerar los resultados obtenidos de los diferentes estudios de investigación que se mencionan con anterioridad y los resultados de la presente investigación, los residuos de tereftalato de polietileno (PET) si pueden ser utilizados en el sector de la construcción para el desarrollo de nuevos materiales que sean sostenibles y permitan la ejecución de proyectos sustentables.

Hoy en día, para los profesionales del sector de la construcción es un verdadero reto alcanzar el equilibrio constructivo entre el bienestar del ser humano y la protección del medio ambiente; por lo tanto, los materiales “plásticos” que provienen de la familia de los polímeros, son el material idóneo para alcanzar dicho equilibrio,

además del equilibrio ambiental y económico, de esta forma se cubren las necesidades constructivas a tiempo para la población que se encuentra en constante crecimiento.

Según Carballo (2009), los diagramas de líneas de alargamiento y de tensión, que son función del tiempo y del intervalo de temperatura al momento de su aplicación, permiten que los residuos de tereftalato de polietileno sean utilizados en el sector de la construcción. En la actualidad, los polímeros son una alternativa para el desarrollo mundial, ya que se destacan en:

- Diseños de estructura molecular,
- Diseño de materiales bio-compatibles para el campo de la medicina,
- Procesos de reciclado de plásticos,
- Diseño de materiales reforzados con una alta resistencia mecánica,
- Diseño de elementos de dimensiones extraordinariamente pequeñas,
- Control de la degradación al ser sometidos a condiciones ambientales severas de humedad, temperatura o resistencia al fuego,
- El campo de la aeronáutica, al ser el plástico un material maleable y de baja densidad.

En un futuro, la utilización de residuos de tereftalato de polietileno revolucionará el diseño de las nuevas construcciones, al emplearse elementos o mecanismos que promuevan la reducción de la contaminación y la sobreexplotación de los recursos naturales, todo esto gracias a los estudios científicos y avances tecnológicos referentes al ámbito de la construcción.

2.3. Mampostería

2.3.1. Definición

Es un sistema compuesto de elementos pétreos, mortero y refuerzo, cuya unión pretende ser un elemento estructural y funcional que trabaje de forma monolítica (Gutiérrez, 2003).

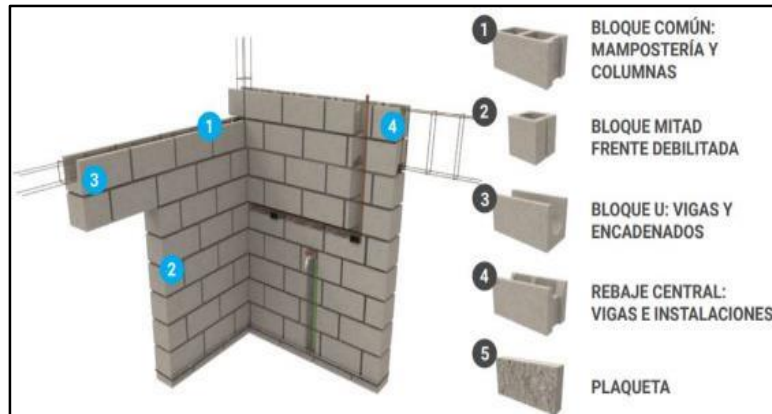


Figura 10. Mampostería, (Gutiérrez, 2003).

2.3.2. Tipos de Mampostería

Al ser un elemento que posee un excelente desempeño estructural al transmitir cargas de compresión de forma efectiva, se puede diseñar y construir diferentes tipos de mampostería, los cuales se nombran a continuación:

2.3.2.1. Mampostería Confinada

Es considerada como el sistema de construcción más utilizado principalmente en zonas sísmicas, al ser elaborado a partir de muros de carga, empleando piezas macizas o huecas que deberán ser confinadas en todo su perímetro por elementos de concreto reforzado, como vigas y columnas, con la finalidad de mejorar la ductilidad permitiéndoles soportar cargas laterales sin deteriorarse excesivamente (Sánchez, 2003).

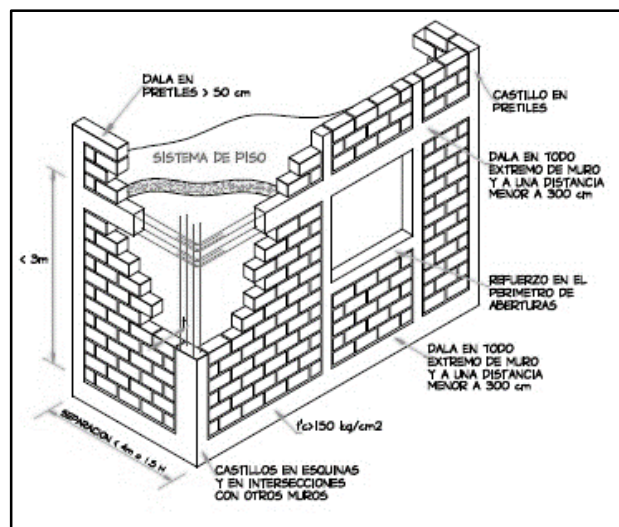


Figura 11. Mampostería Confinada, (Jean & Pérez, 2003).

2.3.2.2. Mampostería Reforzada Interiormente

Consiste en la construcción a base de piezas huecas o con formas especiales de mampostería que son reforzadas internamente de forma vertical u horizontal con varillas de acero y unidas con mortero (Sánchez, 2003).

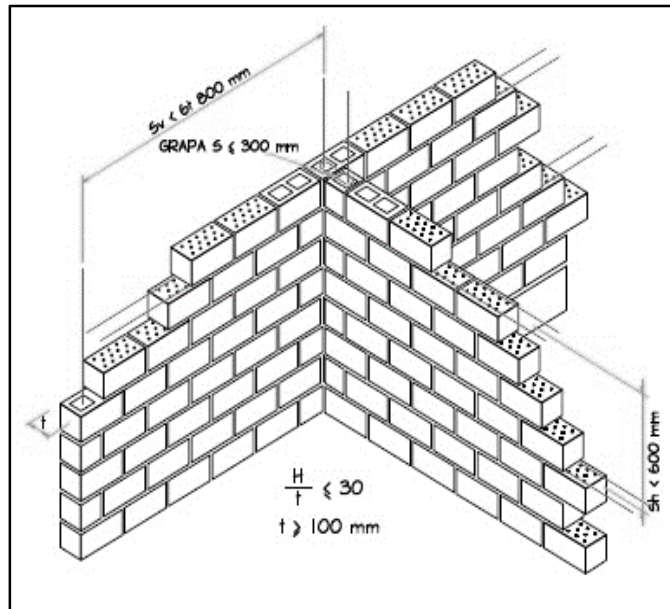


Figura 12. Mampostería Reforzada Interiormente, (Jean & Pérez, 2003).

2.3.2.3. Mampostería No Reforzada

En comparación a la mampostería reforzada interiormente, este tipo de mampostería no posee refuerzo, debido a que su construcción consiste en el levantamiento de muros a base de mampuestos; por lo tanto, no cumplen las cuantías mínimas establecidas en las normas de construcción (Sánchez, 2003).

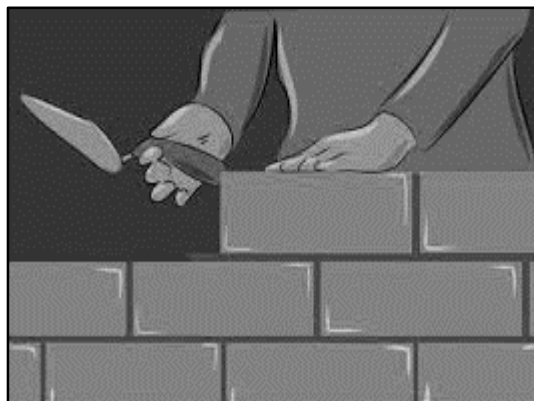


Figura 13. Mampostería No Reforzada, (Jean & Pérez, 2003).

2.4. Mampuestos

Pueden ser de piedra, arcilla, concreto, sólidos o de perforación vertical u horizontal, los mismos que deberán cumplir las normas establecidas para la construcción.

2.4.1. Ladrillo

2.4.1.1. Definición

Es un mampuesto reconocido a nivel mundial, en forma prismática y compuesto de arcilla, el mismo que es sometido a un proceso de moldeo, compresión, secado y cocción para su elaboración (The Brick Industry Association, 2006).



Figura 14. Ladrillos, (The Brick Industry Association, 2006).

2.4.1.2. Características y Propiedades

Un ladrillo es producido a base de arcilla por la plasticidad que ofrece este mineral. Siendo así sus principales características y propiedades las que se mencionan a continuación:

- **Absorción de agua:** no debe ser superior al 20% de su peso, después de ser sumergido por 24 horas.
- **Aislamiento acústico:** depende de la regularidad de acuerdo a sus diseños.
- **Conductividad térmica:** debe ser baja, provocando bajas temperaturas de calor.
- **Dureza:** no debe poseer fisuras, ni formarse ninguna impresión,
- **Eflorescencia:** al ser sumergido en agua por 24 horas y puesto a secar bajo sombra, no deberá presentar manchas blancas,
- **Esfuerzo de rotura:** no debe ser menor a 10 N/mm²,

- **Resistencia:** al aplastamiento, al fuego y a compresión, la misma que no debe ser menor a 3,5 N/mm².
- **Solidez:** debe producir un sonido metálico al ser golpeado,
- **Textura:** densa, fina y uniforme.

Las propiedades mecánicas de un ladrillo gobiernan la capacidad en un mampuesto, debido a que presentan un comportamiento elasto-frágil, el mismo que no es homogéneo o isótropo. Un correcto moldeado, permite que el ladrillo posea una geometría homogénea libre de superficies irregulares y una porosidad controlada, para la construcción de muros.

2.4.1.3. Proceso de Fabricación

El proceso de fabricación de ladrillos presenta las siguientes etapas:

- **Extracción:** se utiliza maquinaria pesada para extraer grandes cantidades de arcilla proveniente de minas o pozos abiertos.
- **Almacenamiento:** una vez obtenida la arcilla se la transporta y almacena en condiciones ambientales constantes, de esta forma se garantiza el abastecimiento de materia prima en planta.
- **Moldeo:** se debe generar una mezcla homogénea plástica con agua, la cual pasará a través de una cámara de reducción de vacíos. Posteriormente, se generarán columnas de arcilla sólida mediante la aplicación de una máquina extrusora para la textura y forma del ladrillo.
- **Secado:** al presentar una humedad entre 7% y 30%, se secará el ladrillo en hornos a una temperatura entre 38°C a 204°C, con la finalidad de eliminar el exceso de agua. Este proceso es el más importante, debido a que del mismo depende la calidad del material y la ausencia de fisuras.
- **Cocción:** se coloca los moldes secos por un lapso que oscila entre los 2 y 3 días en hornos de túnel o periódicos a una temperatura que varía entre los 800 y 1300 °C. Hornos que principalmente utilizan carbón, leña, gas natural o una combinación de ambos.

- **Enfriamiento:** la temperatura debe alcanzar su punto máximo y mantenerse constante durante 10 horas para hornos de túnel y entre 5 a 24 horas en hornos periódicos. De este proceso depende el color del ladrillo.
- **Acopio:** en un centro de acopio se clasifican y empaquetan los ladrillos según el tamaño y la textura, para luego ser distribuidos.

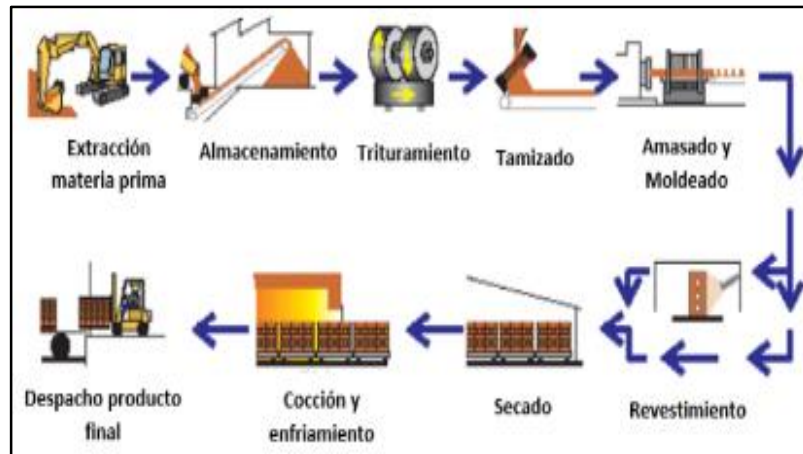


Figura 15. Proceso de fabricación de ladrillos, (The Brick Industry Association, 2006).

2.4.2. Bloque

2.4.2.1. Definición

Es una unidad de mampostería de concreto, en forma prismática que puede ser sólido, con cavidades o hueco, elaborado mediante la mezcla de árido fino, grueso, agua y cemento (Mineral Products Association, 2013).



Figura 16. Bloques, (Mineral Products Association, 2013).

2.4.2.2. Características y Propiedades

Un bloque al ser empleado como material de construcción para mampostería estructural, división de interiores y para el alivianamiento de losas, presenta las siguientes características:

- **Aislante acústico:** disipa los sonidos y el ruido proveniente del interior y exterior de un bloque,
- **Aislante térmico:** genera oposición al flujo de calor, reduciendo la transferencia de este,
- **Durabilidad:** durante toda su vida útil, garantiza la resistencia ante la presencia de agentes externos,
- **Facilidad de manipulación:** facilidad de maniobrarlos o transportarlos sin necesidad de maquinaria,
- **Ligereza:** cualidad de levedad o poco peso.

Entre las principales propiedades presenta:

- **Absorción:** representa el grado de compacidad o porosidad de un bloque,
- **Contenido de humedad:** indica la relación entre el peso de agua contenida en una muestra en estado natural y el peso de esta en estado seco,
- **Densidad:** representa la relación entre el peso y el volumen del bloque,
- **Resistencia a la compresión:** indica la relación entre la carga de rotura a compresión y la superficie neta o área que soporta la carga.

2.4.2.3. Clasificación

Según la NTE INEN 3066 (2016), los bloques de hormigón se clasifican en:

- De acuerdo con su uso,

Clase	Uso
A	Mampostería estructural
B	Mampostería no estructural
C	Alivianamientos en losas

Figura 17. Clasificación de bloques de hormigón de acuerdo con su uso, (NTE INEN 3066, 2016).

- De acuerdo con su densidad.

Tipo	Densidad del hormigón (kg/m ³)
Liviano	< 1 680
Mediano	1 680 a 2 000
Normal	> 2 000

Figura 18. Clasificación de bloques de hormigón de acuerdo con su densidad, (NTE INEN 3066, 2016).

2.4.2.4. Dimensiones

De acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 3066 “Bloques de Hormigón”, pueden fabricarse bloques de hormigón de diferentes dimensiones, para la elección de las dimensiones modulares y nominales se puede combinar los valores de las columnas, (ver figura 19) entre sí. Además, en la elección de las medidas nominales el largo siempre debe ser mayor al ancho; por lo tanto, las dimensiones son de libre elección para el fabricante. Con respecto a las medidas nominales, la tolerancia máxima para largo, ancho y altura deberá ser de ± 3 mm.

Dimensiones modulares (nM)			Dimensiones modulares (mm)			Dimensiones nominales (mm)		
Largo	Ancho	Altura	Largo Altura	Ancho		Largo Altura	Ancho	
4	3	2	400	300	200	390	290	190
		2,5			250			240
3	x	2	x	300	x	200	x	290
		1,5			150			140
2	1	1	200	100	100	190	90	90
donde								
nM es el número de medidas modulares								
NOTA. La tabla que precede es un ejemplo, se basa en juntas de 10 mm y una medida modular M igual a 100 mm, y muestra algunas combinaciones tanto en largo, ancho y altura.								

Figura 19. Dimensiones Modulares y Nominales de los bloques de hormigón, (NTE INEN 3066,2016).

2.4.2.5. Proceso de Fabricación

El proceso de fabricación de bloques presenta las siguientes etapas:

- **Materiales:** deben poseer uniformidad en sus propiedades al momento de ser seleccionados y almacenados, con el fin de cumplir los parámetros de calidad y resistencia requeridos.
- **Dosificación:** consiste en definir las cantidades de los agregados a emplearse para que los bloques cumplan con los estándares de diseño y resistencia.
- **Elaboración de la mezcla:** en una mezcladora se agregan los materiales: árido fino, árido grueso, cemento y agua. Estos componentes al combinarse deben presentar una mezcla homogénea de color gris y textura fina.
- **Moldeado:** en moldes limpios y en buen estado se vierte la mezcla hasta tres cuartas partes de su capacidad, durante 3 segundos el molde será sometido a vibración con el fin de acomodar la mezcla, luego se completa la capacidad del molde y mediante enrasado se retiran los excesos, para terminar, se aplican los martillos compactadores, con el objetivo de obtener la compactación y tamaño requerido.
- **Fraguado:** se retira el bloque del molde que deberá permanecer en un lugar alejado del sol y del viento para que pueda fraguar sin secarse y adquiera la resistencia requerida para su manipulación, la misma que se produce entre 12 y 24 horas.
- **Curado:** durante los primeros 7 días desde el moldeado, se requiere mantener el bloque en condiciones húmedas y a una temperatura controlada en un cuarto de curado o tapado con plástico para simular un entorno hermético, cuyo objetivo es alcanzar la resistencia requerida.

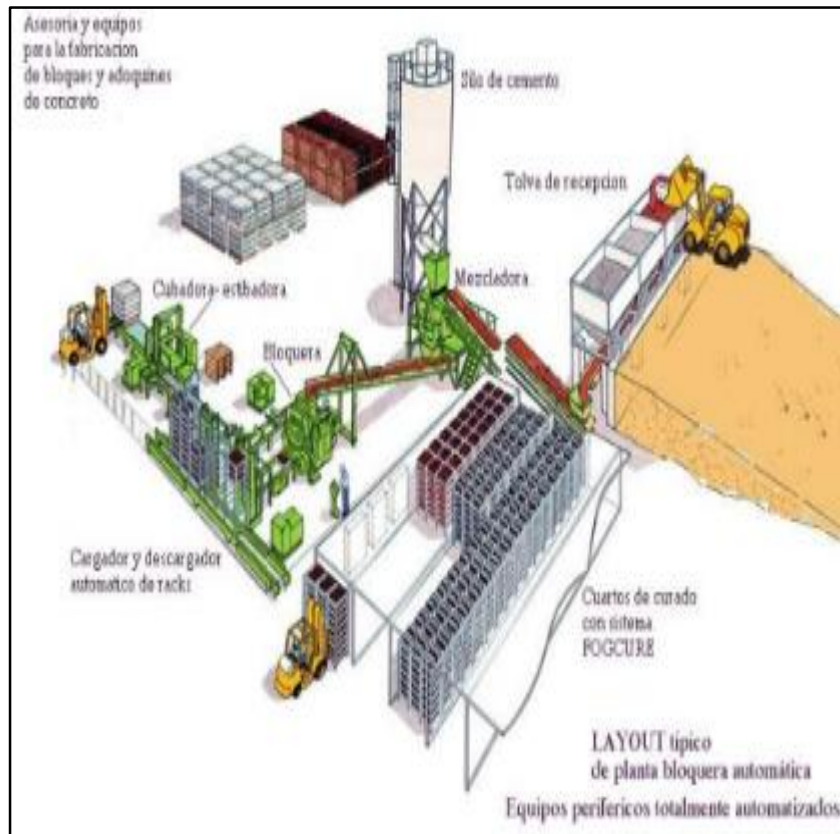


Figura 20. Proceso de fabricación de bloques, (Mineral Products Association, 2013).

2.4.3. Mampuestos Ecológicos

Los mampuestos ecológicos son elaborados con materiales reciclables, sustentables y amigables con el medio ambiente, con la finalidad de reducir la crisis ambiental producida por el cambio climático y cuyo objetivo es lograr el desarrollo de nuevos proyectos constructivos para una vida sostenible.

2.4.3.1. Tipos de Mampuestos Ecológicos

Dependiendo del método de fabricación, los distintos tipos de materiales, la falta de normas y la poca aceptación en el mercado, se clasifican en:

2.4.3.1.1. Mampuestos Ecológicos Cementados

Se elabora una matriz con materiales residuales que serán unidos mediante un agente cementante, posteriormente será prensado o compactado, para luego ser secado y finalmente cumplir con un proceso de curado (Zhang, 2013).



Figura 21. Mampuesto Ecológico Cementado, (Zhang,2013).

2.4.3.1.2. Mampuestos Ecológicos Cocidos

Su elaboración consiste en la sustitución de una fracción de arcilla (materia prima) por materiales residuales, que serán mezclados con agua para ser prensados o compactados, posteriormente serán puestos a secar e ingresarán en un horno para su cocción (Zhang, 2013).



Figura 22. Mampuestos Ecológicos Cocidos, (Zhang, 2013).

2.4.3.1.3. Mampuestos Ecológicos Geopolimerizados

Son fabricados como una alternativa para los mampuestos ecológicos cementados y cocidos, debido a que ambos mampuestos aún emplean grandes cantidades de energía y producen gases contaminantes en su proceso de fabricación. Gracias al avance tecnológico, la geopolimerización es un proceso químico que se basa en la reacción química de la sílice amorfa y los sólidos ricos en alúmina que provienen

de materiales residuales de alta alcalinidad a temperatura ambiente o ligeramente elevada (Zhang, 2013).



Figura 23. Mampuesto Ecológico Geopolimerizado, (Zhang,2013).

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL MAMPUESTO

3.1. Caracterización de los Materiales

3.1.1. Árido Fino y Árido Grueso

3.1.1.1. *Granulometría*

Según la norma NTE INEN 696, sirve para la determinación de la distribución granulométrica de los agregados fino y grueso mediante el uso de tamices de abertura redonda o cuadrada.

3.1.1.2. *Humedad Natural*

Según la norma NTE INEN 862, para una muestra de agregado fino y una muestra de agregado grueso se determinará el porcentaje de humedad evaporable por medio de secado.

3.1.1.3. *Gravedad Específica y Absorción*

Según las normas NTE INEN 856 y NTE INEN 857, permite determinar la gravedad específica de Bulk, la gravedad específica saturada con superficie seca, la gravedad específica aparente y la absorción de los agregados fino y grueso.

3.1.1.4. *Material Fino que pasa el Tamiz No. 200*

Según la norma NTE INEN 697, permite determinar mediante lavado la cantidad de agregado fino más fino que el tamiz No. 200.

3.1.1.5. *Contenido Orgánico*

Según la norma NTE INEN 855, sirve para la determinación aproximada de la presencia de impurezas orgánicas potencialmente dañinas en el agregado fino que vaya a ser utilizado en morteros y hormigones de cemento.

3.1.1.6. Equivalente de Arena

Según la norma ASTM D2419, permite determinar la proporción relativa de árido fino, arcilla y polvo nocivo que contienen los suelos y los agregados al pasar por el tamiz N.º 4 (4,75 mm).

3.1.1.7. Abrasión

Según la norma ASTM C131, mediante el uso de la máquina de los Ángeles permite determinar la resistencia al desgaste del agregado grueso.

3.1.2. Tereftalato de Polietileno (PET)

3.1.2.1. Granulometría

Según la norma ASTM C136, sirve para la determinación de la distribución granulométrica de los residuos de tereftalato de polietileno mediante el uso de tamices de abertura redonda o cuadrada.

3.1.3. Cemento

3.1.3.1. Finura Blaine

Según la norma ASTM C204, se utilizará el aparato de permeabilidad al aire de Blaine para la obtención de valores relativos más no absolutos de finura.

3.1.3.2. Tiempo de Fraguado

Según la norma NTE INEN 158, se aplicará el método A, que consiste en utilizar de forma manual el aparato de Vicat normalizado para establecer el tiempo de fraguado del cemento.

3.2. Características de los Mampuestos

3.2.1. Mampuesto Tradicional tipo Bloque

3.2.1.1. Componentes

El bloque al ser una pieza prismática de hormigón simple, cuya forma es un paralelepípedo, presentará huecos en su interior, debido a que el área neta de la superficie de carga es menor al 75%. El mismo que se encuentra compuesto de:

- **Árido fino**

De acuerdo con la norma NTE INEN 872, puede estar conformado por arena natural, arena elaborada o una combinación de ambas. El mismo que no puede tener más del 45% pasante en cualquier tamiz y retenido en el tamiz siguiente, (ver figura 24). Para la elaboración de los bloques se empleó polvo de piedra obtenida de la cantera “Coagregados” ubicada en San Antonio de Pichincha.

Tamiz (NTE INEN 154)	Porcentaje que pasa
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 µm	25 a 60
300 µm	5 a 30
150 µm	0 a 10

Figura 24. Análisis Granulométrico del Árido Fino, (NTE INEN 872, 2011).

- **Árido grueso**

De acuerdo con la norma NTE INEN 872, puede estar conformado por grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de altos hornos enfriada al aire u hormigón de cemento hidráulico triturado o una combinación de estos. Para la elaboración de los bloques se utilizó piedra chispa obtenida de la cantera “Terrazas de Mandingo” ubicada en San Antonio de Pichincha.

- **Cemento**

De acuerdo con la norma NTE INEN 152, se lo obtiene de la pulverización del Clinker, formado por silicatos cálcicos hidráulicos cristalinos, agua,

sulfato de calcio y hasta 5% de piedra caliza más adiciones en el proceso. Para la elaboración de los bloques se empleó cemento industrial de alta resistencia inicial tipo HE, de la marca Chimborazo.

- **Agua**

De acuerdo con la norma NTE INEN 3066, debe ser potable, libre de cantidades apreciables de materiales nocivos como ácidos, álcalis, sales y materias orgánicas. Para la elaboración de los bloques se empleó agua potable.

3.2.1.2. Dimensiones

Las dimensiones del mampuesto tradicional, (ver figura 25) son:

- Ancho: 10 cm,
- Altura: 20 cm,
- Largo: 40 cm.

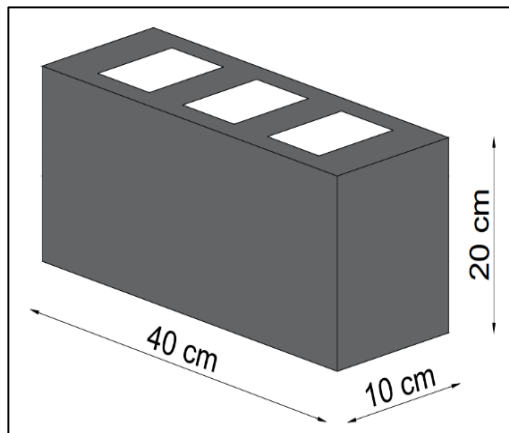


Figura 25. Mampuesto Tradicional tipo Bloque, (Roy Rodríguez, 2022).

El mampuesto a elaborarse al ser un bloque de clase A, es considerado como un elemento estructural por ser diseñado bajo el criterio de pared portante, cabe recalcar que, si se encuentra expuesto parcial o totalmente a la intemperie, puede ser utilizado como un elemento de mampostería no estructural. Es considerado como un bloque hueco de hormigón, debido a que el área neta de la superficie de carga es menor al 75%. El espesor mínimo de las paredes y tabiques deberá ser de 19 mm (ver figura 26).

Ancho modular del bloque (mm)	Espesores mínimos de paredes y tabiques (mm)		Área mínima normalizada de tabiques (mm ² /m ²)
	Paredes	Tabiques	
≤ 100	19	19	45 140
101 a 150	25	19	45 140
> 150	32	19	45 140

Figura 26. Dimensiones Mínimas de Paredes y Tabiques para bloques de Clase A, (NTE INEN 3066, 2016).

3.2.1.3. Dosificación

Los materiales a emplearse: árido fino, árido grueso, cemento y agua deben cumplir con los estándares de calidad y cantidades apropiadas para una correcta homogenización de la mezcla; por lo que, se realizó una dosificación patrón para la elaboración de los mampuestos tipo bloque, la misma que se menciona a continuación:

Diseño de la Mezcla para el Mampuesto Tradicional

Requerimientos

f'c (Kg/cm ²)	200	Asentamiento (cm)	3
---------------------------	-----	-------------------	---

Características de los Materiales

	<i>Árido Fino</i>	<i>Árido Grueso</i>
Porcentaje de Absorción (%)	6,10	3,35
Contenido de Humedad (%)	2,00	1,20
Porcentaje de Áridos (%)	40	60
SSS: Áridos en estado Saturado con Superficie Seca (Kg/m ³)	747	1121
Áridos en estado Seco (Kg/m ³)	704	1085
Áridos en estado Natural (Kg/m ³)	719	1098
TMN: Tamaño Máximo Nominal (mm)		9,51
Ga: Promedio Gravedad de los Áridos en estado Saturado con Superficie Seca (Kg/m ³)		2,480
Gc: Gravedad Específica del Cemento (Kg/m ³)		2,90
Porcentaje de Aire Contenido (%)		7
Agua Neta (Kg/m ³)		110
Coeficiente de Seguridad		3
a/c: Relación agua / cemento		0,5704
f'c de diseño (Kg/cm ²)		206
Cemento Requerido (Kg/m ³)		193
Um: Peso Unitario del Hormigón (Kg/m ³)		2172
Agua de Mezcla (Kg/m ³)		162
<i>Reestimación de Mezcla</i>		
Árido Fino (Kg)		93,15
Árido Grueso (Kg)		142,35
Cemento (Kg)		25
Agua (Lts)		18

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 1. Dosificación del Mampuesto Tradicional.

3.2.1.4. Proceso de Fabricación

Se elaboraron 12 mampuestos tradicionales tipo bloque, cuyo proceso de fabricación detallaré a continuación; una vez seleccionados los materiales a emplearse, en una balanza de precisión se pesaron cada uno de ellos, con la finalidad de obtener las cantidades correspondientes de acuerdo con la dosificación previamente determinada.

Se vertieron los materiales en una mezcladora mecánica, donde en primer lugar se agregaron los áridos, luego el cemento y por último el agua. Se dejó que los materiales empezarán a mezclarse por un lapso de 3 a 5 minutos aproximadamente hasta lograr una mezcla de color gris y consistencia homogénea.

Se vertió la mezcla en moldes metálicos tipo bloque, cuyas dimensiones son (10x20x40cm). Posterior a esto, una compactadora mecánica se encargó de dar forma y rigidez a los mismos.

Se retiraron los bloques de los moldes y mediante el uso de una carretilla de carga fueron transportados hacia un lugar abierto para que pudieran realizar su proceso de fraguado. Por último, durante el transcurso de los días fueron curados, agregándoles agua por 3 veces al día, con el objetivo de que los bloques alcancen su resistencia máxima.

3.2.2. Mampuesto Ecológico tipo Bloque

3.2.2.1. Componentes

Al igual que el mampuesto tradicional tipo bloque, para la elaboración del mampuesto ecológico se emplearon los mismos componentes, salvo la siguiente variación:

- **Tereftalato de Polietileno**

Al ser un polímero plástico, con alto nivel de cristalinidad, termoplasticidad, y buenas propiedades de barrera de gas y humedad, fue considerado como un material alternativo y sostenible para la elaboración de la presente investigación. La obtención de los residuos de tereftalato de polietileno fue

proporcionada por la empresa ENKADOR, de su planta de producción ubicada en el barrio Selva Alegre Km 1 ½ vía a San Fernando, Sangolquí.

3.2.2.2. Dimensiones

Las dimensiones del mampuesto ecológico fueron las mismas ya establecidas en el dimensionamiento del mampuesto tradicional, (ver figura 27).

- Ancho: 10 cm,
- Altura: 20 cm,
- Largo: 40 cm.

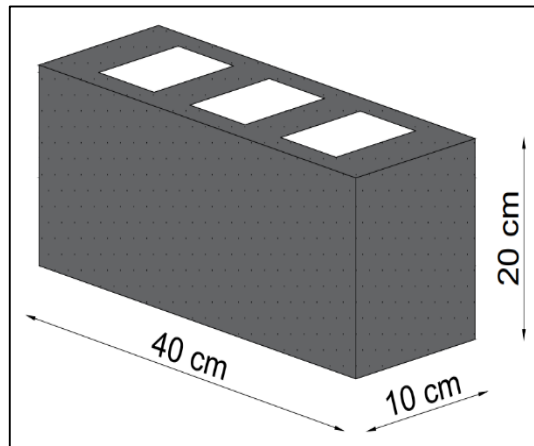


Figura 27. Mampuesto Ecológico tipo Bloque, (Roy Rodríguez, 2022).

3.2.2.3. Dosificación

Para el diseño de la mezcla del mampuesto ecológico tipo bloque, se realizaron tres diferentes casos de dosificación, los mismos que se mencionan a continuación:

Diseño de la Mezcla con 6% de PET para el Mampuesto Ecológico

Requerimientos

f'c (Kg/cm ²)	200	Asentamiento (cm)	3
---------------------------	-----	-------------------	---

Características de los Materiales

	<i>Árido Fino</i>		<i>Árido Grueso</i>
Porcentaje de Absorción (%)	6,10		3,35
Contenido de Humedad (%)	2,00		1,20
Porcentaje de Áridos (%)	40		60
SSS: Áridos en estado Saturado con Superficie Seca (Kg/m ³)	747		1121
Áridos en estado Seco (Kg/m ³)	704		1085
Áridos en estado Natural (Kg/m ³)	719		1098
TMN: Tamaño Máximo Nominal (mm)		9,51	
Ga: Promedio Gravedad de los Áridos en estado Saturado con Superficie Seca (Kg/m ³)		2,480	
Gc: Gravedad Específica del Cemento (Kg/m ³)		2,90	
Porcentaje de Aire Contenido (%)		7	
Agua Neta (Kg/m ³)		110	
Coefficiente de Seguridad		3	
a/c: Relación agua / cemento		0,5704	
f'c de diseño (Kg/cm ²)		206	
Cemento Requerido (Kg/m ³)		193	
Um: Peso Unitario del Hormigón (Kg/m ³)		2172	
Agua de Mezcla (Kg/m ³)		162	
<i>Reestimación de Mezcla</i>			
Árido Fino (Kg)		93,15	
Árido Grueso (Kg)		133,80	
Tereftalato de Polietileno (Kg)		8,54	
Cemento (Kg)		25	
Agua (Lts)		18	

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 3. Segundo Caso de Dosificación del Mampuesto Ecológico.

3.2.2.4. Proceso de Fabricación

Se elaboraron 36 mampuestos ecológicos tipo bloque, cuyo proceso de fabricación fue similar al de los mampuestos tradicionales, pero con una pequeña variación.

Se aplicó residuos de tereftalato de polietileno a la mezcla en reemplazo del árido grueso de una manera progresiva en rangos de 3, 6 y 12%; con la finalidad de reducir el impacto ambiental que ocasionan estos tipos de desechos y lograr aligerar el peso del mampuesto.

3.3. Ensayos de Resistencia

3.3.1. A la Compresión

Según la norma NTE INEN 3066, sirve para determinar la resistencia a la compresión de bloques huecos de hormigón que serán empleados en la construcción de paredes soportantes, paredes divisorias no soportantes y losas alivianadas.

3.3.2. A la Absorción

Según la norma NTE INEN 3066, sirve para determinar la absorción de agua en una muestra compuesta por tres bloques huecos de hormigón que no presenten defectos y que serán empleados en la construcción de paredes soportantes, paredes divisorias no soportantes y losas alivianadas.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de los Materiales

4.1.1. Árido Fino y Árido Grueso

4.1.1.1. Granulometría

<i>Granulometría por Mallas del Árido Fino</i>						
Malla No.	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial	Masa Retenida Acumulada	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Que Pasa (%)	Especificaciones % Que Pasa
½"	12,70	0,0	0,0	0,0	100,0	100
3/8"	9,51	0,0	0,0	0,0	100,0	100
No. 4	4,76	9,6	9,6	1,4	98,6	95-100
No. 8	2,36	117,8	127,4	18,2	81,8	80-100
No. 16	1,19	146,2	273,6	39,1	60,9	50-85
No. 30	0,60	122,9	396,5	56,6	43,4	25-60
No. 50	0,30	103,7	500,2	71,5	28,5	10-30
No.100	0,149	59,9	560,1	80,0	20,0	2-10
Pasa No. 100		139,9	139,9	266,77		
Suma		700,0	700,0			
TMN: Tamaño Máximo Nominal			3/8"	MF		2,67

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 5. Granulometría del Árido Fino.

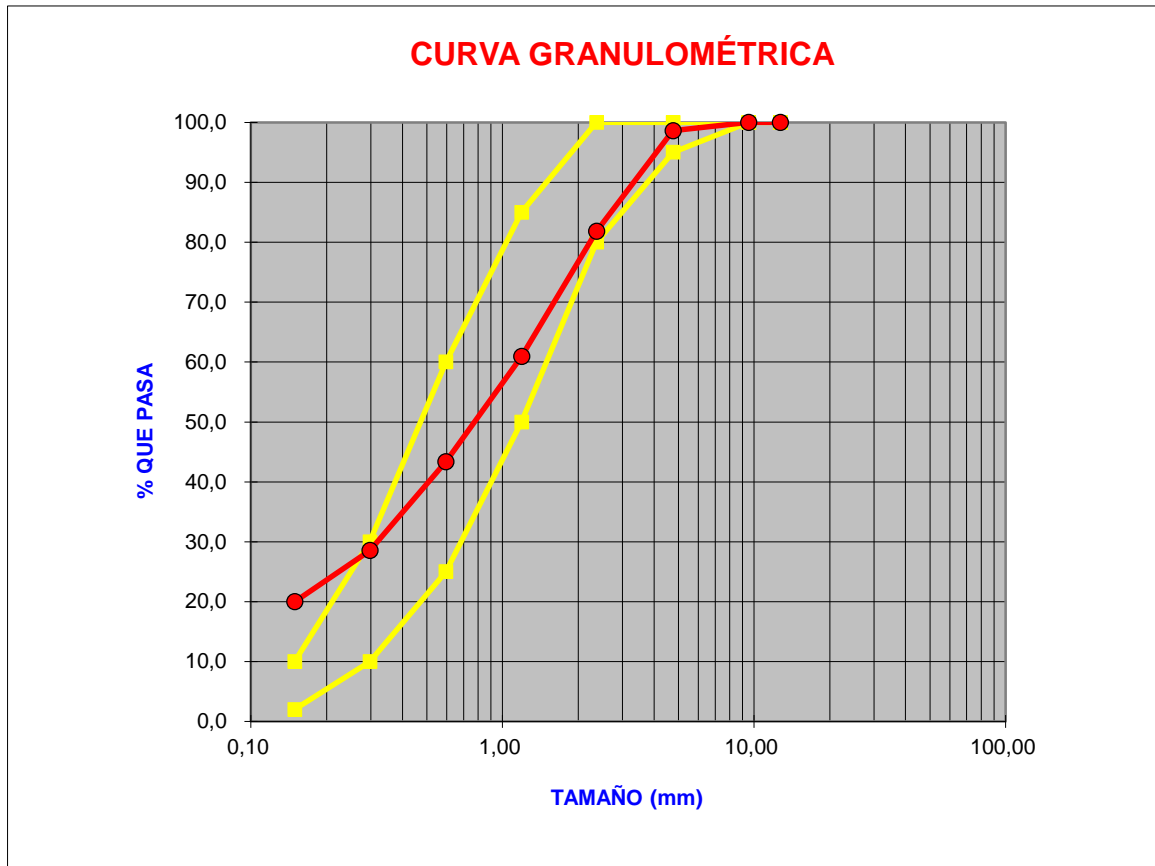


Figura 28. Curva Granulométrica del Árido Fino, (Roy Rodríguez, 2022).

Granulometría por Mallas del Árido Grueso						
Malla No.	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial	Masa Retenida Acumulada	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Que Pasa (%)	Especificaciones % Que Pasa
½"	12,70	0,0	0,0	0,0	100,0	100
3/8"	9,51	140,0	140,0	1,0	99,0	100
No. 4	4,76	9227,0	9367,0	66,3	33,7	95-100
No. 8	2,36	3283,0	12650,0	89,6	10,4	80-100
No. 16	1,19	561,0	13211,0	93,6	6,4	50-85
No. 30	0,60	176,0	13387,0	94,8	5,2	25-60
No. 50	0,30	152,0	13539,0	95,9	4,1	10-30
No.100	0,149	283,0	13822,0	97,9	2,1	2-10
Pasa No. 100		298,0	298,0	539,07		
Suma		14120,0	14120,0			
TMN: Tamaño Máximo Nominal			3/8"	MF		5,39

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 6. Granulometría del Árido Grueso.

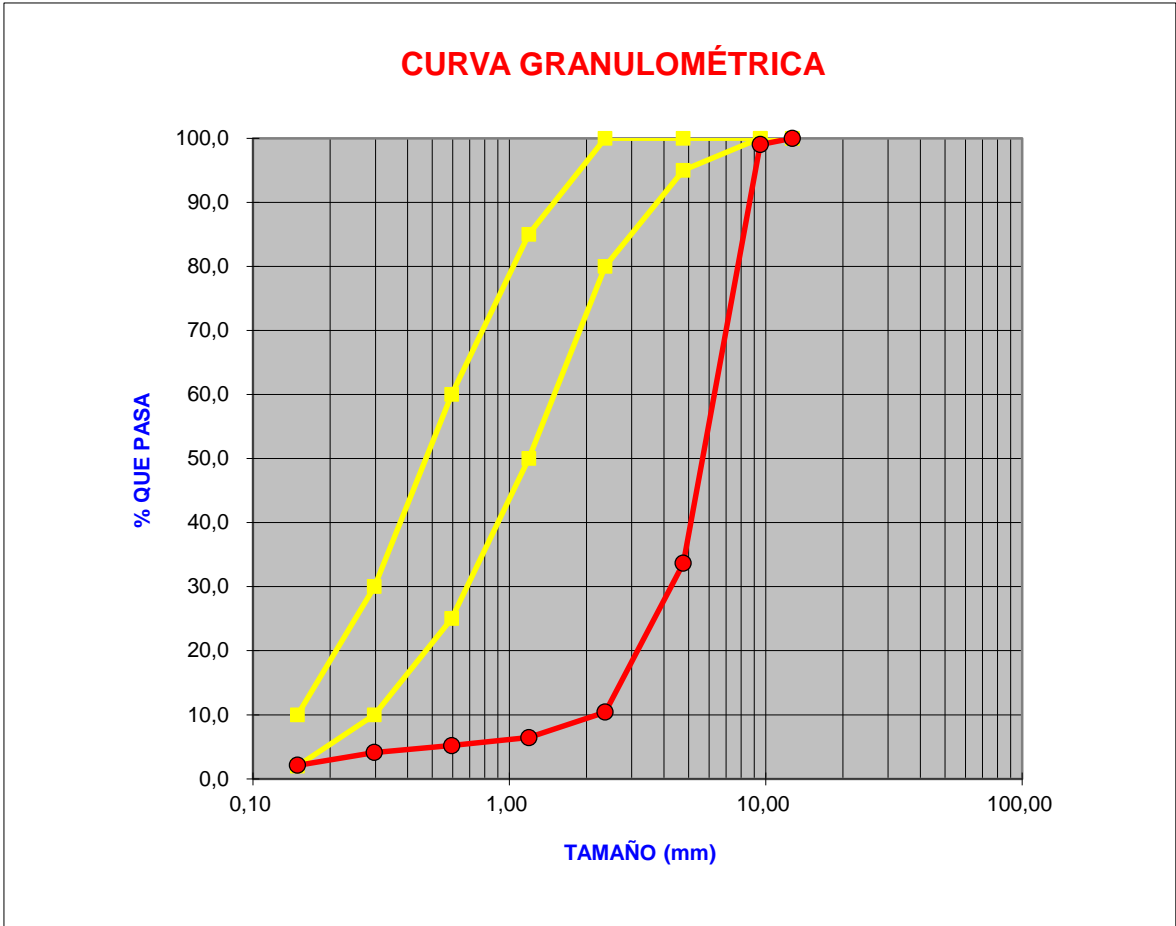


Figura 29. Curva Granulométrica del Árido Grueso, (Roy Rodríguez, 2022).

4.1.1.2. Humedad Natural

Descripción	Tipo de Material	
	Árido Fino	Árido Grueso
Masa Original (gr)	700,0	14120,0
Masa Seca (gr)	686,3	13953,0
Porcentaje de Humedad (%)	2,00	1,20

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 7. Humedad Natural del Árido Fino y Árido Grueso.

4.1.1.3. Gravedad Específica y Absorción

Gravedad Específica y Absorción del Árido Fino y Árido Grueso		
Descripción	Tipo de Material	
	Árido Fino	Árido Grueso
Masa del Matraz (gr)	154,8	
Masa de Agua añadida al Matraz (gr)	310,9	
Masa del Conjunto: Matraz, Agua y Muestra (gr)	965,7	
Masa de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	500	4724
Masa de la Muestra Seca (gr)	492,1	3544
Masa Sumergida en Agua (gr)		2246
Gravedad Específica Bulk	2,60	1,430
Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca	2,64	1,906
Gravedad Específica Aparente	2,64	2,730
Porcentaje de Absorción (%)	1,61	33,30

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 8. Gravedad Específica y Absorción del Árido Fino y Árido Grueso.

4.1.1.4. Material Fino que pasa el Tamiz No. 200

Determinación del Material Fino que pasa el Tamiz No. 200	
Descripción	Muestra No.
	1
Masa Seca Antes del Ensayo (gr)	300,7
Masa Seca Después del Ensayo (gr)	258,3
Porcentaje de Material Fino que pasa el Tamiz No. 200 (%)	14,10

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 9. Material Fino que pasa el Tamiz No. 200.

4.1.1.5. Contenido Orgánico

Determinación del Contenido Orgánico	
	<i>Muestra No.</i>
Descripción	1
Color	1: Amarillo
Contenido Orgánico Aceptable	Sí

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 10. Contenido Orgánico.

4.1.1.6. Equivalente de Arena

Determinación del Equivalente de Arena		
	<i>Muestra No.</i>	
Descripción	1	2
Lectura A	3,8	3,9
Lectura B	5	4,7
Equivalente de Arena	76	83

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 11. Equivalente de Arena.

4.1.1.7. Abrasión

Desgaste del Árido Grueso en la Máquina de Los Ángeles	
	<i>Muestra No.</i>
Descripción	1
Masa Inicial (gr)	5000
Masa Sostenida en el Tamiz No.12 (gr)	3054
Material que pasa el Tamiz No. 12 (gr)	1946
Porcentaje de Desgaste del Árido (%)	38,92

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 12. Abrasión en la Máquina de los Ángeles.

4.1.2. Tereftalato de Polietileno (PET)

4.1.2.1. Granulometría

<i>Granulometría por Mallas del PET</i>						
Malla No.	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial	Masa Retenida Acumulada	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Que Pasa (%)	Especificaciones % Que Pasa
½"	12,70	0,0	0,0	0,0	100,0	100
3/8"	9,51	0,0	0,0	0,0	100,0	100
No. 4	4,76	14,6	14,6	2,4	97,6	95-100
No. 8	2,36	61,4	76,0	12,7	87,3	80-100
No. 16	1,19	361,4	437,4	72,9	27,1	50-85
No. 30	0,60	141,0	578,4	96,4	3,6	25-60
No. 50	0,30	17,1	595,5	99,3	0,8	10-30
No.100	0,149	4,3	599,8	100,0	0,0	2-10
Pasa No. 100		0,2	0,2	383,62		
Suma		600,0	600,0			
TMN: Tamaño Máximo Nominal			3/8"	MF		3,84

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 13. Granulometría del PET.

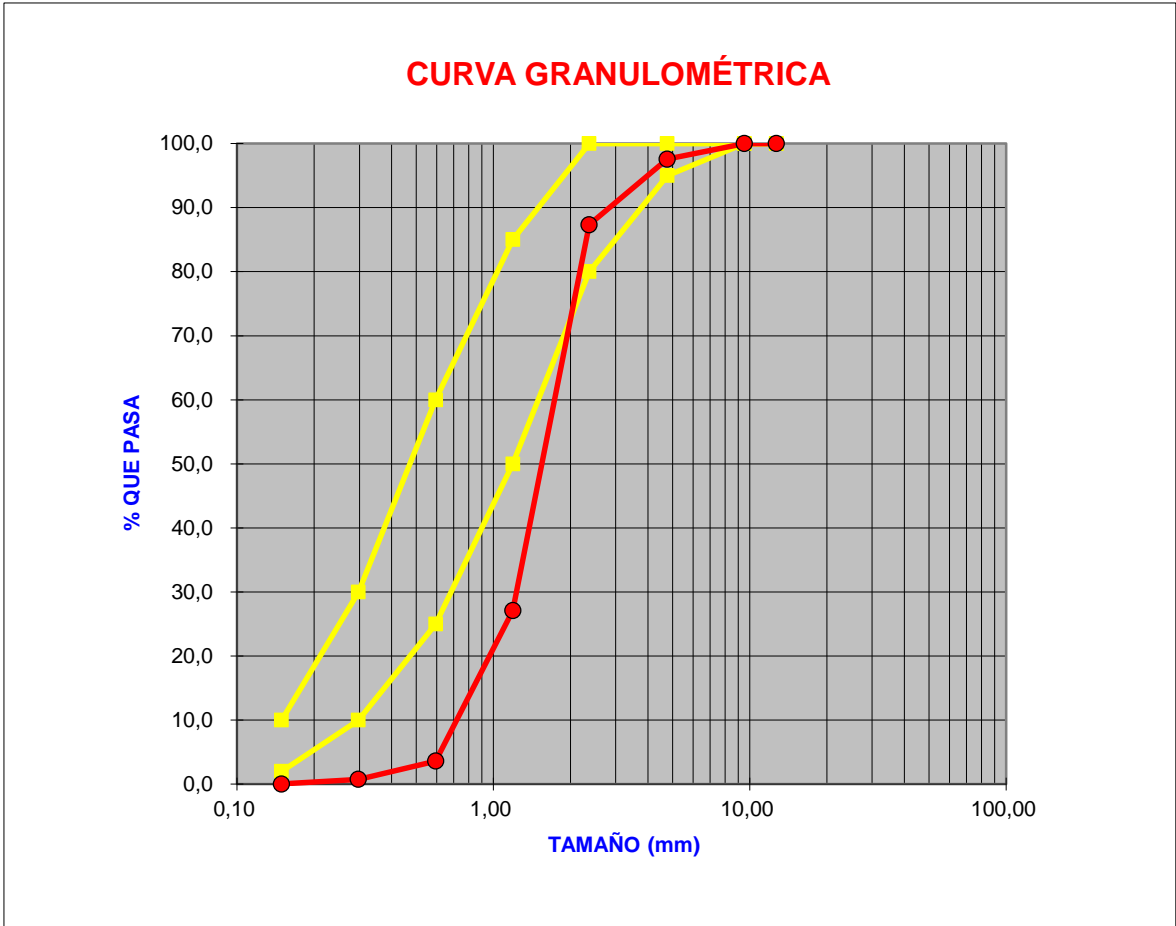


Figura 30. Curva Granulométrica del PET, (Roy Rodríguez,2022).

4.1.3. Cemento

4.1.3.1. Finura Blaine

Descripción	Muestra No.	
	1	2
Masa Inicial de Cemento (gr)	2,560	2,570
Tiempo de Caída del Manómetro para Muestra de Ensayo (s)	58,69	58,00
Tiempo de Caída del Manómetro para Muestra Normalizada (s)	73,15	72,36
Superficie Específica Muestra de Ensayo (m ² /Kg)	305,10	305,60
Superficie Específica Muestra Normalizada (m ² /Kg)	337	339
Promedio Superficie Específica (m ² /Kg)	305,35	

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 14. Finura Blaine del Cemento.

4.1.3.2. Tiempo de Fraguado

Descripción	Muestra No.		
	1	2	3
Tiempo de Fraguado Inicial (min)	125	125	125
Promedio Tiempo de Fraguado Inicial (min)	125		
Tiempo de Fraguado Final (min)	200	200	200
Promedio Tiempo de Fraguado Final (min)	200		

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 15. Tiempo de Fraguado del Cemento.

4.2. Ensayos de Resistencia

4.2.1. A la Compresión

Determinación de la Resistencia a la Compresión de los Mampuestos Tradicionales

Muestra No.	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)	Masa (Kg)	Compresión (MPa)
1	10	20,2	40	11,51	16,28
2	9,9	20,0	39,9	12,20	16,70
3	10	20,3	40	11,72	16,74
4	9,9	20,2	40	11,94	16,58
5	10	20,0	40	12,09	16,34
6	10	20,1	39,9	11,76	16,49
	Promedio			11,87	16,52
	f'c característico				16,26

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 16. Ensayo a la Compresión de los Mampuestos Tradicionales.

Determinación de la Resistencia a la Compresión de los Mampuestos Ecológicos con Adición del 3% de Tereftalato de Polietileno

Muestra No.	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)	Masa (Kg)	Compresión (MPa)
1	9,9	20,2	40	11,05	16,42
2	10	20,0	39,9	11,21	16,38
3	10	20,1	40	11,20	16,53
4	9,9	20,3	40	11,27	16,47
5	10	20,0	39,9	11,12	16,33
6	10	20,2	40	11,17	16,28
	Promedio			11,17	16,40
	f'c característico				16,28

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 17. Ensayo a la Compresión de los Mampuestos Ecológicos - Primer Caso (3% de Tereftalato de Polietileno).

Determinación de la Resistencia a la Compresión de los Mampuestos Ecológicos con Adición del 6% de Tereftalato de Polietileno

Muestra No.	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)	Masa (Kg)	Compresión (MPa)
1	10	20,2	39,9	10,90	16,32
2	10	20,3	39,9	10,88	16,22
3	9,9	20,0	40	10,92	16,34
4	9,9	20,2	40	11,01	16,29
5	10	20,1	40	10,92	16,22
6	10	20,0	40	11,02	16,26
	Promedio			10,94	16,28
	f'c característico				16,16

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 18. Ensayo a la Compresión de los Mampuestos Ecológicos - Segundo Caso (6% de Tereftalato de Polietileno).

Determinación de la Resistencia a la Compresión de los Mampuestos Ecológicos con Adición del 12% de Tereftalato de Polietileno

Muestra No.	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)	Masa (Kg)	Compresión (MPa)
1	9,9	20,0	39,9	10,36	16,02
2	10	20,2	40	10,22	16,08
3	10	20,1	40	10,48	16,14
4	9,9	20,2	40	10,52	16,21
5	10	20,0	39,9	10,26	16,12
6	10	20,1	40	9,97	16,09
	Promedio			10,30	16,11
	f'c característico				16,02

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 19. Ensayo a la Compresión de los Mampuestos Ecológicos - Tercer Caso (12% de Tereftalato de Polietileno).

4.2.2. A la Absorción

Determinación de la Resistencia a la Absorción de Agua en los Mampuestos Tradicionales						
Muestra No.	Masa de la Muestra Sumergida (Kg)	Masa de la Muestra Saturada (Kg)	Masa de la Muestra Seca (Kg)	Masa tal como se Recibe (Kg)	Absorción (Kg/m ³)	Absorción (%)
1	6,59	11,79	10,97	11,26	158,00	7,50
2	7,02	12,41	11,65	11,93	140,84	6,51
3	6,47	11,67	11,855	11,09	157,12	7,53
4	7,00	12,40	11,62	11,92	144,58	6,72
5	7,01	12,44	11,63	11,94	149,04	6,96
6	6,61	11,82	11,02	11,28	152,49	7,20
	Promedio			11,57	150,34	7,07

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 20. Ensayo a la Absorción de Agua en los Mampuestos Tradicionales.

**Determinación de la Resistencia a la Absorción de Agua en los
Mampuestos Ecológicos con Adición del 3% de Tereftalato de Polietileno**

Muestra No.	Masa de la Muestra Sumergida (Kg)	Masa de la Muestra Saturada (Kg)	Masa de la Muestra Seca (Kg)	Masa tal como se Recibe (Kg)	Absorción (Kg/m ³)	Absorción (%)
1	6,38	11,09	10,33	10,81	162,45	7,41
2	6,35	11,43	10,64	11,09	155,18	7,40
3	6,12	11,47	10,67	10,89	149,83	7,51
4	6,28	11,61	10,86	11,08	141,89	6,96
5	6,16	11,04	10,24	10,73	163,18	7,77
6	6,23	11,66	10,82	11,02	155,01	7,78
	Promedio			10,94	154,59	7,47

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 21. Ensayo a la Absorción de Agua en los Mampuestos Ecológicos – Primer Caso (3% de Tereftalato de Polietileno).

Determinación de la Resistencia a la Absorción de Agua en los Mampuestos Ecológicos con Adición del 6% de Tereftalato de Polietileno

Muestra No.	Masa de la Muestra Sumergida (Kg)	Masa de la Muestra Saturada (Kg)	Masa de la Muestra Seca (Kg)	Masa tal como se Recibe (Kg)	Absorción (Kg/m ³)	Absorción (%)
1	5,91	10,92	9,99	10,36	185,70	9,31
2	5,87	10,91	10,07	10,87	166,17	8,31
3	5,71	10,59	9,81	10,02	184,27	7,93
4	6,38	11,64	10,96	11,08	159,23	6,20
5	6,09	11,35	10,50	10,87	129,28	8,10
6	6,22	11,49	10,66	11,03	158,18	7,82
	Promedio			10,71	160,06	7,94

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 22. Ensayo a la Absorción de Agua en los Mampuestos Ecológicos - Segundo Caso (6% de Tereftalato de Polietileno).

Determinación de la Resistencia a la Absorción de Agua en los Mampuestos Ecológicos con Adición del 12% de Tereftalato de Polietileno

Muestra No.	Masa de la Muestra Sumergida (Kg)	Masa de la Muestra Saturada (Kg)	Masa de la Muestra Seca (Kg)	Masa tal como se Recibe (Kg)	Absorción (Kg/m ³)	Absorción (%)
1	5,68	11,20	10,22	10,57	177,60	9,59
2	5,57	10,53	9,65	9,83	177,20	9,12
3	5,67	10,99	10,14	10,43	160,71	8,43
4	5,57	10,58	9,70	9,80	175,73	9,06
5	5,68	11,09	10,19	10,47	166,17	8,82
6	5,70	10,68	9,83	10,04	171,68	8,71
	Promedio			10,19	171,52	8,96

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 23. Ensayo a la Absorción de Agua en los Mampuestos Ecológicos - Tercer Caso (12% de Tereftalato de Polietileno).

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La ineficiente gestión por parte de los altos mandos y organismos internacionales en el procesamiento de desechos plásticos, una vez estos han culminado su ciclo de consumo, ha generado una creciente e incontrolable contaminación alrededor de todo el planeta, afectando en todos los aspectos al medio en el que vivimos, en particular a los ecosistemas acuáticos y marinos. Debido a estos acontecimientos, la población ha iniciado una considerable búsqueda de nuevas posibles soluciones en un sinnúmero de métodos constructivos que promuevan la incorporación de estos tipos de desechos con la finalidad de lograr reducir su espacio en el ecosistema.
- La desmesurada explotación de minas y canteras para la obtención de materiales naturales, con los cuales se elaboran diversos tipos de elementos de construcción y una amplia variedad de obras civiles, está generando un grave deterioro a nuestro ecosistema y una excesiva disminución de los recursos; por lo que, la implementación de nuevos materiales eco-amigables, como la reutilización de residuos de tereftalato de polietileno, en la elaboración de elementos constructivos, ayudará a reducir los altos niveles de sobreexplotación y fomentará el desarrollo de edificaciones sostenibles, permitiendo obtener construcciones accesibles, seguras y sustentables con el medio ambiente.
- El elemento de construcción elaborado en el presente trabajo investigativo, considerado como un mampuesto ecológico tipo bloque, ha logrado satisfacer varios parámetros de los que constituyen la representación de una edificación sostenible, como lo son: la minimización de los materiales naturales, la obtención local y accesible de materiales reciclables o

reutilizables y la minimización del consumo de recursos como la energía y las huellas de carbono emitidas hacia la atmósfera.

- En base a los resultados obtenidos de la gráfica granulométrica del material piedra chispa, se pudo apreciar que la curva presentada por parte de este árido está fuera de los límites considerables de una arena fina y que a su vez tampoco pertenece a las consideraciones pertinentes de un agregado grueso; por lo tanto, este tipo de material corresponde ser una arena gruesa.
- De acuerdo con la interpretación de la gráfica granulométrica del tereftalato de polietileno, se pudo constatar que la curva presentada por parte de los residuos PET no está dentro de los límites considerables de una arena fina, lo que hace que se asemeje más su tamaño y aspecto físico a la de una arena gruesa; por lo que, se decidió el reemplazo de los residuos PET por el árido grueso, con la finalidad de obtener un alivianamiento en los mampuestos.
- Mediante la realización de un promedio a los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión y absorción en los mampuestos tradicionales tipo bloque, se pudo determinar que la resistencia a la compresión a los 28 días fue de 16,52 MPa y la resistencia a la absorción luego de permanecer sumergidos en agua durante 24 horas fue de 150,34 Kg/m³, (ver tabla 24); con lo cual, se puede concluir que los siguientes mampuestos tipo bloque si cumplen con la resistencia mínima establecida de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 3066 “Bloques de Hormigón”. En donde el valor mínimo para la resistencia a la compresión es de 13,8 MPa, (ver figura 31) y el valor máximo para la resistencia a la absorción es de 208 Kg/m³, (ver figura 32), ambos para bloques de clase A.

Determinación del Promedio de la Resistencia a la Compresión y a la Absorción de los Mampuestos Tradicionales

Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)	Masa (Kg)	Compresión (MPa)	Absorción (Kg/m ³)	Absorción (%)
10	20,1	40	11,72	16,52	150,34	7,07

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 24. Promedio de los Resultados Obtenidos en los Ensayos a Compresión y Absorción de los Mampuestos Tradicionales.

Descripción	Resistencia neta mínima a la compresión simple (MPa)*		
	Clase A	Clase B	Clase C
Promedio de 3 bloques	13,8	4,0	1,7
Por bloque	12,4	3,5	1,4

* 1 MPa = 10,2 kg/cm²

Figura 31. Resistencia Mínima a la Compresión en bloques de hormigón, (NTE INEN 3066, 2016).

Tipo	Densidad (kg/m ³)	Absorción de agua máxima promedio (kg/m ³)	Absorción de agua máxima por unidad (kg/m ³)
Liviano	< 1 680	288	320
Medio	1 680 a 2 000	240	272
Normal	> 2 000	208	240

Figura 32. Resistencia Máxima a la Absorción de Agua en bloques de Clase A, (NTE INEN 3066, 2016).

- Para el caso de los mampuestos ecológicos tipo bloque, se realizaron de igual manera los ensayos de compresión y absorción. Los resultados serán presentados en base a la siguiente tabla promedio:

Determinación del Promedio de la Resistencia a la Compresión y a la Absorción de los Mampuestos Ecológicos

Descripción	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)	Peso (Kg)	Compresión (MPa)	Absorción (Kg/m ³)	Absorción (%)
Adición 3% PET	10	20,1	40	11,05	16,40	154,59	7,47
Adición 6% PET	10	20,1	40	10,82	16,28	160,06	7,94
Adición 12% PET	10	20,1	40	10,25	16,11	171,52	8,96

Elaborado por: Roy Rodríguez, 2022.

Tabla 25. Promedio de los Resultados Obtenidos en los Ensayos a Compresión y Absorción de los Mampuestos Ecológicos.

- Se puede observar en la tabla 25 y en la figura 33, que a medida se incrementa la adición de residuos PET, se reduce considerablemente el peso del mampuesto; presentándose un comportamiento inversamente proporcional entre ambos. Con lo cual puedo deducir, que la adición de residuos PET en la elaboración de mampuestos tipo bloque, resulta ser exitosa si se tiene como objetivo alivianar el mismo.

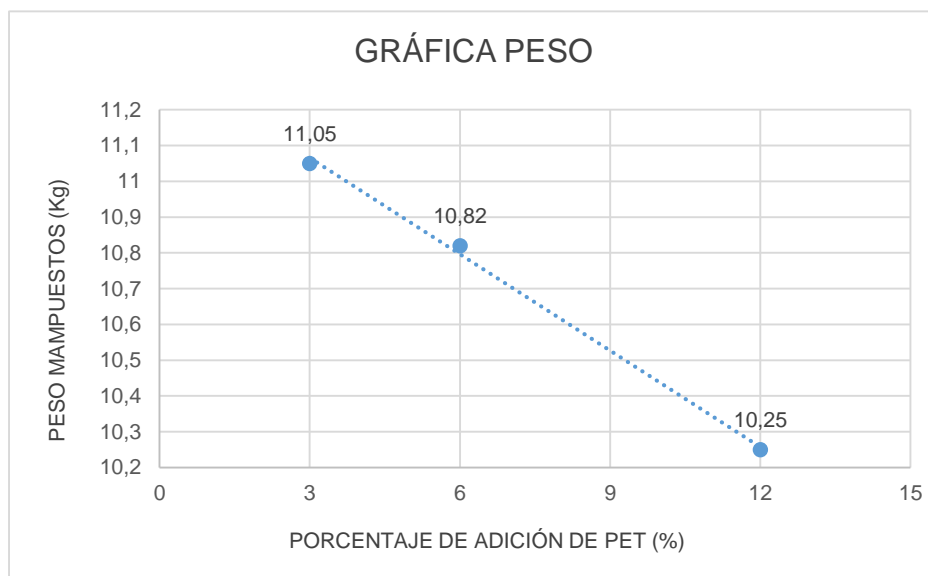


Figura 33. Gráfica Peso, (Roy Rodríguez, 2022).

- De igual manera en la tabla 25 y en la figura 34, se puede apreciar que a medida aumenta la adición de residuos PET, disminuye la resistencia a la compresión lo cual resulta ser desfavorable, porque podría afectar considerablemente en las propiedades mecánicas de los mampuestos, las cuales podrían ser reflejadas posteriormente en los diseños de construcción de obras civiles.

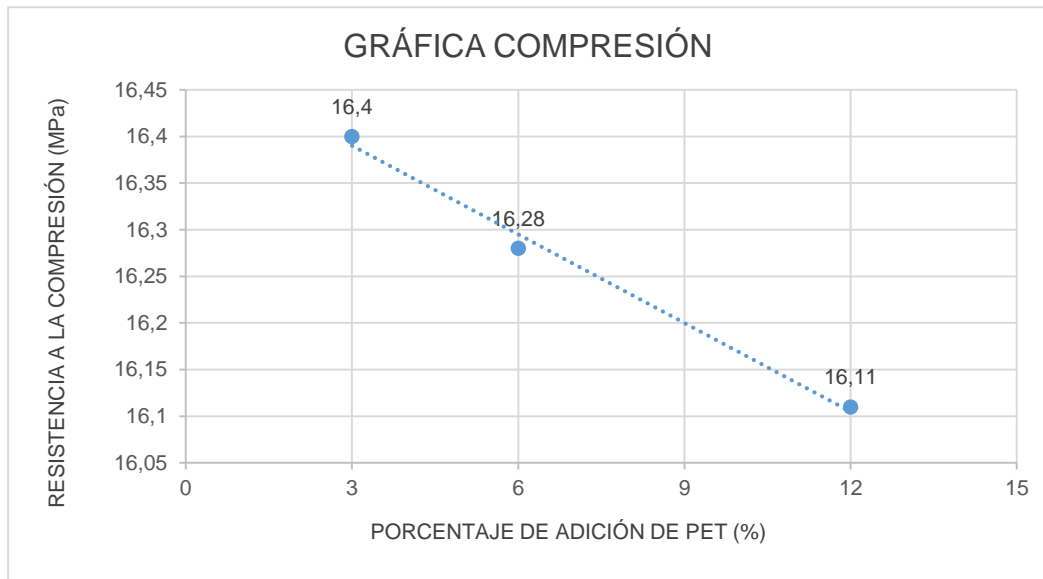


Figura 34. Gráfica Compresión, (Roy Rodríguez, 2022).

- Frente al análisis del porcentaje de absorción en la tabla 25 y en la figura 35, se puede observar que la adición de residuos PET es directamente proporcional al porcentaje de humedad; es decir, que a medida aumenta el porcentaje de adición, aumenta simultáneamente el porcentaje de humedad. Lo cual no resulta ser beneficioso, debido a que afectaría a las características de resistencia ante la presencia de agua o humedad.

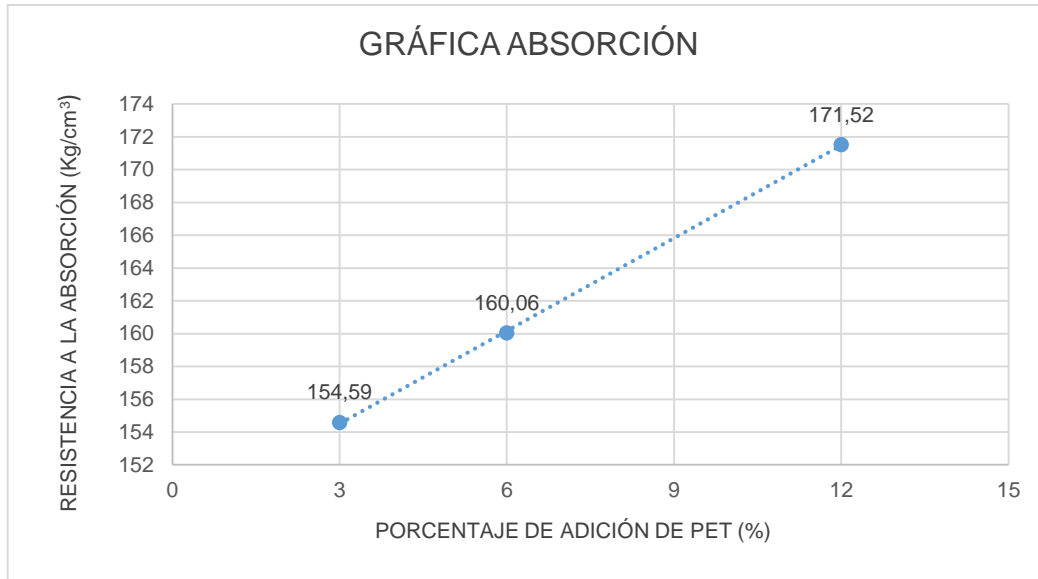


Figura 35. Gráfica Absorción, (Roy Rodríguez, 2022).

- Se puede observar de igual manera en la tabla 25, los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión y a la absorción a los mampuestos ecológicos tipo bloque con adición de residuos de tereftalato de polietileno, en donde los valores para la resistencia a la compresión fueron los siguientes: 16,40 MPa con 3% de adición, 16,28 MPa con 6% de adición y 16,11 MPa con 12% de adición, (ver figura 31); y para la resistencia a la absorción: 154,59 Kg/m³ con 3% de adición, 160,06 Kg/m³ con 6% de adición y 171,52 Kg/m³ con 12% de adición, (ver figura 32). Todos los mampuestos ecológicos que fueron elaborados con residuos PET cumplen con los valores mínimos de resistencia a la compresión y absorción de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 3066 “Bloques de Hormigón”, en donde el valor mínimo para la resistencia a la compresión es de 13,8 MPa y el valor máximo para la resistencia a la absorción es de 208 Kg/m³, ambos para bloques de clase A.
- Una vez analizados los resultados y luego de haberlos comparado con temas afines puedo concluir, que los mampuestos elaborados con la adición de residuos de tereftalato de polietileno son aptos para el diseño y construcción de obras civiles, en base a los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión y absorción, considerando que sus porcentajes deben ser hasta ciertos niveles de adición, debido a que si nos excedemos

probablemente el mampuesto no cumpla con las características y propiedades físicas y mecánicas requeridas por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 3066 “Bloques de Hormigón”.

5.2. Recomendaciones

- En los últimos años, se ha notado considerablemente una creciente producción de residuos de tereftalato de polietileno alrededor de todo el planeta, lo que ha provocado que de igual manera aumente el déficit de soluciones para su procesamiento una vez estos hayan culminado su vida útil, lo cual representa una gran oportunidad en la búsqueda de nuevas alternativas de reutilización de estos desechos en las distintas áreas de la construcción con la finalidad de reducir la contaminación ambiental y continuar fomentando el desarrollo de edificaciones sostenibles.
- En el presente trabajo investigativo, la adición de tereftalato de polietileno a la mezcla de hormigón para la elaboración de mampuestos ecológicos fue de 3, 6 y 12% en reemplazo del árido grueso, obteniendo excelentes resultados de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas. Por lo que recomiendo continuar con la investigación, en la adición de mayores porcentajes de residuos PET, con el fin de lograr determinar la máxima cantidad a emplearse, sin que esta altere o modifique sus características y propiedades de resistencia de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 3066 “Bloques de Hormigón”.
- Se recomienda continuar realizando ensayos de laboratorio a los mampuestos elaborados con adición de residuos de tereftalato de polietileno, como los son: aislación térmica, aislación acústica y resistencia al fuego, con el objetivo de conocer más a fondo acerca de las propiedades y comportamientos que podrían ofrecer estos tipos de elementos alternativos de construcción.
- El Ecuador al no contar con una norma avalada por el Instituto Nacional de Normalización INEN para el diseño y elaboración de mampuestos ecológicos

con la adición de residuos de tereftalato de polietileno, se recomienda a los estudiantes y profesionales del sector de la construcción, continuar con las investigaciones de estudios, ensayos y pruebas que sean necesarias para la determinación de parámetros específicos que permitan su correcto proceso de diseño y fabricado.

BIBLIOGRAFÍA

Ampuero, A., & Romero, P. (2020). *Parámetros físicos y mecánicos de ladrillos ecológicos hechos a base de material reciclado (plástico PET) para construcción: Una revisión*. (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Unión, Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3740>

Angumba Aguilar, P.J. (2016-11-11). *Ladrillos elaborados con plástico reciclado (PET), para mampostería no portante* (Master's thesis). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25297>

ASTM INTERNATIONAL. (2010). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine* (ASTM C131). <https://www.astm.org/standards/c131>

ASTM INTERNATIONAL. (2015). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates* (ASTM C136). <https://www.astm.org/standards/c136>

ASTM INTERNATIONAL. (2019). *Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus* (ASTM C204). <https://www.astm.org/c0204-18e01.html>

ASTM INTERNATIONAL. (2016). *Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate* (ASTM D2419). <https://www.astm.org/d2419-14.html>

Ávila, A., & Avilés, M. (2019). *Elaboración de bloque ecológico a base de residuos de construcción y polietileno comprimido para vivienda de interés social*. (Tesis de pregrado). Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/3189?mode=full>

Awoyera, P.O., Andesina, A. (2020). *Plastic wastes to construction products: Status, Limitations and Future Perspective, Case Stud. Constr. Mater.* 12, e00330 in press.

BBC. (2015). *Plásticos*. BBC Magazine. [Fecha de consulta: abril de 2022]. Disponible en <https://www.bbc.com/mundo>

Bravo S., & Espinoza, F. (2019). *Elaboración de un mampuesto ecológico como material sostenible de construcción utilizando bagazo de caña de azúcar*. (Tesis de pregrado). PUCE, Quito, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/17642>

Bolaños, J. (2019). *“Reciclado de Plástico PET”*. (Tesis de Pregrado). Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú. Recuperado de http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/16146/1/BOLA%C3%91OS_ZEA_JUA_PET.pdf

Caballero Meza, B, Florez Lengua, O y Álvarez Carrascal, J. (2017). *Elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico polietileno –Tereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construcción*. Universidad de Cartagena.

Camacho, A., & Mena, MJ. (2018). *Diseño y fabricación de un ladrillo ecológico como material sostenible de construcción y comparación de sus propiedades mecánicas con un ladrillo tradicional*. (Tesis de pregrado). PUCE, Quito, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/14548>

Chávez, J. (2003). *Edificaciones de Mampostería para Vivienda*. Colonia Nápoles, México: Fundación ICA, A.C.

Coronel González, D.E., & Lituma Rodas, M.G. (2015). *Ecoladrillos, estudio y propuesta de tabiques para el medio local*. Sala de información, ecoparque El Valle/EMAC (Bachelor's thesis). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21065>

Flores, V., Rojas, J., Torres, R., Vallejos, R., Flores, P., & Flores M., (2014). *Mezclas de cemento y agregados de plástico para la construcción de viviendas ecológicas*. Revista Ciencias Tecnológicas y Agrarias T-I, 101-110. [Fecha de consulta: abril de 2022]. ISSN: 2007-1582. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4883701>

Gaggino, Rosana (2008). *Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción*. Revista INVI, 23(63), 137-163. [Fecha de consulta:

abril de 2022]. ISSN: 0718-1299. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=25806306>

Gaggino, R., Berretta, H., Gatani, M., & Argüello, R. (2008). *Nueva Tecnología Constructiva con Plástico Reciclado*. Revista Ciencia, 109-123. [Fecha de consulta: abril de 2022]. Disponible en <https://docplayer.es/35951817-Nueva-tecnologia-constructiva-con-plastico-reciclado.html>

Gamboa Recalde, Tarquino Fernando y Recalde Sánchez, Andrea Marcel (2015). *Bases de diseño para la construcción sostenible con mampostería de ladrillo tipo pet*. Trabajo de Graduación previo la obtención del Título de Ingeniero Civil. Carrera de Ingeniería Civil. Quito: UCE. 147 p.

García, A. (2015). *Glosario de Términos en Plásticos*. Recuperado de <https://www.eumed.net/cursecon/dic/glos-plasticos.html>

Gil, C. M. (2020). *Medio ambiente, sociedad y plástico: alternativas a la problemática de contaminación*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/36699>.

GREENPEACE. (2019). *Plásticos*. GPM. [Fecha de consulta: abril de 2022]. Disponible en <https://revista.greenpeace.es/>

Gómez, G., & Olaya O. (2017). *Resistencia a la compresión de elementos para mampostería no estructural producidos con adición de material PET reciclado*. (Tesis de pregrado). Universidad Piloto de Colombia, Girardot, Colombia. Recuperado de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5861/TESIS%20UNIPILOTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

González, R.K. (2016). *Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos de concreto con la incorporación de PET en diferentes porcentajes* (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/11240>

Gutiérrez Junco, O. (2003). *Mampostería estructural*. Uniandes.

ICONTEC. (2004). *Plástico*. Revista Novedades Normativas. [Fecha de consulta: abril de 2022]. Disponible en <https://www.icontec.org/construccion-e-ingenieria/#normas>

INEN. (2010). *Cemento Portland. Requisitos* (NTE INEN 152). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/152.pdf>

INEN. (2009). *Cemento Hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat* (NTE INEN 158). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/158.pdf>

INEN. (1993). *Bloques huecos de hormigón. Determinación de la resistencia a la compresión* (NTE INEN 640). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/640.pdf>

INEN. (1993). *Bloques huecos de hormigón. Determinación de la absorción de agua* (NTE INEN 642). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/642.pdf>

INEN. (2011). *Áridos. Análisis Granulométrico en los áridos, Fino y Grueso* (NTE INEN 696). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/696.pdf>

INEN. (2010). *Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 μ m (No. 200), mediante lavado* (NTE INEN 697). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/697-1.pdf>

INEN. (2010). *Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón* (NTE INEN 855). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/855.pdf>

INEN. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino* (NTE INEN 856). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/856.pdf>

INEN. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso* (NTE INEN 857). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/857.pdf>

INEN. (2011). *Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad* (NTE INEN 862). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/862.pdf>

INEN. (2011). *Áridos para hormigón. Requisitos* (NTE INEN 872). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/862.pdf>

INEN. (2011). *Cemento Hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos* (NTE INEN 2380). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2380.pdf>

INEN. (2012). *Disposición de desechos plásticos post-consumo. Requisitos* (NTE INEN 2634). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/NTE-INENE-2634-Plasticos-post-consumo.pdf>

INEN. (2016). *Bloques de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo* (NTE INEN 3066). https://vipresa.com.ec/wp-content/uploads/2019/02/nte_inen_3066.pdf

INFOBAE, (2019). *Plásticos*. Revista Infobae. [Fecha de consulta: abril de 2022]. Disponible en <https://www.infobae.com/america/>

Jean, R., & Pérez, J. (2003). *Capítulo 7 – Análisis, Revisión y Detallado de Estructuras de Mampostería*. Colonia Nápoles, México: Fundación ICA, A.C.

López, J., Oller, S., & Oñate, E. (1998). *Cálculo del comportamiento de la mampostería mediante elementos finitos*, Monograph CIMNE, M46 URL https://www.scipedia.com/public/Lopez_et_al_1998a

López, J., & Trejos, D. (2019). *Planteamiento y Propuesta de un ladrillo ecológico a base de PET*. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Manizales, Manizales, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/2545/4/Juan%20David%20Lopez%20Pareja.pdf>.

Mineral Products Association. (2013). *Concrete Block*. Magazine: Mineral Products Today. [Fecha de consulta: abril de 2022]. Disponible en <https://mineralproducts.org/Publications/Mineral-Products-Today.aspx>

Molina Restrepo, S.A., Vizcaíno Cagüeno, A. M., & Ramírez Santamaría, F. D. (2007). *Estudio de las características físico-mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado en el municipio de Acacías Meta*. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/284

Moya, J.C., Cevallos, E. D., & Endara, E.X. (2019). *La construcción sostenible a partir del empleo de ladrillos tipo PET*. INGENIO, 2 (1), 24-32, <https://doi.org/10.29166/ingenio.v2i1.1632>

Ojeda, J., & Mercante, I. (2020). *Reciclaje de residuos plásticos para la producción de agregados livianos*. Revista Internacional Contaminación Ambiental. 489-499. [Fecha de consulta: abril de 2022]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/353674727_RECICLAJE_DE_RESIDUOS_PLASTICOS_PARA_LA_PRODUCCION_DE_AGREGADOS_LIVIANOS

Peña, E. (2019). *Evaluación de las propiedades mecánicas del ladrillo ecológico prensado manualmente de arcilla y arcilla/plástico en albañilería confinada, Chiclayo, Lambayeque 2018*. (Tesis de pregrado). Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú. Recuperado de <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/6289>

Pérez, C., & Devia, C. (2017). *Descripción de materiales sostenibles como residuos sólidos para muros divisorios no estructurales en la ciudad de Anapoima, Cundinamarca, un caso de innovación en el área de la construcción*. (Tesis de pregrado). Universidad Piloto de Colombia, Girardot, Colombia. Recuperado de <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5568>

Pérez, H., Pimentel, K., De Meza, O., & Hernández Korner, M. (2017). *Diseño y prueba experimental de bloques ecológicos a base de materiales orgánicos e inorgánicos*. Revista de Iniciación Científica, 3, 45-55. Recuperado a partir de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1454>

Piñeros, M., & Herrera, D. (2018). *Proyecto de factibilidad económica para la fabricación bloques con agregados de plástico reciclado (PET), aplicados en la construcción de vivienda*. (Tesis de maestría). Universidad Católica de Colombia,

Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22382/1/TESIS%20BLOQUE%20PET.pdf>

Robalino, E. (2019). *La adición de botellas plásticas PET en la elaboración de bloques de adobe para viviendas unifamiliares y su efecto en la variación de temperatura y acondicionamiento acústico en el cantón Ambato provincia de Tungurahua*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30028>

Sánchez, Tomás A. (1995). *Diseño y construcción de estructuras de mampostería*. México, D.F, México.

Sierra, J. (2014). *Análisis Comparativo entre Bloques de Concreto Tradicional y Bloques de Concreto Alivianado con Poliestireno*. (Tesis de pregrado). Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2260>

The Brick Industry Association. (2006). *Brick. Read & Research*. [Fecha de consulta: abril de 2022]. Disponible en <https://www.gobrick.com/read-research>

Zhang, L. (2013). *Production of bricks from waste materials – A review*. *Construction and Building Materials*, 47, 643-655. [Fecha de consulta: abril de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.043>

Zúñiga Díaz, A. F. (2015). *Evaluación del tereftarato de polietileno (PET) como agregado en la elaboración de mortero para ladrillos y concreto*. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/533

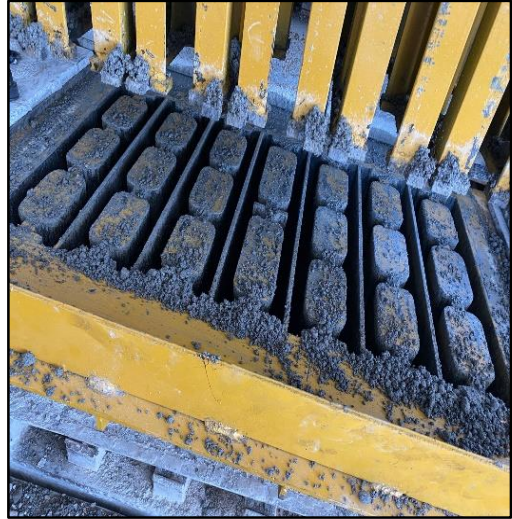
ANEXOS



Anexo 1. Vertido de Materiales para la Fabricación de los Mampuestos Tradicionales tipo Bloque.



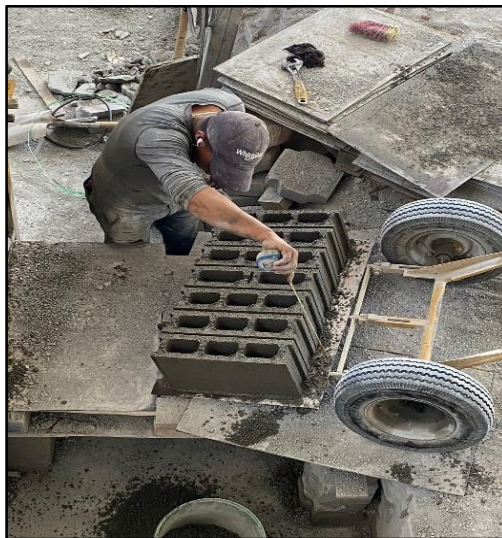
Anexo 2. Mezclado de Materiales para la Fabricación de los Mampuestos Tradicionales tipo Bloque.



Anexo 3. Moldes para la Fabricación de los Mampuestos tipo Bloque.



Anexo 4. Preparación de los Mampuestos Tradicionales tipo Bloque.



Anexo 5. Comprobación de las Dimensiones de los Mampuestos tipo Bloque.



Anexo 6. Mampuestos Tradicionales tipo Bloque.



Anexo 7. Granulometría del Tereftalato de Polietileno, (PET).



Anexo 8. Preparación de los Materiales para la Fabricación de los Mampuestos Ecológicos tipo Bloque.



Anexo 9. Vertido y Mezclado de Materiales para la Fabricación de los Mampuestos Ecológicos tipo Bloque.



Anexo 10. Mampuestos Ecológicos tipo Bloque.



Anexo 11. Resistencia a la Compresión de los Mampuestos tipo Bloque.



Anexo 12. Resistencia a la Absorción de Agua de los Mampuestos tipo Bloque.