UÍDE

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR – LOJA
FACULTAD PARA LA CIUDAD, EL PAISAJE Y LA ARQUITECTURA
TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ARQUITECTO

PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTÍCULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 5 %, 10 % Y 20 %

Autor
Jefferson Leonardo Cevallos Sigcho

Director
Arq. Fernando Moncayo Serrano, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2019

Yo, **JEFFERSON LEONARDO CEVALLOS SIGCHO,** declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y que ha sido respaldado con la respectiva bibliografía.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que el presente trabajo sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Jefferson Leonardo Cevallos Sigcho

Yo, **FERNANDO VINICIO MONCAYO SERRANO,** certifico que conozco al autor del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto en su originalidad, autenticidad, como en su contenido.

Arq. Fernando Vinicio Moncayo Serrano
DIRECTOR DE TESIS

Primeramente, agradezco a Dios por bendecirme y permitirme cumplir un sueño anhelado.

A mis padres José y Silvia, por su apoyo y confianza.

De igual manera, a la Universidad Internacional del Ecuador, a toda la Facultad de Arquitectura, a mis docentes y compañeros.

A mi director de tesis, Arq. Fernando Moncayo, quien con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación, supo guiar cada uno de los pasos de esta investigación.

Finalmente, a la Arq. Claudia Costa, Arq. Silvia Viñán, al Ing. Wilson Jaramillo y al Ing. Ramiro Jiménez por compartir sus conocimientos.

Jefferson Leonardo Cevallos Sigcho

Este logro lo dedico con cariño y amor:

A mis padres José y Silvia, por su esfuerzo, dedicación y sacrificio.

A mi compañera de vida, por su comprensión, paciencia y apoyo.

A mi hija Danna Salomé, por ser mi felicidad y motivación.

A mis hermanos y tíos.

¡Gracias!

"Creo que el material no necesita ser fuerte para construir una estructura fuerte. La fuerza de la estructura no tiene nada que ver con la fuerza del material".

Shigeru Ban

Resumen

Los envases de bebidas son polímeros no biodegradables, hechos de residuos de tereftalato de polietileno (PET), los cuales ocasionan arduos problemas ambientales, así mismo la sobreexplotación de materiales pétreos en la industria de la construcción, por lo tanto, una opción es reciclar el material plástico mediante un proceso mecánico para obtener partículas de polímeros PET y reemplazar la arena natural para lograr un prototipo de mortero de revestimiento. En investigaciones análogas reemplazan las partículas de polímeros PET en porcentajes de 1 %, 2 % y 10 %, sin embargo, en esta investigación se optó por reemplazar el árido fino por las partículas de polímeros PET en porcentajes de 5 %, 10 % y 20 % con relación al peso en el mortero de revestimiento, con la finalidad de constatar resultados. Por lo tanto, se aplicó un método científico de enfoque cuantitativo mediante un proceso experimental, ya que las muestras se sometieron a pruebas de resistencia a comprensión y flexión, además se realizó la absorción de agua y coeficiente de permeabilidad, se calculó la porosidad y el porcentaje idóneo de PET. Los resultados obtenidos muestran mayor resistencia a la comprensión y flexión en los morteros con 5 % y 10 % de partículas de polímeros PET, el valor máximo alcanzado es de 83,62 kg/cm^2 y 75,12 kg/cm^2 y 108,26 kg/cm^2 y 78,93 kg/cm^2, respectivamente. Además, se convierten en un mortero impermeable porque su coeficiente de permeabilidad y absorción de agua en las probetas de 5 % y 10 % es menor, obteniendo los resultados siguientes 4,47E-11 cm/s y 4,35E-11 cm/s y 8,30 % y 7,44 %, correspondientemente, siendo así un mortero con menor porosidad comparado con el mortero convencional. Finalmente, se observó mediante un microscopio electrónico la probeta con el 10 % de PET, donde se determinó buena adherencia de las partículas con el mortero, por lo tanto, fue aplicado en obra donde se obtuvieron resultados de mejor acabado, rendimiento y trabajabilidad aparte de evitar fisuras en las paredes.

Palabras clave: resistencia, permeabilidad, reciclaje, árido fino, partículas/PET y mortero/PET.

Abstract

Beverage containers are non-biodegradable polymers, made from residues of polyethylene terephthalate (PET) which cause arduous environmental problems, as well as overexploitation of stone materials in the construction industry, therefore, one option is to recycle the material plastic through a mechanical process to obtain particles of PET polymers and replace natural sand to achieve a prototype coating mortar. In analogous investigations they replace the particles of PET polymers in percentages of 1%, 2% and 10%, however, in this investigation it was decided to replace the fine aggregate with the particles of PET polymers in percentages of 5%, 10% and 20% in relation to the weight in the coating mortar, with the proposal to verify results. Therefore, a scientific method of quantitative approach was applied, through an experimental process, since the samples were subjected to tests of resistance to understanding and flexion, in addition the water absorption and the permeability coefficient were performed, calculated the porosity and the ideal percentage of PET. The results detected greater resistance to understanding and bending in mortars with 5% and 10% of PET polymer particles, the maximum improved value is (83.62 kg/cm^2 and 75.12 kg/cm^2) and (108.26 kg/cm^2 and 78.93 kg/cm^2) respectively. In addition, it becomes an impermeable mortar because its coefficient of permeability and water absorption in the probes of 5% and 10% is lower, obtaining the following results (4.47E-11 cm/s and 4.35E-11 cm/s) and (8.30% and 7.44%) correspondingly, thus being a mortar with lower porosity compared to conventional mortar. Finally, the probe with 10% PET was performed by an electron microscope, where the good adhesion of the particles with the mortar was determined, therefore, it was applied in the work where results of better finish, performance and workability were obtained apart from avoiding damage to the walls.

Keywords: resistance, permeability, recycling, fine aggregate, particles/PET and mortar/PET.

"PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTÍCULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 5 %, 10 % Y 20 %"

Resumen....vi
Abstract....vii
Índice de imágenes....xi
Índice de ilustraciones....xii
Índice de gráficas....xiii
Índice de tablas....xiv
Índice de anexos....xvi

Capítulo 1....1
1. Plan de Investigación....1
1.1. Tema de investigación....1
1.2. Planteamiento y formulación del problema....1
1.3. Justificación....3
1.4. Objetivos....4
1.4.1. Objetivo general....4
1.4.2. Objetivos específicos....4
1.5. Hipótesis....4
1.6. Metodología de la investigación....5

Capítulo 2....7
2. Marco teórico, Estado del arte y Marco Normativo....7
2.1. Tereftalato de polietileno (PET)....7
2.1.1. Características del PET....8
2.1.2. Propiedades del PET....9
2.1.3. Obtención del PET....11
2.1.4. Reciclaje del PET....11
2.1.5. Tipos de reciclaje del PET....12
2.1.6. El PET en la construcción....14
2.2. Mortero de cemento....15
2.2.1. Propiedades del mortero de cemento....16
2.2.2. Tipos de morteros según NTE INEN....17

2.2.3. Clasificación de los morteros 18
2.2.4. Componentes para morteros, requisitos 22
2.3. Estado del arte 25
2.4. Marco normativo 32

Capítulo 3 33
3. Materiales y métodos 33
3.1. Procedimiento para la elaboración del mortero de revestimiento, mediante el reemplazo del árido fino por partículas de polímeros PET 33
3.2. Materiales utilizados en la propuesta de mortero de revestimiento, mediante el reemplazo del árido fino por partículas de polímeros PET 34
3.2.1. Envases de botellas plásticas tipo PET 34
3.2.2. Obtención de partículas de polímeros PET 37
3.2.3. Agregado natural. Arena 38
3.2.4. Cemento hidráulico tipo GU 39
3.2.5. Agua potable 39
3.3. Métodos utilizados en la propuesta del mortero de revestimiento, mediante el reemplazo del árido fino por partículas de polímeros PET 39
3.3.1. Diseño de mezclas 40
3.3.2. Descripción de ensayos para realizar la propuesta de mortero de revestimiento 41
3.3.3. Matriz para corroborar los resultados obtenidos en los ensayos 45

Capítulo 4 46
4. Diseño experimental del mortero de revestimiento 46
4.1. Metodología para el diseño experimental del mortero de revestimiento 46
4.2. Ensayos previos para la elaboración del mortero de revestimiento 47
4.3. Diseño de mezcla para mortero base y mortero PET en porcentajes del 5 %, 10% y 20 %, con relación al peso del árido fino 50
4.3.1. Dosificación para mortero base 51
4.3.2. Dosificación para mortero con 5 % de partículas de polímeros PET 53
4.3.3. Dosificación para mortero con 10 % de partículas de polímeros PET 54
4.3.4. Dosificación para mortero con 20 % de partículas de polímeros PET 55
4.4. Elaboración de probetas para la dosificación de materiales en nueve probetas 55
4.4.1. Elaboración de nueve probetas cúbicas de 50mm de arista, para el ensayo de resistencia a la compresión y absorción de agua 56
4.4.2. Elaboración de nueve probetas tipo prismas de 40x40x160mm, para el ensayo de resistencia a la flexión 57

4.4.3. Elaboración de nueve probetas cilíndricas de Ø 10 de diámetro, para el ensayo de coeficiente de permeabilidad. 58
4.5. Fase experimental de ensayos en estado endurecido 59
4.5.1. Ensayo de resistencia a la comprensión 59
4.5.2. Ensayo de resistencia a la flexión 62
4.5.3. Ensayo determinación de absorción de agua 64
4.5.4. Ensayo determinación del coeficiente de permeabilidad 65
4.5.5. Ensayo de mortero colocado en obra 67
4.6. Análisis de mortero con 10% de partículas de polímeros PET, en microscopio estéreo 67

Capítulo 5 70
5. Resultados y Discusión de resultados 70
5.1. Resultados 70
5.1.1. Resultados de resistencia a la compresión 70
5.1.2. Resultados de resistencia a la flexión 71
5.1.3. Resultados de absorción de agua 72
5.1.4. Resultados del coeficiente de permeabilidad 72
5.1.5. Resultados de mortero puesto en obra 73
5.2. Discusión de resultados 75
5.2.1. Discusión de resultados de resistencia con relación al porcentaje de PET 75
5.2.2. Discusión de resultados de absorción de agua, coeficiente de permeabilidad y porosidad 75
5.2.3. Discusión de resultados con investigaciones análogas al tema de estudio 77
5.2.4. Comparación de precio con mortero que contiene partículas de polímeros 78
6. Conclusiones 80
7. Recomendaciones 82
8. Bibliografía 83
9. Anexos 86

Índice de imágenes

Imagen 1. Fórmula del PET 7
Imagen 2. Reciclado mecánico 12
Imagen 3. Reciclado químico 13
Imagen 4. Reciclado energético 13
Imagen 5. EcoArk 14
Imagen 6. Composición del mortero 16
Imagen 7. Componentes del envase plástico tipo PET 37
Imagen 8. Centro de acopio de materiales pétreos Loja, Ecuador 38
Imagen 9. Máquina de comprensión triaxial 42
Imagen 10. Máquina de flexión.Versa Tester 43
Imagen 11. Absorción de agua 43
Imagen 12. Coeficiente de permeabilidad 44
Imagen 13. Revestimiento de pared con mortero 45
Imagen 14. Ensayo de análisis granulométrico 47
Imagen 15. Análisis del contenido de humedad en la arena 48
Imagen 16. Ensayo de análisis de la fluidez en morteros 49
Imagen 17. Fase experimental del diseño de mezcla para mortero de cemento 51
Imagen 18. Probetas bajo NTE INEN 488, para ensayo de resistencia a la comprensión 56
Imagen 19. Probetas bajo NTE INEN 198, para ensayo de resistencia a la flexión 57
Imagen 20. Probetas bajo norma ASTM D2434, para ensayo de coeficiente de permeabilidad 59
Imagen 21. Falla de rotura de resistencia a la compresión 61
Imagen 22. Falla de rotura de resistencia a la flexión 63
Imagen 23. Determinación de absorción de agua 65
Imagen 24. Determinación del coeficiente de permeabilidad 66
Imagen 25. Microscopio estéreo 68
Imagen 26. Análisis de partículas de polímeros PET 68
Imagen 27. Análisis de mortero con 10 % de partículas de polímeros PET 69
Imagen 28. Resultado de mortero aplicado en obra sin partículas de polímeros PET 74
Imagen 29. Resultado de mortero aplicado en obra con 10 % de partículas de polímeros PET 74

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Esquema de metodología aplicada.....5
Ilustración 2. Esquema para obtener envases PET 11
Ilustración 3. Esquema de reciclaje en Loja, Ecuador.....35
Ilustración 4. Esquema de reciclaje del PET en Loja, Ecuador.....36
Ilustración 5. Esquema del proceso de obtención de partículas de polímeros PET.....38
Ilustración 6. Esquema de metodología aplicada en el diseño experimental.....46
Ilustración 7. Esquema de fluidez en morteros de cemento.....50
Ilustración 8. Esquema del proceso para realizar el ensayo de resistencia a la comprensión..60
Ilustración 9. Esquema del proceso de rotura de resistencia a la comprensión 61
Ilustración 10. Esquema del proceso para realizar ensayo de resistencia a la flexión.....62
Ilustración 11. Esquema del proceso de rotura de resistencia a la flexión 63
Ilustración 12. Esquema del proceso para determinar el porcentaje de absorción de agua 64
Ilustración 13. Esquema del proceso para determinar el coeficiente de permeabilidad 66
Ilustración 14. Esquema de proceso para realizar el ensayo de mortero colocado en obra.....67

Índice de gráficas

Gráfica 1. Resultados de resistencia a la comprensión 71
Gráfica 2. Resultados de resistencia a la flexión 71
Gráfica 3. Resultados de absorción de agua 72
Gráfica 4. Resultados de coeficiente de permeabilidad 73
Gráfica 5. Análisis de resistencia con relación al porcentaje de agregado PET 75
Gráfica 6. Análisis de absorción de agua con relación al porcentaje de agregado PET 76
Gráfica 7. Análisis del coeficiente de permeabilidad con relación al porcentaje de agregado PET 76
Gráfica 8. Análisis de porosidad con relación a la permeabilidad 77
Gráfica 9. Análisis de resistencia con investigaciones similares al tema de estudio 78
Gráfica 10. Análisis de resistencia con investigaciones similares con relación al porcentaje de PET 78

Índice de tablas

Tabla 1. Minerales explotados 2
Tabla 2. Clasificación de polímeros termoplásticos 7
Tabla 3. Característica del PET 8
Tabla 4. Datos técnicos del PET 9
Tabla 5. Propiedades del PET 10
Tabla 6. Propiedades del mortero en estado fresco 16
Tabla 7. Propiedades del mortero en estado endurecido 17
Tabla 8. Tipos de morteros según NTE INEN 2518:2010 18
Tabla 9. Morteros según su composición 19
Tabla 10. Tipos de morteros según su fluidez 19
Tabla 11. Tipos de morteros según su uso 20
Tabla 12. Especificaciones de morteros mediante sus dosificaciones 21
Tabla 13. Especificaciones de morteros mediante sus propiedades 21
Tabla 14. Clasificación de cementos 23
Tabla 15. Análisis granulométrico del árido para el uso de morteros 24
Tabla 16. Especificaciones de límites para análisis de agua para obras con hormigón en masa y armado 25
Tabla 17. Morteros a base de fibras PET 26
Tabla 18. Síntesis del estado del arte 31
Tabla 19. Normas técnicas de la construcción 32
Tabla 20. Centros de acopio de polímeros en Loja, Ecuador 36
Tabla 21. Ensayos previos al diseño de mezcla 40
Tabla 22. Relación agua/cemento para morteros según norma ISO y ASTM 41
Tabla 23. Ensayos para determinar la resistencia, absorción de agua y coeficiente de permeabilidad en morteros de revestimiento 42
Tabla 24. Matriz para corroborar resultados de ensayos 45
Tabla 25. Determinación del módulo de finura de la arena y PET 47
Tabla 26. Análisis del contenido de humedad en la arena 48
Tabla 27. Determinación de la fluidez en morteros de cemento 49
Tabla 28. Datos para dosificación del mortero base 52
Tabla 29. Datos para dosificación de mortero con 5% de PET 54

Tabla 30. Datos para dosificación de mortero con 10% de PET 55
Tabla 31. Datos para dosificación de mortero con 20% de PET 55
Tabla 32. Resultados obtenidos para dosificación de 9 probetas cúbicas de 50mm de arista .56
Tabla 33. Resultados obtenidos para dosificación de 9 probetas tipo prismas de 40x40x160mm 57
Tabla 34. Resultados obtenidos para dosificación de 9 probetas de Ø 10 de diámetro.....58
Tabla 35. Análisis de precios con mortero similar al propuesto en esta investigación 79

Índice de anexos

Anexo 1. Análisis granulométrico de la arena 86
Anexo 2. Análisis granulométrico del PET 87
Anexo 3. Análisis granulométrico de la arena + 5% de PET 88
Anexo 4. Análisis granulométrico de la arena + 10% de PET 89
Anexo 5. Análisis granulométrico de la arena + 20% de PET 90
Anexo 6. Análisis del contenido de humedad de la arena 91
Anexo 7. Análisis del contenido de cemento para morteros 92
Anexo 8. Análisis de la relación agua/cemento para morteros 93
Anexo 9. Resultados de resistencia a la comprensión en mortero base 94
Anexo 10. Resultados de resistencia a la comprensión en mortero con 5% de PET 95
Anexo 11. Resultados de resistencia a la comprensión en mortero con 10% de PET 96
Anexo 12. Resultados de resistencia a la comprensión en mortero con 20% de PET 97
Anexo 13. Resultados de resistencia a la flexión en mortero base 98
Anexo 14. Resultados de resistencia a la flexión en mortero con 5% de PET 99
Anexo 15. Resultados de resistencia a la flexión en mortero con 10% de PET 100
Anexo 16. Resultados de resistencia a la flexión en mortero con 20% de PET 101
Anexo 17. Resultados de absorción de agua en mortero base 102
Anexo 18. Resultados de absorción de agua en mortero con 5% de PET 103
Anexo 19. Resultados de absorción de agua en mortero con 10% de PET 104
Anexo 20. Resultados de absorción de agua en mortero con 20% de PET 105
Anexo 21. Resultados de coeficiente de permeabilidad en mortero base 106
Anexo 22. Resultados de coeficiente de permeabilidad en mortero con 5% de PET 107
Anexo 23. Resultados de coeficiente de permeabilidad en mortero con 10% de PET 108
Anexo 24.Resultados de coeficiente de permeabilidad en mortero con 20% de PET 109
Anexo 25. Certificado de ensayos en laboratorio GEOCONS 110

Capítulo 1

1. Plan de Investigación

1.1.Tema de investigación

Propuesta de mortero para revestimiento, mediante el reemplazo del árido fino por partículas de polímeros reciclado tipo PET, en porcentajes del 5 %, 10 % y 20 %.

1.2.Planteamiento y formulación del problema

Los residuos plásticos, por lo general, son considerados no peligrosos y por eso causan problemas ambientales, que suelen pasar desapercibidos porque tardan entre 100 a 1000 años en degradarse dependiendo del tipo de plástico (Maldonado, 2012). El Tereftalato de polietileno (PET) es uno de los plásticos más utilizados en el mundo en envases de bebidas y otros productos; además, la producción mundial de PET muestra un aumento sustancial en el mercado asiático y supera los 6,7 millones de toneladas por año (Al-Tulaian, Al-Shannag, & Al-Hozaimy, 2016). Así mismo, se desecharon 6 mil millones de botellas de PET de Beijing, China, que produjo 150 mil toneladas de PET residual en 2009 y, según la Asociación Nacional para los Recursos de Contenedores de PET (NAPCOR), en los Estados Unidos había 5.6 mil millones de libras de botellas de PET disponibles para reciclaje en 2012 (Ge, Huang, Sun, & Gao, 2014). Por otra parte, en el Ecuador, según el Ministerio del Ambiente (MAE), a través del Programa Nacional de Desechos Sólidos, se informa que en el 2012 se produjeron 1406 millones de botellas, de las cuales se lograron recuperar 511 millones de los embotelladores y 625 millones de los centros de acopio y recicladores, logrando una recolección total de 1136 millones de PET, es decir la recolección de botellas ha crecido notablemente. En el 2011, la recolección fue del 30 % y en el año pasado incrementó un 80 %, sin embargo, el PET puede ocasionar problemas ambientales y económicos si no se desecha adecuadamente, ya que el costo de la eliminación de desechos sólidos está aumentando y las áreas de relleno están disminuyendo significativamente, el reciclaje sería la mejor opción para transformar los desechos en productos útiles (Al-Tulaian et al., 2016). No obstante, en los últimos años se han llevado a cabo estudios para convertir los desechos de PET en materiales de construcción, porque hay tres formas principales de reciclar botellas de PET como materiales de construcción, incluida la despolimerización de botellas de PET en resina de poliéster insaturada, el uso de fibra de PET como refuerzo de hormigón y el reemplazo de agregados parciales por PET desechos (Ge et al., 2014).

Por otra parte, la demanda de arena crece sin cesar porque es la materia prima más utilizada a nivel mundial en la industria de la construcción, considerando que "el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) descubrió que del 2011 al 2013, solo China usó más hormigón de lo que Estados Unidos había utilizado en todo el siglo XX" (Thorns, 2018). Entre 1900 y 2010, el volumen global de recursos naturales utilizados en edificios e infraestructura de transporte se multiplico por 23, ya que la arena y la grava son la porción más grande de estos insumos de material primario (79 % por año en 2010) y son el grupo de materiales más extraídos del mundo, superando los combustibles fósiles y la biomasa. Como resultado, la escasez de arena es un problema emergente, con importantes implicaciones sociopolíticas, económicas y ambientales (Torres, Brandt, Lear, & Liu, 2017).

Así mismo, la Constitución de la República del Ecuador en su artículo 264 numerales 10, 11 y 12 dispone que los gobiernos municipales tendrán la competencia exclusiva de: "Delimitar, regular, autorizar y controlar la explotación de materiales áridos y pétreos que se encuentren en los lechos de los ríos, lagos, playas de mar y canteras". En el cantón Loja existen 123 concesiones mineras, entre los minerales que se extraen tenemos: minerales metálicos, no metálicos y materiales de construcción, así mismo, se dice que tienen un control inadecuado de recursos naturales no renovables (materiales pétreos), el cual se ve reflejado en concesiones que se encuentran explotando dicho material cerca de áreas protegidas, como es el caso de "Parque Nacional Yacuri"; dentro de los materiales de construcción existen 89 concesiones con un área de 2837.61 ha, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Minerales explotados

Minerales	N° concesiones	Área (ha)	Parroquias
Minerales metálicos	18	8461,84	Gualel, Chuquiribamba, cantaco, Taquil, Malacatos, San Pedro de Vilcabamba, Quinara, Yangana y Loja
Materiales de construcción	89	2837,61	Santiago, San Lucas, Jimbilla, El Cisne, Chuquiribamba, Gualel, Chantaco, Taquil, Malacatos, San Pedro de Vilcabamba, Vilcabamba, Quinara, Yangana y Loja
Minerales no metálicos	16	524,00	Taquil, Malacatos, Yangana y Loja
Total	123	11823,45	

Fuente: Agencia de Regulación y Control Minero, 2018 (ARCOM)
Elaborado por: El autor

1.3.Justificación

Por lo expuesto, es importante realizar proyectos de investigación para reducir el problema ambiental que provocan los residuos plásticos y la sobreexplotación de materiales pétreos, por lo tanto, la industria de la construcción reconoció la importancia de encontrar formas efectivas para reutilizar los desechos de botellas de PET y mejorar la tasa de reciclaje que se está volviendo muy importante para la sostenibilidad ambiental (Ge et al., 2014). Con este fin, se han realizado varios estudios para incorporar el plástico en los procesos de construcción, uno de los métodos es la sustitución de agregados naturales por agregados plásticos reciclados en materiales cementosos (morteros u hormigón), pero su aplicación tiene implicaciones directas en el rendimiento del concreto o los morteros, según el tipo de plástico utilizado y la característica que se evalúa. Los estudios anteriores sobre el uso de agregados de plástico reciclado se han centrado principalmente en el hormigón y la literatura es escasa sobre las aplicaciones de los morteros (Farinha, de Brito, & Veiga, 2015).

El Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE) tiene en mano el proyecto que se ha puesto en marcha “Ecuador Recicla”, con el fin de propiciar el cuidado ambiental e incrementar la taza de reciclaje, es decir, la demanda de arena continúa sin disminuir, y por tal motivo un equipo de investigación, que cuenta con la participación del Museo Nacional de Ciencias Naturales, propone medidas para frenar el impacto que produce la sobreexplotación de esta materia prima (Torres et al., 2017). Además, se estima que para el 2020 en países como Vietnam puede llegar agotarse dicho material, por su uso exagerado que se le está dando en la industria de la construcción, según informa el Ministerio de Construcción del país (Thorns, 2018). Por esta razón, la presente investigación está destinada a la elaboración de un nuevo mortero cuyo objetivo es utilizar polímeros de plástico PET en remplazo del árido fino que normalmente se utiliza en nuestro medio para la construcción, y de esta forma disminuir el consumo de la materia prima “arena”, que se está generando en los últimos diez años.

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Proponer un mortero de revestimiento, mediante el reemplazo del árido fino por partículas de polímeros reciclado tipo PET, en porcentajes del 5 %, 10 % y 20 % con el fin de aumentar su resistencia y disminuir el árido fino en la industria de la construcción.

1.4.2. Objetivos específicos

- Estudiar las propiedades y características de las partículas de polímeros PET, para la obtención de mortero de revestimiento.

- Comparar mortero base con mortero de partículas de polímeros PET, para obtener el diseño de mezcla.

- Realizar ensayos físicos y mecánicos para determinar la resistencia establecida por la norma ecuatoriana NTE INEN 2518

- Elaborar el mortero para revestimiento a base de partículas de polímeros PET

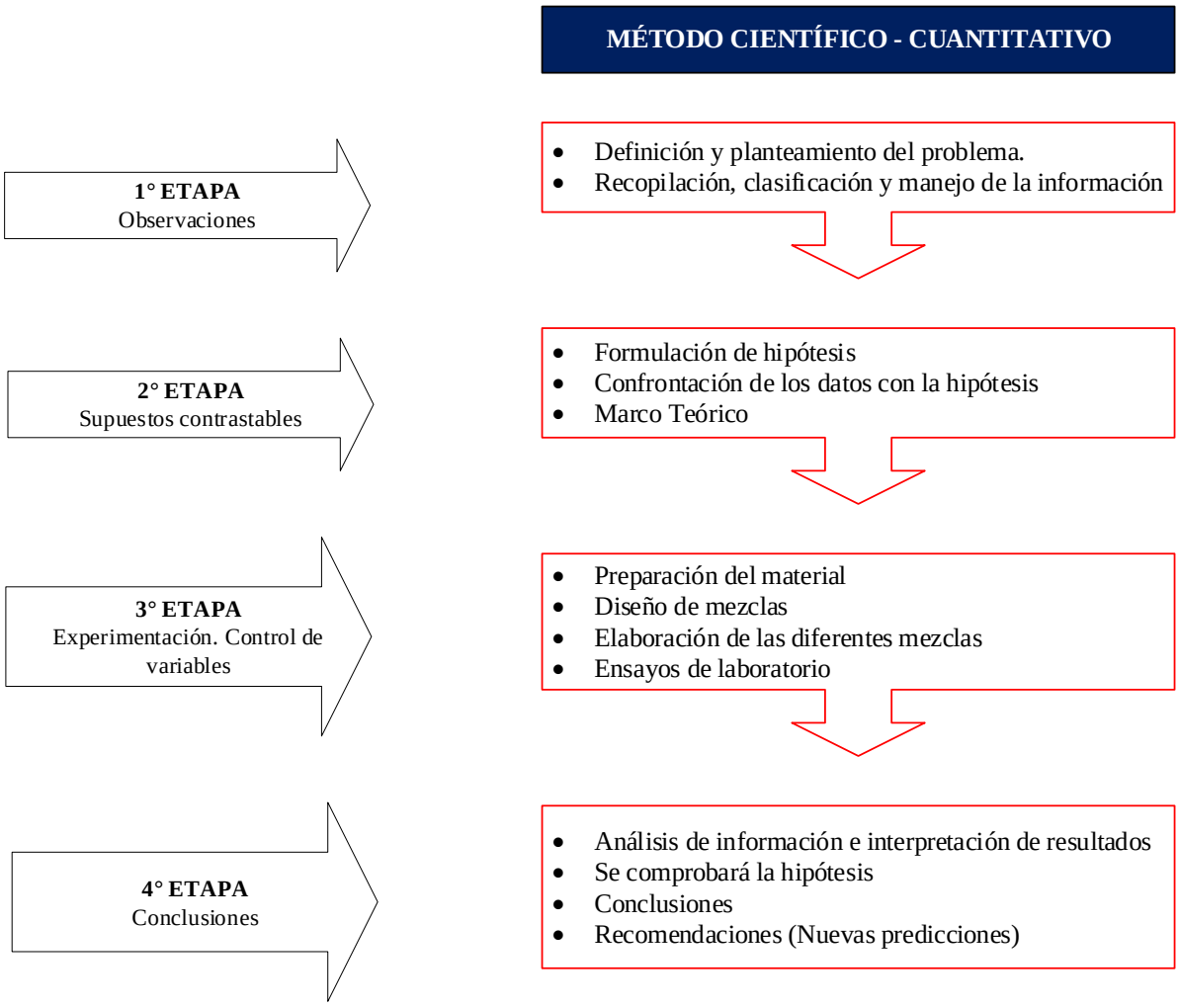
1.5.Hipótesis

La elaboración de mortero de revestimiento con agregado de partículas de polímeros PET, en reemplazo del árido fino en porcentajes de 5 %, 10 % y 20 %, permite aumentar la resistencia.

1.6.Metodología de la investigación

La metodología que se plantea para el siguiente trabajo de investigación se basa en un método científico – cuantitativo, ya que se analizará y comprobará información y datos, para lo cual se realizará la experimentación en laboratorio, con el fin de solucionar la problemática planteada y alcanzar los objetivos tanto generales como específicos (ver Ilustración 1).

Ilustración 1. Esquema de metodología aplicada



Fuente: La investigación científica, (Bunge, 2004).

Elaborado por: El autor

Primera etapa (Observación). Para realizar la investigación en esta etapa se recopilo información para lograr obtener una matriz y de esta manera explorar la bibliografía y plantear la problemática. Así mismo, poder determinar el estado del arte con investigaciones análogas a la planteada y además revisar la metodología experimental y los resultados obtenidos. Con ello se puede determinar o anticipar a obtener una hipótesis más clara.

Segunda etapa (Supuestos contrastables). En esta etapa se determina la hipótesis acercándose a la certeza, con la finalidad de realizar la investigación y deducir la hipótesis planteada; para ello es de importancia el estado de arte para determinar los resultados obtenidos en las investigaciones análogas. Así mismo el estado de arte es la guía principal para preparar el marco teórico de la investigación a realizar.

Tercera etapa (Experimentación). La tercera etapa contará en su totalidad de experimentos, ya que se estudiará el material pétreo, el cemento y los polímeros PET, y de esta manera poder obtener el diseño de la mezcla para el mortero a base de partículas de polímeros PET. Una vez determinado la dosificación, se designará el agregado de las partículas de polímeros PET en sustitución del agregado fino (arena), esto se realizará mediante normativas. Finalmente, se realizarán las pruebas de resistencia con la dosificación obtenida para poder evaluar el comportamiento de esta mezcla de materiales.

Cuarta etapa (Conclusiones). La última etapa será análisis de los resultados obtenidos mediante la experimentación de laboratorio y de esta manera realizar las conclusiones acerca de la resistencia obtenida mediante la normativa que se establezca; posteriormente, se comprobará con los datos obtenidos si la hipótesis llega a ser positiva o negativa. Además, se verificará el cumplimiento de los objetivos planteados tanto general como específicos, se enunciarán conclusiones del proyecto, y recomendaciones para futuras investigaciones.

Capítulo 2

2. Marco teórico, Estado del arte y Marco Normativo

2.1.Tereftalato de polietileno (PET)

El PET es un polímero termoplástico extremadamente duro, conocido mundialmente por sus siglas en inglés PET, fue descubierto en 1941 por los científicos John Rex Whilfeld y James Tennant Dickson, (Martínez Barrera, Hernández Zaragoza, López Lara, & Memchaca Campos, 2015), y se lo identifica según SPI (Sociedad de Industrias de Plástico) por el número uno o las siglas PET o PETE, (ver Tabla 2). Este material comenzó su producción a partir de 1955 y desde entonces ha tenido un avance tecnológico, con la finalidad de ser utilizado en la fabricación de fibras, películas, empaques, envases, botellas y otras aplicaciones de carácter técnico (Flores Fernandéz, 2014).

Tabla 2. Clasificación de polímeros termoplásticos

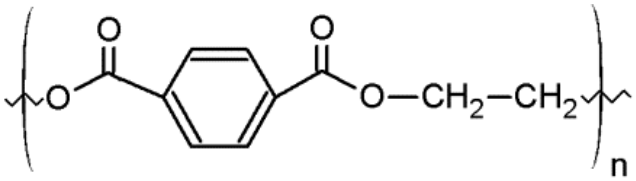
Sistema de identificación de envases y empaques						
Tereftalato de Polietileno PET	Polietileno de alta densidad PEAD	Policloruro de vinilo PVC	Polietileno de baja densidad PEBD	Polipropileno PP	Poliestireno PS	Otros
1	2	3	4	5	6	7

Fuente: Sociedad de Industrias de Plástico, 2015 (SPI)
Elaborado por: El autor

Según Cornish Álvarez (1997), el plástico PET al ser termoplástico contiene moléculas, es decir cuando el material se calienta sus relaciones intermoleculares se debilitan y se vuelve más frágil, y cuando se enfría vuelve a su estado normal, es por ello por lo que el material no se descompone y puede ser reutilizado.

Ahora bien, químicamente el PET pertenece a la familia poliéster, donde su característica es la presencia de ácido tereftálico y el etilenglicol (Martínez Barrera et al., 2015).

Imagen 1. Fórmula del PET



Fuente y Elaborado por: Materiales sustentables y reciclados en la construcción, (Martínez Barrera et al., 2015).

2.1.1. Características del PET

El polímero PET es de origen no natural, ya que es un material reciclado. A continuación, se elaborará una caracterización que permitirá conocer las propiedades del PET para la elaboración de mortero de revestimiento con partículas de polímeros PET.

Tabla 3. Característica del PET

Características del PET	
Biorientación	• Permite lograr propiedades mecánicas y de barrera con optimización de espesores.
Cristalización	• Permite lograr resistencia térmica para utilizar bandejas termoformadas en hornos a elevadas temperaturas de cocción. • Cristalina y transparencia, aunque admite cargos de colorantes.
Esterilización	• El PET resiste esterilización química con óxido de etileno y radiación gamma.
Punto de fusión	• Buenas propiedades térmicas 252 – 260 °C.
Alternativas ecológicas	• Retornabilidad, reusó de molienda, fibras, polioles para poliuretanos, poliésteres no saturados, envases no alimenticios, alcohólisis / metanólisis, incineración. • Totalmente reciclable.
Buena resistencia a:	• Grasas y aceites presentes en alimentos, soluciones diluidas de ácidos minerales, álcalis, sales jabones, hidrocarburos alifáticos y alcoholes. • Alta resistencia química. • Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes.
Poca resistencia a:	• Solventes halogenados, aromáticos, cetonas de bajo peso molecular y bases. • Muy buena barrera a CO_2, aceptable barrera a O_2 y humedad.
Otras…	• Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimenticios. • Alta rigidez y dureza. • Altísima resistencia a los esfuerzos permanentes. • Superficies barnizables. • Gran indeformabilidad al calor. • Muy buenas características eléctricas y dieléctricas. • Alta resistencia a los agentes químicos y estabilidad a la intemperie. • Alta resistencia al plegado y baja absorción de humedad que lo hacen muy adecuado para la fabricación de fibras.

Fuente: Industria del Plástico. Richardson & Lokensgard|| A.K. vam der Vegt & L.E. Govaert, Polymeren, van keten tot kunstof.
Elaborado por: El autor

Tabla 4. Datos técnicos del PET

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm^3	1.34 – 1.39
Resistencia a la tensión	MPa	59 – 72
Resistencia a la comprensión	MPa	76 – 128
Resistencia al impacto, izod	J/mm	0.01 – 0.04
Dureza	--	Rockwell M94 – M101
Dilatación térmica	10^{-4}/ °C	15.2 – 24
Resistencia al calor	°C	80 – 120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 – 15750
Constante dieléctrica (60 hz)	--	3.35
Absorción de agua (24 h)	%	0.02
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
Efecto luz solar	--	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	--	Excelente
Calidad óptica	--	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 – 254

Fuente: Industria del Plástico. Richardson & Lokensgard|| A.K. vam der Vegt & L.E. Govaert, Polymeren, van keten tot kunstof.
Elaborado por: El autor

Como se puede observar, según las características presentes, el polímero PET es un material totalmente reciclable, y cabe destacar que según un estudio realizado en la universidad de Argentina el polímero PET se lo establece como un elemento favorable por las propiedades que presenta, el cual puede ser utilizado como una alternativa para materiales de construcción.

2.1.2. Propiedades del PET

Como todo material, contiene ciertas propiedades tanto físicas, mecánicas, químicas u otras, el polímero PET también contiene ciertas propiedades que se muestran en la Tabla 5; cabe mencionar que el polímero PET, en el estudio realizado anteriormente, se caracteriza por una elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. Así mismo, se define que el Tereftalato de Polietileno es resistente al calor y absorbe poca cantidad de agua, además resiste al ataque de polillas, bacterias y hongos (Martínez Barrera et al., 2015).

Tabla 5. Propiedades del PET

Tereftalato de polietileno (PET)				
Propiedades mecánicas a 23°c	**Unidad**	**ASTM**	**DIN**	**Valores**
Peso especifico	gr/cm^3	D-792	53479	1.39
Resistencia a la tracción (fluencia / rotura)	Kg/cm^2	D-638	53455	900 / --
Resistencia a la comprensión (1 y 2 % def)	Kg/cm^2	D-695	53454	260 / 480
Resistencia a la flexión	Kg/cm^2	D-790	53452	1450
Resistencia al choque sin entalla	$Kg\ cm/cm^2$	D-256	53453	> 50
Alargamiento a la rotura	%	D-638	53455	15
Módulo de elasticidad (tracción)	Kg/cm^2	D-638	53457	37000
Dureza	Shore D	D-2240	53505	85 – 87
Coeficiente de roce estático s/acero		D-1894		--
Coeficiente de roce dinámico s/acero		D-1894		0.20
Resistencia al desgate por roce				MUY BUENA
Propiedades térmicas	**Unidad**	**ASTM**	**DIN**	**Valores**
Calor especifico	Kcal/kg.°C	C-351		0.25
Temperatura de flexión b/carga (18.5 kg/cm^2)	°C	D-648	53461	75
Temperatura de uso continuo en aire	°C			-20 a 110
Temperatura de fusión	°C			255
Coeficiente de dilatación lineal de 23 a 100°c	Por °C	D-696	52752	0.00008
Coeficiente de conducción térmica	Kcal/m.h.°C	C-177	52612	0.25
Propiedades eléctricas	**Unidad**	**ASTM**	**DIN**	**Valores**
Constante dieléctrica a 60 Hz		D-150	53483	3.4
Constante dieléctrica a 1 KHz		D-150	53483	3.3
Constante dieléctrica a 1 MHz		D-150	53483	3.2
Absorción de humedad al aire	%	D-570	53472	0.25
Resistencia superficial	Ohm	D-257	53482	> 10 a la 14
Resistencia volumétrica	Ohms – cm	D-257	53482	>10 a la 15
Rigidez dieléctrica	Kw/mm	D-149		22
Propiedades químicas			**Observaciones**	
Resistencia a hidrocarburos			Buena	
Resistencia a acido débiles a temperatura ambiente			Buena	
Resistencia a álcalis débiles a temperatura ambiente			Buena	
Resistencia a productos químicos definidos			Consultar	
Efecto de los rayos solares			Algo lo afectan	
Aprobado para contacto con alimentos			Si	
Comportamiento a la combustión			Arde con mediana dificultad	
Propagación de llama			Mantiene la llama	
Comportamiento al quemarlo			Gotea	
Color de la llama			Amarillo anaranjado tiznado	
Olor al quemarlo			Aromático dulce	

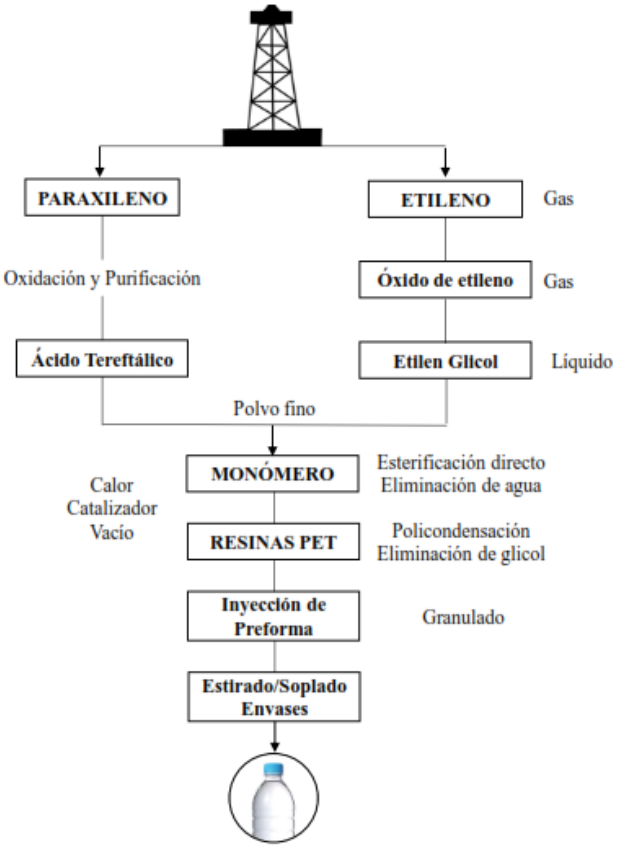
Fuente: http://www.jq.com.ar/imagenes/productos/pet/dtecnicos/dtecnicos.htm
Elaborado por: El autor

En general, las propiedades del polímero PET hacen que sea un material eficaz para la realización de aplicaciones de uso común, como es la producción de distintos tipos de envases. Además, en la industria de la construcción el polímero PET, con sus características y propiedades presentes, permite que se vaya implementando de manera positiva en el desarrollo y mejora de los materiales constructivos.

2.1.3. Obtención del PET

El polímero PET se obtiene a partir de las materias primas procedentes del petróleo: etileno y paraxileno, pues los derivados de estos compuestos (etileno glicol y ácido tereftálico) reaccionan a temperatura y presión elevadas para obtener la resina PET (Martínez Barrera et al., 2015).

Ilustración 2. Esquema para obtener envases PET



Fuente: Proceso de elaboración de envases PET. (Chi, Barrios, Montalvo, & López, 2009)
Elaborado por: El autor

2.1.4. Reciclaje del PET

El polímero PET es utilizado diariamente en envases PET, tanto a nivel local, nacional y mundial, provocando un incremento en los residuos plásticos (contenedores de basura, rellenos sanitarios, o contaminando: ríos calles, alcantarillas, mares, etc.), por tal motivo, se considera el reuso de envases PET, ya que es un material 100 % reciclable y de esta manera reintegrar nuevamente a un ciclo productivo como materia prima en el ámbito de la industria de la construcción, para reducir el impacto que provoca los residuos plásticos en el medio ambiente (Mansilla Perez, 2009).

2.1.5. Tipos de reciclaje del PET

Existen tres formas distintas de reciclaje del plástico tipo PET, entre ellas:

- **Reciclado mecánico**

Este tipo de reciclaje es el más utilizado y sencillo de realizar, los pasos que se realizan son: selección, trituración, lavado, y producto. Este proceso no presenta transformaciones químicas significativas.

Imagen 2. Reciclado mecánico

Fuente y Elaborado por: Proceso de elaboración de envases PET. *(Chi et al., 2009)*

El reciclado mecánico se divide en:

Primario: el reciclado debe convertirse un material nuevo con las propiedades fisicoquímicas semejantes al producto inicial.

Secundario: el reciclado se convierte en nuevo producto con una calidad inferior a la original.

- **Reciclado químico**

Este tipo de reciclaje posee mayor calidad y sofisticación, y por tal motivo se los considera de una mayor inversión económica, así mismo el reciclaje químico permite recuperar el Ácido Tereftálico y Etilenglicol del PET, con la ventaja de volver a fabricar otra vez envases de PET, este proceso no requiere de selección, ni de una previa limpieza.

En la actualidad el reciclado químico se puede dar por: hidrólisis, glicólisis, alcoholisis, aminólisis, metanólisis y la oxidación, cada uno de estos procesos dependen del reactivo que se empleen para la reacción.

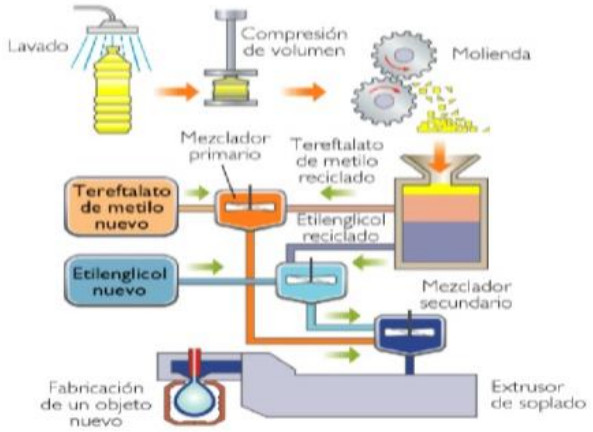
Imagen 3. Reciclado químico

Fuente y Elaborado por: Proceso de elaboración de envases PET. *(Chi et al., 2009)*

- **Reciclado energético**

Este tipo de reciclaje es el menos utilizado, ya que se realiza por medio de la combustión de los envases PET para generar energía, este proceso no provoca emisiones tóxicas, sino más bien genera bióxido de carbono y vapor de agua.

Imagen 4. Reciclado energético



Fuente y Elaborado por: Proceso de elaboración de envases PET. *(Chi et al., 2009)*

2.1.6. El PET en la construcción

Los envases PET no tienen una correcta disposición final y por ello en la actualidad, con el avance tecnológico que ha ido generando la industria de la construcción a nivel mundial, existen varias propuestas para reutilizar y reciclar el PET como una alternativa en la obra, con el fin de reducir costos y disminuir la contaminación ambiental que provocan los envases PET. Los polímeros de envases PET, por sus características y resistencia, constituyen el material más utilizado en la industria de la construcción, por lo que se logra obtener diferentes elementos constructivos seccionales, como muros, celosías y losas. Un sorprendente ejemplo es EcoArk una mega-estructura situada en Taiwán y construida con 1,5 millones de envases plásticos tipo PET reciclado.

Imagen 5. EcoArk

Fuente: Plataforma de Arquitectura. 2013
Elaborado por: José Tomás Franco (Vía Natgeo)

Algunas investigaciones mencionan el beneficio del PET en la construcción, como indican Ruiz, López, Cortes, & Froese, (2012), en su proyecto de botellas PET con relleno de tierra:

1. Duración
2. Un buen aislante térmico
3. Ahorro económico
4. Autoconstrucción

Alesmar, Rendon, & Eugenia, (2008), en su proyecto diseños de mezcla de Tereftalato de Polietileno PET – Cemento, informan que el polímero PET puede ser incorporado como

agregado, tanto para mortero como para concreto, interviniendo de forma indirecta en la disminución del impacto ambiental.

Por otra parte, la aplicación de polímeros PET en la industria de la construcción posee ciertas ventajas positivas, ya que profesionales como arquitectos, ingenieros y especialistas del sector empezaron adquirir conocimientos de las ventajas que pueden brindar los polímeros, además de conseguir un equilibrio entre las necesidades de construcción y la protección del medio ambiente (Olcoz, Montaño, & Martínez, 2002). Como resultado, se obtienen ciertas ventajas dentro de la industria de la construcción:

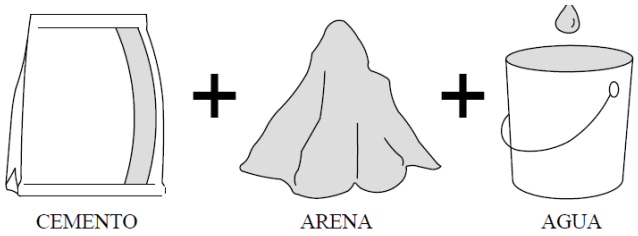
- Durables y resistentes a la corrosión, por ello se aplican en elementos que están expuestos al aire libre pudiendo durar décadas.
- Muy ligeros frente a otros materiales usados en la construcción, siendo así manejables y fáciles de transportar y almacenar.
- Tienen buena relación costo / beneficio
- La mayoría (a excepción del PVC) son respetuosos con el medio ambiente, se pueden reciclar, reutilizar o trasformar en una fuente de energía.

2.2.Mortero de cemento

El mortero básicamente es una composición de un material aglutinante (cemento portland y/o otros cementos), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y ocasionalmente aditivos (ver Imagen 2), de tal manera que al endurecerse presenta propiedades químicas, físicas y mecánicas (Salamanca, 2001). Es utilizado en la construcción para pegar piezas de mampostería de muros, o para recubrirlos, en este caso se los conoce como mortero de recubrimiento, revestimiento, pañete, repello, revoque o enfoscado.

Los **morteros de cemento** son básicamente los más utilizados hoy en día, por lo que poseen la ventaja de tener altas resistencias, una vez que haya endurecido el mortero. Los aglomerantes que se usan para este tipo de mortero normalmente son los cementos naturales o los cementos portland. La trabajabilidad de este mortero varía según la proporción (arena + cemento). Cabe destacar que al insertar material de relleno (agregado fino o arena) hay que tener presente la granulometría, módulo de finura y textura de las partículas, con la finalidad de obtener una masa homogénea y compacta (Guzmán, 2011).

Imagen 6. Composición del mortero



Fuente: Tecnología del concreto y el mortero (Gerardo & Rivera, 2000)
Elaborado por: El autor

2.2.1. Propiedades del mortero de cemento

Las propiedades del mortero de cemento según la NTE INEN 2518:2010, se divide en estado fresco y estado endurecido. Las propiedades en estado fresco (ver Tabla 6), determinan la facilidad de construcción, es decir facilitan su trabajabilidad y la retención de agua. Las propiedades en estado endurecido (ver Tabla 7), establecen el comportamiento final, en cuanto a su adherencia, durabilidad, elasticidad, resistencia a la comprensión – flexión – tracción.

Tabla 6. Propiedades del mortero en estado fresco

Estado	Propiedades	Observaciones
Fresco	Fluidez (Manejabilidad)	• La manejabilidad está relaciona con la consistencia de la mezcla en cuanto a blanda o seca, tal que como se encuentra en estado fresco; depende de la proporción de arena y cemento y de la forma, textura y módulo de finura de la arena. • Es la propiedad del mortero que se mide en laboratorio e indica el aumento porcentual del diámetro de un mortero confeccionado en un molde troncocónico y sometido al movimiento de una mesa vibratoria durante 15 segundos.
	Contenido del aire	• El contenido de aire la NTE INEN 2518:2010 si bien es mencionada como uno de los factores que inciden directamente sobre la trabajabilidad del mortero, no especifica con claridad el procedimiento para su medición. Por lo tanto, se tomará como referencia al ensayo de la norma AASHTO T199-82.
	Retención de agua	• La retención permite la trabajabilidad. El agua no se debe perder por evaporación o absorción de los mampuestos ya que desaparecería el estado fresco. • Este ensayo está normado por la ASTM-91 y mide la capacidad del mortero para retener el agua de la mezcla, ya que una baja retención de agua afecta directamente a la capacidad de adherencia de los mampuestos o unidades de mampostería.
	Velocidad de endurecimiento	• El endurecimiento del mortero en estado fresco está relacionado con las características de fraguado. • El tiempo de fraguado se encuentra estimado entre 2 y 24 horas de fraguado final e inicial respectivamente.

Fuente: NTE INEN 2518:2010 & Tecnología del concreto y el mortero (Guzmán, 2011).
Elaborado por: El autor

Tabla 7. Propiedades del mortero en estado endurecido

Estado	Propiedades	Observaciones
Endurecido	Resistencia a la comprensión	• La resistencia a la compresión del mortero depende significativamente del contenido de cemento y de la relación de agua – cemento. El procedimiento de laboratorio aceptado para medir la resistencia de compresión es de los cubos de mortero de 50 mm de lado.
	Resistencia a la flexión	• La norma ASTM C293/293 M-10, es la que sirve para realizar el ensayo.
	Adherencia	• Es la capacidad que tiene el mortero de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero con la estructura. • La norma ASTM C952-12, sirve para realizar los ensayos.
	Retracción (Secado)	• Se debe principalmente a reacciones químicas de hidratación de la pasta, sobre todo en pastas puras con alta relación agua – cemento.
	Absorción capilar	• La NTG 41017 h23 y la UNE-EN1015-18, son los que permite identificar el coeficiente de absorción capilar, la porosidad total y la densidad.
	Permeabilidad al vapor de agua	• La norma UNE-EN 1015-19, ayuda a identificar el paso del vapor a través de la estructura capilar del material en este caso el mortero, ayudando a su transpiración e imposibilitando la aparición de condensación en el interior.
	Módulo de deformación	• Influye en la capacidad de deformación de la pared frente a pequeñas modificaciones dimensionales.
	Extensibilidad	• Capacidad de una mampostería de resistir la penetración del agua

Fuente: NTE INEN 2518:2010 & Tecnología del concreto y el mortero (Guzmán, 2011).
Elaborado por: El autor

2.2.2. Tipos de morteros según NTE INEN

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2518:2010, así como la ASTM les asignan una letra a los morteros según sus propiedades y usos, con la única finalidad de identificarlos. Según la norma existen cinco tipos de morteros, con un orden descendiente en cuanto a su resistencia M, S, N, O y K (ver Tabla 8), estas letras se descifran por la palabra en ingles MASON WORK, que significa “trabajo de albañilería”.

Tabla 8. Tipos de morteros según NTE INEN 2518:2010

Tipo de mortero	Características
M	• Es una mezcla de alta resistencia • Ofrece más durabilidad que otros morteros • Se recomienda para mampostería reforzada, pero sometida a grandes cargas de compresión para cuando se prevea congelamiento, altas cargas laterales de tierra, vientos fuertes, temblores • Se debe usar en estructuras en contacto con el suelo: cimentaciones, muros de contención, aceras, tuberías de aguas negras, pozos, etc.
S	• Es un mortero que alcanza la más alta característica de adherencia que un mortero puede alcanzar. • Debe usarse para las estructuras sometidas a cargas de compresión normales, pero que requieran a la vez de una alta característica de adherencia • Debe usarse en aquellos casos en los que el mortero es el único agente de adherencia como la pared, como en el caso de revestimientos cerámicos, baldosines de barro cocido, etc.
N	• Es un mortero de propósito general, para ser utilizado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo • Es bueno en enchapes de mampostería, paredes internas y divisiones • Representa la mejor combinación de resistencia, trabajabilidad y economía • Usualmente las mezclas de tipo N, alcanzan cerca de 125kg/cm^2 (180psi) de resistencia a la comprensión, en los ensayos de laboratorio.
O	• Es un mortero de baja resistencia y con un alto contenido de cal • Puede usarse en paredes y divisiones sin carga o para revestimientos exteriores que no estén sometidos a congelamiento, aun cuando puedan estar húmedos • Son usuales en construcciones de vivienda de uno o dos pisos • Por su excelente trabajabilidad y bajo costo, son morteros preferidos por los albañiles
K	• Esta clasificación ya no aparece dentro de los cuadros o tablas de tipos de morteros porque la diferencia con el tipo O es mínima y ha sido reemplazado por este en la aplicación práctica.

Conclusión: Analizados los tipos de mortero, se elegirá el tipo de mortero N, para la experimentación de laboratorio, con la finalidad de cumplir los requisitos establecidos en la normativa.

Fuente: NTE INEN 2518:2010 & Tecnología del concreto y el mortero (Guzmán, 2011).
Elaborado por: El autor

2.2.3. Clasificación de los morteros

Los morteros comúnmente son los que más se aplican en la industria de la construcción, por lo tanto, presentan distintos tipos de usos, los cuales se mencionan a continuación:

- **Morteros según su composición**

Tabla 9. Morteros según su composición

Tipo de mortero	Características
Morteros calcáreos	• Estos morteros debido a la cal se hacen más manejables que los morteros de cemento, sin embargo, no se pueden obtener altas resistencias debido a su baja velocidad de endurecimiento. • Básicamente se usa en revoque (cal – cemento) con la proporción 1:2 y para mampostería simple (cal - cemento) con la proporción 1:3 o 1:4.
Morteros de yeso	• Estos morteros se preparan con yeso hidratado con agua. El contenido de agua es variable según el grado de cocción, calidad y finura de molido del yeso.
Morteros de cal y cemento portland	• Estos morteros tienen una buena retención de agua y se pueden obtener altas resistencias iniciales, por lo tanto, son aconsejables cuando se necesita una gran trabajabilidad. • Las relaciones de mezcla más usadas varían entre 1:2:6 y 1:2:10 de cemento, cal y arena y el agua necesaria varía de acuerdo con la composición del mortero y a la consistencia deseada.
Morteros de cemento portland	• Este mortero tiene una alta resistencia inicial y una elevada resistencia una vez endurecido, las condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo con las proporciones de cemento y al tipo de arena usada.

Fuente: Tecnología del concreto y el mortero (Guzmán, 2011) & (Cadena, 2016)
Elaborado por: El autor

- **Morteros según su fluidez**

Tabla 10. Tipos de morteros según su fluidez

Consistencia	Fluidez %	Penetración mm	Condiciones de colocación	Tipos de estructuras	Sistemas de colocación
Dura (seca)	80 a 100	30 – 45	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimientos de túneles, galerías, pantalla de cimentación y pisos	Proyección neumática con vibradores de pared
Media (plástica)	100 a 120	45 – 55	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos	Manual con palas, bailejos
Fluida (húmeda)	120 a 150	55 - 89	Sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos	Manual bombeo e inyección

Fuente: ASOCRETO, Manejo y colocación en obra, Tomo I, 2010
Elaborado por: El autor

- **Morteros según su fraguado**

Este tipo de mortero se clasifica igual que el hormigón, en morteros de fraguado: lentos, normales o rápidos. Sin embargo, se han desarrollado los "morteros estabilizados" o los "morteros de larga vida", en los cuales se agrega aditivo retardante con la finalidad de demorar el inicio del fraguado por varias horas (permanecen 12 y 72 horas almacenados en envases especiales).

- **Morteros según su uso**

Tabla 11. Tipos de morteros según su uso

Tipo de mortero	Características
Morteros de pega	• Diferentes a los morteros usados para otros propósitos porque en obra estarán sometidos a las condiciones especiales del sistema constructivo, su resistencia debe ser adecuada; deben absorber esfuerzos de tensión y compresión. • Los morteros de pega deben cumplir con la norma ASTM C207 o su similar NTE – INEN 247.
Morteros de relleno	• Es usado como relleno en las celdas de los elementos en la mampostería estructural, y al igual que el mortero de pega debe tener una óptima resistencia según NTE-INEN 2518 - 2010.
Morteros de recubrimiento	• La única función es estética, por tal condición no requiere resistencia determinada al no cumplir función estructural alguna; por el contrario, un aspecto muy importante es la plasticidad por jugar en ellos un papel muy importante. • Los morteros de recubrimiento deben cumplir con la NTE – INEN 2518 (morteros para unidades de mamposterías)
Conclusión: El mortero que sirve como base, es el mortero de recubrimiento ya que la investigación presente plantea un mortero de revestimiento para pared.	

Fuente: ASOCRETO, Manejo y colocación en obra, Tomo I, 2010
Elaborado por: El autor

- **Morteros para mampostería**

Los morteros de mampostería según la NTE – INEN 2518 "Morteros para unidades de mampostería", los clasifica en especificaciones por dosificación y especificaciones por propiedades.

Tabla 12. Especificaciones de morteros mediante sus dosificaciones

Mortero	Tipo	Dosificación por volumen (materiales cementantes)							Relación de áridos (medidos en condición húmeda suelta)
		Cemento Portland o cemento compuesto	Cemento para mortero			Cemento para mampostería			Cal hidratado o masilla de cal	
			M	S	N	M	S	N		
Cemento y cal	M	1	---	---	---	---	---	---	¼	No menos de 2 ¼ y no más de 3 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	1	---	---	---	---	---	---	Sobre ¼ a ½	
	N	1	---	---	---	---	---	---	Sobre ½ a 1 ¼	
	O	1	---	---	---	---	---	---	Sobre 1 ¼ a 2 ½	
Cemento para mortero	M	1	---	---	1	---	---	---	---	
	M	---	1	---	---	---	---	---	---	
	S	¼	---	---	1	---	---	---	---	
	S	---	---	1	---	---	---	---	---	
	N	---	---	---	1	---	---	---	---	
	O	---	---	---	1	---	---	---	---	
Cemento para mampostería	M	1	---	---	---	---	---	1	---	
	M	---	---	---	---	1	---	---	---	
	S	½	---	---	---	---	---	1	---	
	S	---	---	---	---	---	1	---	---	
	N	---	---	---	---	---	---	1	---	
	O	---	---	---	---	---	---	1	---	

Nota: en el mortero no deben ser combinados dos agentes incorporadores de aire

Fuente: NTE INEN 2518:2010
Elaborado por: El autor

Tabla 13. Especificaciones de morteros mediante sus propiedades

Mortero	Tipo	Resistencia promedio a la compresión a 28 días, min, (MPa)	Resistencia promedio a la compresión a 28 días, min, (kg/cm^2)	Retención de agua, % min.	Contenido de aire, % máx.	Relación de áridos (medidos en condición húmeda suelta)
Cemento y cal	M	17.2	175.39	75	12	No menos de 2 ¼ y no más que 3 ½ veces los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	12.4	126.44	75	12	
	N	5.2	53.02	75	14[C]	
	O	2.4	24.47	75	14[C]	
Cemento para mortero	M	17.2	175.39	75	12	
	S	12.4	126.44	75	12	
	N	5.2	53.02	75	14[C]	
	O	2.4	24.47	75	14[C]	
Cemento para mampostería	M	17.2	175.39	75	18	
	S	12.4	126.44	75	18	
	N	5.2	53.02	75	20[D]	
	O	2.4	24.47	75	20[D]	

[A] Únicamente morteros preparados en laboratorio (ver nota 6)
[B] Ver nota 7
[C] Cuando el mortero estructural está embebido en un mortero de cemento y cal contenido máximo de aire deber ser de 12%
[D] Cuando el refuerzo estructural está embebido en un mortero de cemento con mampostería el contenido máximo de aire deber ser de 18%

Fuente: NTE INEN 2518:2010
Elaborado por: El autor

2.2.4. Componentes para morteros, requisitos

- **Cementantes**

La NTE INEN 2518:2010, establece los materiales que deben ser utilizados como componentes del mortero para unidades de mampostería, los cuales deben cumplir con los requisititos establecidos en el numeral 6.1.1.1., hasta 6.1.1.4., de la norma. Así mismo, dentro de este numeral se establece los tipos de cementantes, que son básicamente los:

a) Cementos portland en sus diversos tipos
b) Cementos portland de escoria de altos hornos
c) Cementos hidráulicos compuestos
d) Cementos hidráulicos
e) Cementos de mampostería
f) Cementos para mortero

Cemento Portland

Es un material hidráulico aglutinante, que posee propiedades de alta adherencia y cohesión que permiten la unión de fragmentos minerales entre sí, además reacciona al contacto con el agua (resultado de la pulverización del Clinker). Los cementos fabricados en el país deben satisfacer los requisitos químicos de la Tabla 2 y los físicos de la Tabla 3 de la NTE INEN 490:2011. La NTC 221 determina la densidad del cemento entre 2.90 y 3.15 g/cm.

Tipos de cementos (ver Tabla 14).

a) Cemento Portland Tipo I de uso general. Que contiene Clinker y yeso.
b) Cemento hidráulico compuesto por Clinker, yeso, puzolana, tipo IP (Cemento portland puzolánico) de uso general.
c) Cemento hidráulico por desempeño (GU)

Tabla 14. Clasificación de cementos

Equivalencias del tipo de cemento			
Cementos hidráulicos por desempeño	**Cementos hidráulicos compuestos**	**Cementos portland**	**Descripción**
GU	IP	TIPO I	Uso general en la construcción
HE		TIPO III	Elevada resistencia inicial
HS		TIPO V	Alta resistencia a los sulfatos
MS	IP (MS)	TIPO II	Moderada resistencia a los sulfatos
MH	IP (MH)	TIPO IV	Moderad calor de hidratación
LH			Bajo calor de hidratación
El cemento tipo GU, cumple con características establecidas por la NTE INEN 2380, por lo que será la base de estudio para la dosificación de motero/PET			

Fuente: Holcim, 2018
Elaborado por: El autor

Por otra parte, en Ecuador encontramos tres tipos de cementos que cumplen con la norma antes mencionada:

a) **Cemento Portland Puzolánico Tipo IP:** Producido cerca de la ciudad de Azogues a 242,5 km de la ciudad de Loja, es del Tipo IP, cumple con la NTE INEN 490:2011; siendo el de menor costo, por ende, el que más se comercializa.
b) **Cemento hidráulico Tipo GU:** Producido en la provincia del Guayas, a 432,2 km de la ciudad de Loja, es del Tipo GU, cumple con la NTE INEN 2380:2011; es segundo en el empleo de la construcción debido a su precio, respecto al anterior.
c) **Cemento Tipo GU:** Producido en la ciudad de Cuenca, a 212,7 km de la ciudad de Loja, es del Tipo GU, cumple con la NTE INEN 2380:2011. Su uso es ocasional, ya que es nuevo en el mercado.

- **Áridos**

La NTE INEN 2536:2010, establece el árido adecuado para la elaboración de morteros, así mismo la NTE INEN 696:2011, es la que regula los limites granulométricos del árido para el uso de morteros de mampostería (ver Tabla 15). La arena debe estar graduada dentro de los límites permitidos; por lo tanto, la masa retenida entre dos tamices consecutivos no podrá ser mayor al 50% ni más del 25% entre el tamiz de 300 µm (N° 50) y de 150 µm (N° 100), en caso de que no cumpla las condiciones establecidas, la norma determina que se podrá utilizar en el mortero cuando esta cumpla con las propiedades de la NTE INEN 2518:2010.

Tabla 15. Análisis granulométrico del árido para el uso de morteros

Tamizado		Porcentaje pasante	
N° de tamiz	**Tamaño**	**Arena natural**	**Arena elaborada**
(N° 4)	4.75 mm	100	100
(N° 8)	2.36 mm	95 a 100	95 a 100
(N° 16)	1.18 mm	70 a 100	70 a 100
(N° 30)	600 µm	40 a 75	40 a 75
(N° 50)	300 µm	10 a 35	20 a 40
(N° 100)	150 µm	2 a 15	10 a 25
(N° 200)	75 µm	0 a 5	0 a 10
Módulo de finura		2.83 – 1.75	2.65 – 1.60

Fuente: NTE INEN 2536:2010
Elaborado por: El autor

La arena usada para la elaboración de morteros debe someterse a ensayos, con la finalidad de garantizar su calidad y la de la mezcla.

a) Impurezas Orgánicas
b) Absorción y gravedad específica
c) Granulometría
d) Peso Unitario suelto y compactado de la arena

Además, se complementará con ensayos recomendados, que no forman parte de esta norma, como son:

a) Cálculo del porcentaje de retención de agua
b) Hinchamiento de arenas

- **Agua**

El agua que se utiliza para el mezclado y curado de los morteros y hormigones tiene que ser potable. En la norma ASTM C1602 se establecen estas condiciones. Se especifica que cuando no se disponga de antecedentes de utilización o en caso de duda, deberán analizarse las aguas, y salvo comprobación de que no alteran perjudicialmente las propiedades exigibles al hormigón o mortero, deberán rechazarse todas las que contengan hidratos de carbono, un Ph menor a 5 y en caso de existir antecedentes o duda en el uso del agua se deberá analizar y esta deberá cumplir con los limites indicados en la Tabla 16 (Cadena, 2016).

Tabla 16. Especificaciones de límites para análisis de agua para obras con hormigón en masa y armado

Concentración en agua de mezcla	Límite máximo a
Cloruros, como Cl para hormigón pretensado	500 miligramos/litro
Para hormigón armado o con el elemento metálicos embebidos	1.000 miligramos/litro
Sulfatos, como so_4	3.000 miligramos/litro
Álcalis, como ($na_so+0.658k_2o$)	600 miligramos/litro
Total, de sólidos (por masa)	50.000 miligramos/litro

Fuente: (INECYC, 2007)
Elaborado por: El autor

Además, la norma ASTM 33 determina que, en caso de no cumplir con la calidad el agua puede ser sometida a ensayos relativos de resistencias, probados a los 7 días en morteros con el agua en estudio y con agua destilada. Si el resultado es igual o superior en un 95 %, el primero del segundo, el agua es óptima para el diseño de mezcla.

2.3.Estado del arte

Para resolver la siguiente investigación se ha sistematizado algunos artículos análogos al planteado, que estudian la adición del polímero PET en el mortero, para la sustitución del árido fino en algunos porcentajes; por lo tanto, la información que ofrezcan dichos artículos servirá para identificar las virtudes y las deficiencias en el proyecto, con la finalidad de realizar de una forma eficaz el trabajo de fin de carrera.

Existen diversas investigaciones elaboradas para el uso de plástico reciclado como materia prima para la construcción. La metodología planteada es el remplazo de porcentajes de polímeros en sustitución del agregado fino y luego la experimentación de resistencia (comprensión, flexión, adherencia, permeabilidad…etc.). Cabe destacar que existen investigaciones que tratan sobre un tema similar al planteado, la diferencia es que añaden fibras de polímeros PET para los morteros, aquí algunas investigaciones:

Tabla 17. Morteros a base de fibras PET

Tema	Autor/es	Año
Agregado plástico reciclado en la composición de los morteros: efecto sobre las propiedades físicas y mecánicas.	Iucolano, Liguori, Caputo, Colangelo, & Cioffi	2013
Morteros de polímero preparados con una resina polimérica y partículas obtenidas de botellas de residuos de PET	Miranda Vidales, Narváez Hernández, Tapia López, Martínez Flores, & Hernández	2014
Sobre las propiedades mecánicas del hormigón que contienen residuos de partículas de PET.	Rahmani, Dehestani, Beygi, Allahyari, & Nikbin	2013
Plástico reciclado de residuos de fibras para refuerzo del mortero de cemento portland.	Al-Tulaian, Al-Shannag, & Al-Hozaimy	2016
El efecto de la fibra metálica y polimérica corta en el comportamiento de la fractura del mortero de cemento.	Campello, Pereira, & Darwish	2014

Elaborado por: El autor

Ahora bien, se presenta algunas investigaciones pertinentes al tema de estudio:

- **Materiales de desecho de polímeros como rellenos en morteros de polímeros: simulación de elementos finitos y experimentales.**

La investigación de Martínez-López et al. (2018), "Materiales de desecho de polímeros como rellenos en morteros de polímeros: simulación de elementos finitos y experimentales", trata sobre la problemática medioambiental que se producen por los residuos de polímeros, por tal motivo en esta investigación los polímeros (PET, policarbonato y neumáticos de automóviles), sustituyeron el árido fino de sílice en mortero a base de poliéster, en partículas de (0,7 – 2,36 mm), en porcentajes de 1, 2 y 3 % en peso. El experimento se realizó mediante pruebas de compresión y flexión y se calculó el módulo de elasticidad, los valores mecánicos se calcularon mediante el método de elementos finitos (FEM), así mismo, el grado de cristalinidad de las partículas se analizó con técnicas SEM y XRD. Los resultados obtenidos en la investigación muestran una mejora en la resistencia mecánica hasta un 20 % con el agregado de polímero PET, pero los valores mecánicos con el agregado de partículas de policarbonato o neumático son bajos en comparación con el mortero de control. Por otra parte, el grado de cristalinidad con las partículas PET demostró mayor cristalinidad que las de policarbonato o neumáticos. Finalmente, los materiales y métodos que sirvieron de guía en esta investigación son: arena de

sílice, resina de poliéster y polímeros de (PET, policarbonato y neumáticos de automóviles), estos materiales fueron sometidos a un proceso de trituración, lavado y secado; las partículas obtenidas se las separó mediante un proceso de tamizado. El mortero de polímero se elaboró y compacto en un molde de acero (40 x 40 x 160 mm), seis muestras para cada tipo de mortero, posteriormente se curaron a una temperatura ambiente en 24 h. En cuanto al método, se realizaron pruebas de comprensión y flexión utilizando máquina de prueba de controles universales con una celda de carga de 30 toneladas, las partículas se analizaron con JEOL de Microscopio Electrónica de Barrido, modelo JSM-6510LV con electrones secundarios a 20 keV.

- **Incorporación de agregados plásticos finos en morteros de renderización.**

El estudio realizado por Farinha et al. (2015), trata sobre la incorporación de agregados plásticos PET finos en morteros de renderización, el cual abarca la problemática del aumento del plástico en nuestra sociedad y busca solucionar dicho problema con el reciclaje del plástico. En esta investigación abarcan tres porcentajes de sustitución del plástico en el mortero (5 %, 10 % y 1 5%), con un volumen de 1 – 2 mm, en gránulos y escamas. Cabe destacar que los resultados obtenidos se realizaron en varias fases el cual muestran aspectos positivos y negativos, algunas propiedades del mortero se modifican y en otras se mejoran. Por ejemplo: la prueba sometida al choque (resistencia), demostró una disminución de la anchura de las grietas con el aumento de la tasa de sustitución.

Por otra parte, los materiales y métodos utilizados en esta investigación son: cemento Portland (CEM II / B-L 32.5N), arena silícea del río Tajo y plástico PET, y para la elaboración del material se ha triturado y aplicado un proceso térmico a las partículas de las botellas de plástico PET, y se usó la norma europea EN 1015-2., para la relación volumétrica (1:4) de morteros.

- **Propiedades del mortero plástico fabricado con polietileno tereftalato reciclado.**

El propósito de esta investigación, “Propiedades del mortero plástico fabricado con polietileno tereftalato reciclado”, de Ge et al. (2014), fue estudiar las propiedades mecánicas y la durabilidad del mortero hecho con polímeros PET tipo escamas, añadiendo aditivos como el betún, las cenizas volantes y el carbonato de nano calcio. Se estudió la resistencia a la compresión en diferentes grados de temperatura y también se realizó la prueba de durabilidad mediante la absorción de agua y la resistencia a la corrosión del sulfato. Los resultados de esta

investigación muestran que al agregar mayor cantidad de partículas finas podría primero aumentar y luego disminuir la resistencia, y al sustituir parcialmente el PET con betún o cenizas volantes influye positivamente en la resistencia, pero el carbonato de nano calcio tuvo una influencia negativa sobre la resistencia de dicho mortero. Los materiales y métodos utilizados en esta investigación son los siguientes: botellas PET desechadas, arena natural del río y agua, la absorción de agua con el PET fue de 1,35 g/cm^3, 0,16 % y 250 °C; la absorción de agua con arena fue de 2,40 g/cm^3 y 2,76 %. El tamaño del árido fino fue inferior a 0,075 mm. El método utilizado fue experimental donde la resistencia a la comprensión y la flexión se midieron con las normativas ASTM C 109 Y ASTM C 348. Para la absorción del agua se secaron primero las muestras en el horno, se pesó la masa seca de especímenes en aire, posteriormente se sumergió en agua y se extrajeron las muestras para ser pesada su masa saturada de superficie seca. Finalmente, se examinó la microestructura de mortero con el microscopio electrónico de barrido (SEM).

- **Comparación de las propiedades mecánicas del mortero que contiene un subproducto industrial.**

Los autores Chowdhury, Roy, Tashkent, & Suganya (2014), tratan la investigación sobre la "Comparación de las propiedades mecánicas del mortero que contiene un subproducto industrial", es decir utilizan botellas PET trituradas y polvo de viruta de acero (SCP) en el mortero, con el objetivo de disminuir los problemas ambientales que ocasionan estos productos. Se realizó prueba experimental de resistencia mediante compresión del mortero, con la proporción 1:3 investigada en sustitución de 2, 4, 6 y 8 %, manteniendo la relación agua – cemento, esta resistencia se elaboró en espécimen mediante 7 y 28 días y se concluyó que el reemplazo recomendable es de 6 %, además se observó que la trabajabilidad del mortero con mayor sustitución de estos subproductos disminuía. Finalmente, los materiales y métodos utilizados para esta investigación fueron: cemento (cemento Portland ordinario IS: 12269 - 1987), arena natural con partículas de tamaño 4,75 mm como máximo, esto se obtiene con los requisitos de ASTM C33 7 C33M-08, polvo de acero de viruta con un tamaño de 4,00 mm, polímero de PET triturado en varios porcentajes (2, 4, 6 y 8 % en peso de arena).

- **Efecto del PET reciclado en la mecánica de fractura del mortero de polímero.**

El siguiente artículo con el tema: "Efecto del PET reciclado en la mecánica de fractura del mortero de polímero" de Reis, Chianelli-junior, Cardoso, & Marinho (2011), trata sobre los

residuos de tereftalato de polietileno (PET) de botellas como reemplazo de los agregados del mortero, en porcentajes de 5, 10, 15 y 20 % en el mismo peso del árido fino, con la finalidad de estudiar las propiedades de fractura de los compuestos. Como resultado se observó una reducción del peso del mortero y una mejora en el comportamiento de flexión. Los materiales y métodos utilizados en esta investigación fueron: agregado fino (arena con resinas epoxi y poliéster insaturado), polímeros de botellas PET triturado, la granulometría del agregado fino se estableció con la norma ASTM D422-63. Así mismo, las muestras de fractura de mortero de polímero se compactaron en un molde de 30 x 60 x 205 mm^3 y estas se curaron primero a temperatura ambiente y luego durante 3 h a 60 °C. El método que se realizó fue pruebas de flexión de tres puntos utilizando una máquina de prueba universal con velocidad de 0,5 mm/ min, y se obtiene la grieta el cual se midió con un calibre DQO.

- **Investigaciones para mejorar las propiedades de morteros reforzados con partículas de polímero de PE reciclado para la práctica de reparación.**

La investigación de Aattache, Soltani, & Mahi (2017), con el título: "Investigaciones para mejorar las propiedades de morteros reforzados con partículas de polímero de PE reciclado para la práctica de reparación", se desarrolló mediante FTIR, XRD, SEM, absorción capilar, variación de masa y comprensión y resistencia a la tensión de división. La experimentación dio como resultado mejoras en las propiedades del mortero con agregado de PE en un 2 %. Cabe destacar que en esta experimentación los materiales que se utilizaron fueron el cemento resistente al sulfato CEM I / 42.5R, arena de río con un tamaño de grano mínimo a 1,6 mm, el polvo superplastificante (SP) y las partículas de polímero de polietileno (PE) oscilaron entre 80 y 0,5 mm, se elaboraron cinco muestras de mortero: NM (mortero normal), SPM (mortero con un superplastificante), CM2, CM4 y CM6 (morteros compuestos) con 2, 4 y 6 % de partículas de polímero, respectivamente.

- **Propiedades físicas y mecánicas del mortero utilizando residuos de botellas de polietileno tereftalato.**

El tema "Propiedades físicas y mecánicas del mortero utilizando residuos de botellas de polietileno tereftalato" de los autores Ge, Sun, Zhang, Gao, & Li (2013), tuvo como objetivo estudiar los efectos de la gradación de agregados (arena / PET), para esto se realizó una prueba de espectro de infrarrojo para determinar el mecanismo del desarrollo de la fuerza, y el resultado obtenido indicó que el mortero de PET con arena graduada obtuvo una mayor

resistencia en comparación con el mortero con gradación de un solo tamaño. El curado a temperaturas más altas tuvo como resultado mayor resistencia, comparando con el curado a temperaturas bajas. En cuanto a materiales y métodos del experimento, fueron: arena natural del río y polvo de piedra caliza como relleno mineral, más el agregado de botellas PET que se trituraron en forma de escama. La relación que se realizó en arena a PET fue de 1:1; 2:1; 3:1 y 4:1 y el tiempo de curado fue de 3 h, 6 h, 18 h, 24 h y 7 días, además de curado a temperatura de 100, 140 y 180 °C en un periodo de 30 min. El método utilizado fue mediante un análisis de espectro infrarrojo (espectrómetro VERTEX-70 FTIR).

Se puede informar que los métodos utilizados en las investigaciones mencionadas anteriormente son experimentales de laboratorio, es decir se realizan pruebas de resistencia (comprensión, flexión y sometida a choque) y de durabilidad (absorción de agua). Para las pruebas de compresión y flexión utilizan las normativas ASTM C109 Y ASTM C 348M, en cuanto al material plástico lo trituran y pasa a ser observado por Microscopio Electrónico de Barrido para determinar el tamaño que varían desde 0,7 a 4,75 mm, se determina con la normativa ASTM C33 7 C33M-08. Con ello se dan resultados como mejoras de las propiedades de los morteros en cuanto a la resistencia sometida a choque (disminuye las anchuras de las grietas al aumentar partículas PET), también la resistencia mecánica aumenta en un 20 %, además mejoran al mortero con la incorporación de PET en un 2 %.

Finalmente, cabe destacar que es de mayor importancia la incorporación de agregados finos de polímeros tereftalato de polietileno (PET), ya que se logra disminuir la contaminación ambiental de nuestro medio que se produce por los materiales plástico o la adición de agregado fino en el mortero que es la arena natural.

Tabla 18. Síntesis del estado del arte

ESTADO DEL ARTE			
Autor/año	**Tema**	**Materiales y métodos**	**Observaciones**
(Martínez-López et al., 2018)	Materiales de desechos de polímeros como rellenos en morteros de polímeros: simulación de elementos finitos y experimentales	**Materiales:** arena de sílice, resina de poliéster, polímeros de PET, policarbonato y neumáticos de automóviles. **Métodos:** pruebas de comprensión y flexión utilizando máquina de prueba de controles universales con una celda de carga de 30 toneladas, se analizan las partículas con microscopio electrónico de barrido.	Los resultados obtenidos muestran una mejora en la resistencia mecánica hasta un 20% con el agregado de polímero PET. Los valores mecánicos con partículas de neumáticos y policarbonato son bajos en comparación con el mortero de control.
(Farinha et al., 2015)	Incorporación de agregados plásticos finos en morteros de renderización	**Materiales:** cemento portland, arena sílice del rio tajo, plástico PET. **Métodos:** se ha triturado y aplicado un proceso térmico a las partículas de PET y se usó la norma UNE EN 1015-2 para la relación volumétrica.	Los resultados obtenidos se realizaron en varias fases las cuales muestran aspectos positivos y negativos
(Ge et al., 2014)	Propiedades del mortero plástico fabricado con Tereftalato de polietileno reciclado	**Materiales:** Botellas PET recicladas, arena natural del río y agua **Métodos:** ensayo a la compresión y flexión mediante las normativas ASTM C109 y ASTM C348. También se realizó ensayo de absorción de agua.	Los resultados muestran que al aumentar las partículas finas primero aumenta y luego disminuye su resistencia, y al sustituir parcialmente el PET con betún y cenizas influye positivamente la resistencia.
(Chowdhury et al., 2014)	Comparación de las propiedades mecánicas del mortero que contiene un subproducto industrial	**Materiales:** cemento portland ordinario, arena natural, polvo de acero de viruta, polímero de PET en varios porcentajes. **Métodos:** ensayo de resistencia y comprensión del mortero	Se observó que la trabajabilidad del mortero con mayor sustitución de los subproductos disminuía.
(Reis et al., 2011)	Efecto del PET reciclado en la mecánica de fractura del mortero de polímero	**Materiales:** agregado fino, polímeros de botellas PET triturado. La granulometría se midió mediante la norma ASTM D422-63 **Métodos:** ensayo de flexión de tres puntos utilizando una máquina de prueba universal con velocidad de 0.5 mm/min y la grieta se mide con un calibre DQO	Como resultad se observa una reducción del peso del mortero y una mejora en el comportamiento de flexión.
(Aattache et al., 2017)	Investigaciones para mejorar las propiedades de morteros reforzados con partículas de polímeros PE reciclados para la práctica de reparación	**Materiales:** cemento resistente al sulfato, arena de río y polímeros PE. **Métodos:** ensayos de absorción capilar, variación de masa, comprensión y resistencia a la tensión de división	Los resultados demuestran mejoras en las propiedades del mortero con agregado de PE en un 2%
(Ge et al., 2013)	Propiedades físicas y mecánicas del mortero utilizando residuos de botellas de polietileno de Tereftalato	**Materiales:** arena natural de rio, polvo de piedra caliza, botellas PET. **Métodos:** ensayos de resistencia a la comprensión y flexión y sometida a choque y de durabilidad. Para las pruebas de compresión y flexión se usó la normativa ASTM C109 y ASTM C348M.	La prueba sometida a choque disminuye la anchura de grietas al aumentar partículas PET, la resistencia mecánica aumenta un 20 % y mejora al mortero con la incorporación de PET a un 2 %
Con la revisión bibliografía propuesta como base para la investigación presente, se concluye que la incorporación del polímero PET en los morteros aumenta la resistencia mecánica hasta un 20%, además mejora las propiedades del mortero y finalmente se obtiene un mortero de menor peso, el cual mejora el comportamiento de flexión en los morteros.			

Fuente: Autores de las investigaciones

Elaborado por: El autor

2.4.Marco normativo

Para cumplir con la propuesta planteada en la presente investigación, se desarrollarán ensayos en laboratorio mediante normativa, tanto nacional como internacional para morteros, presentando así sus respectivos resultados, análisis y conclusiones.

En la Tabla 19, se muestran las normas que serán utilizadas en los ensayos para determinar las propiedades físicas del mortero (resistencia a la compresión y flexión, absorción de agua, coeficiente de permeabilidad y porosidad).

Tabla 19. Normas técnicas de la construcción

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA	
NTE – INEN 0153	Cemento Hidráulico. Muestreo y ensayos
NTE – INEN 0198	Cementos. Determinación de la resistencia a la flexión y a la comprensión de morteros
NTE – INEN 0488	Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista
NTE – INEN 0695	Áridos. Muestreo
NTE – INEN 0696	Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso
NTE – INEN 0873	Arena normalizada. Requisitos
NTE – INEN 2518	Morteros para unidades de mampostería. Requisitos.
NTE – INEN 2528	Cámaras de curado, gabinetes húmedos, tanques para almacenamiento en agua y cuartos para elaborar mezclas utilizados en ensayos de cementos hidráulicos y hormigón. Requisitos
NTE – INEN 2536	Áridos para uso morteros para mampostería. Requisitos
NTE – INEN 2554	Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón. (utilizando una viga simple con carga en los tercios)
NTE – INEN 2615	Cementos para morteros. Requisitos
ASTM INTERNACIONAL	
ASTM C33	Granulometría para agregados finos. Especificaciones estándar
ASTM C78	Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la flexión del hormigón y mortero
ASTM C136	Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso
ASTM C1602	Especificación estándar para mezcla de agua utilizada en la producción de cemento hidráulico
ASTM D75	Procedimiento normalizado para el muestreo de los áridos
ASTM D2434	Ensayo de permeabilidad

Fuente: Normas técnicas de la construcción nacionales e internacionales
Elaborado por: El autor

Capítulo 3

3. Materiales y métodos

3.1. Procedimiento para la elaboración del mortero de revestimiento, mediante el reemplazo del árido fino por partículas de polímeros PET

Para resolver el objetivo, se determina el comportamiento del mortero con y sin agregado de partículas de polímeros PET en los ensayos previos (análisis granulométrico, selección de fluidez y contenido de humedad) con el fin de obtener un diseño de mezcla optimo, posteriormente se realizarán las pruebas de resistencia a la compresión, flexión, coeficiente de permeabilidad y absorción de agua, por lo cual se describen cuatro pasos a seguir:

- Después de determinar el origen de los materiales, tanto del árido fino como del plástico tipo PET, se realizarán los ensayos a estos materiales, a continuación, se define el peso específico y análisis granulométrico que debe estar entre 2,83 y 1,75 %.

- Posteriormente, con los resultados obtenidos se desarrollará el diseño de mezcla en mortero base y mortero PET en porcentajes del 5, 10 y 20 %, para realizar una comparación entre estas mezclas.

- Seguidamente, se desarrollarán los ensayos de laboratorio en estado endurecido según lo establece la NTE INEN en el número requerido de probetas. Una vez obtenida la edad de curado se procederá a los ensayos establecidos en esta investigación: ensayo de resistencia a la compresión y flexión, absorción de agua y coeficiente de permeabilidad.

- Finalmente, se recopilarán y analizarán los resultados obtenidos en los ensayos, así mismo se realizará un análisis comparativo entre los morteros (mortero base y mortero PET), igualmente con investigaciones pertinentes a la investigación (estado del arte).

3.2. Materiales utilizados en la propuesta de mortero de revestimiento, mediante el reemplazo del árido fino por partículas de polímeros PET

Para desarrollar la práctica experimental en laboratorio, se empieza analizando los materiales a utilizar para la propuesta de mortero a base de las partículas de polímeros PET, bajo la norma NTE INEN 2518:2010.

A continuación, se describen los materiales a utilizar en el desarrollo de la propuesta del mortero de revestimiento:

3.2.1. Envases de botellas plásticas tipo PET

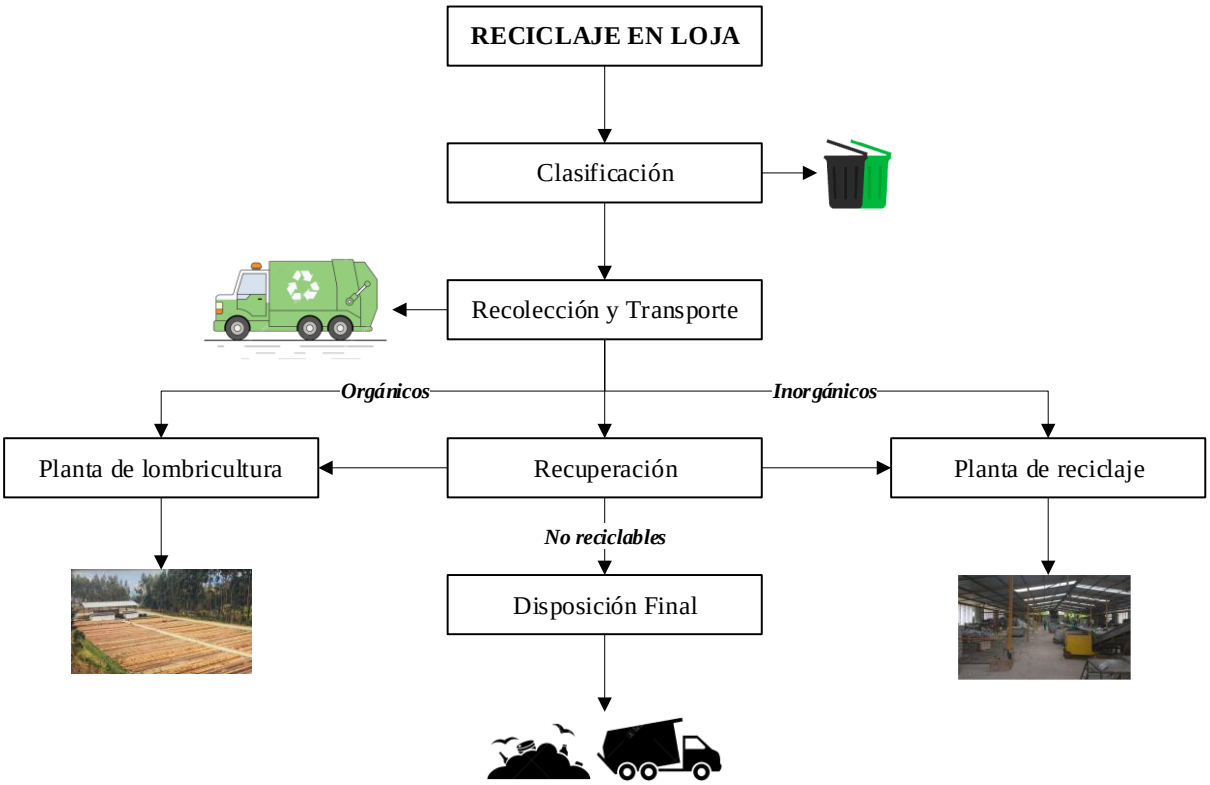
Los envases de botellas plásticas se encuentran compuestas principalmente por tereftalato de polietileno (PET) y son de color transparente, además son amigables con el medio ambiente, por ser considerados un material reciclable.

Ahora bien, el reciclaje en la ciudad de Loja, Ecuador se obtiene de la siguiente manera:

- **Reciclaje en Loja, Ecuador**

La ciudad de Loja es considerada como pionera en el reciclaje en Ecuador, con la finalidad de reducir los desechos sólidos y proteger el medio ambiente, el reciclaje en Loja se efectúa mediante el programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos, el cual lleva en marcha trece años.

Ilustración 3. Esquema de reciclaje en Loja, Ecuador

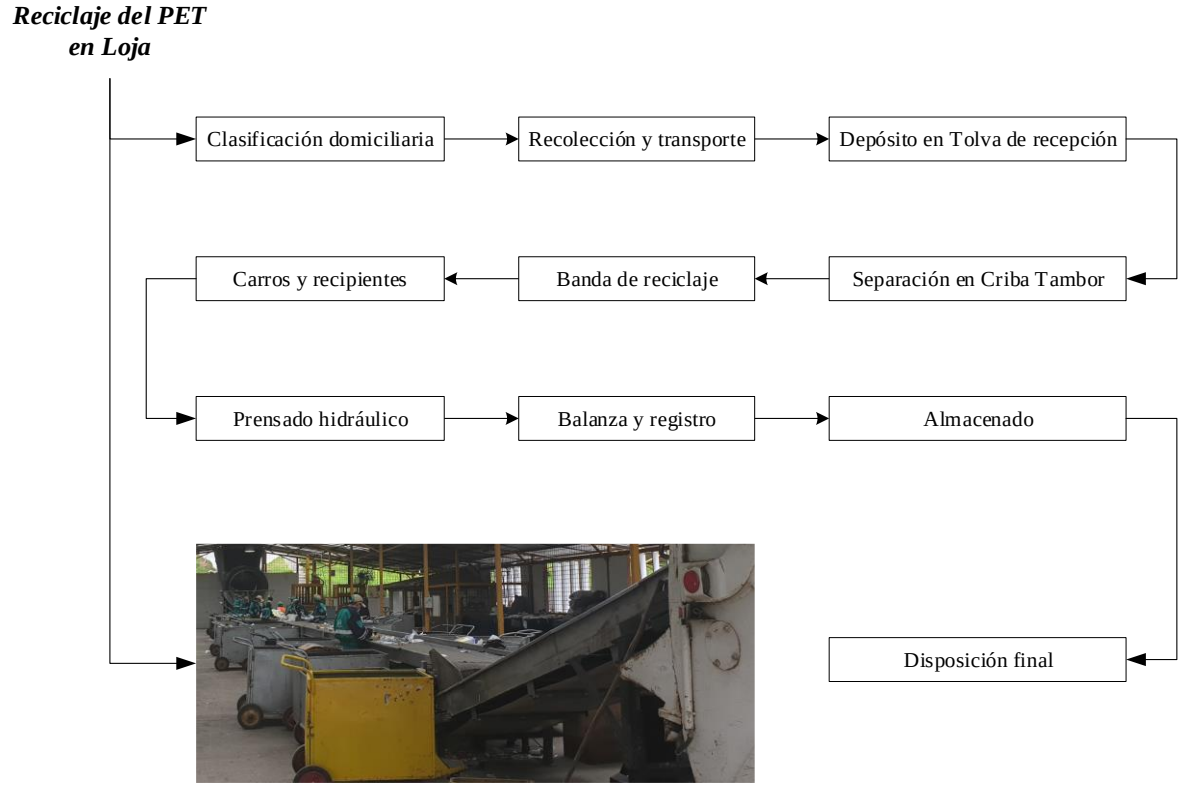


Fuente: Centro de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Loja, 2019
Elaborado por: El autor

- **Proceso de reciclaje del PET en Loja, Ecuador**

Las botellas plásticas tipo PET poseen una alta calidad que requiere un procedimiento complejo para poder ser recuperado. En Loja, con el programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos, el reciclaje empieza desde la recolección domiciliaria, además de las personas que se ganan la vida recolectando, hasta donde el PET es prensado, para a continuación ser transportado a lugares donde lo reutilizan. Cabe destacar que el PET prensado posee una densidad muy baja (250,00 kg/m^3) y por tal motivo su transporte a larga distancia no es económico.

Ilustración 4. Esquema de reciclaje del PET en Loja, Ecuador



Planta de reciclaje

Fuente: Centro de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Loja, 2019
Elaborado por: El autor

- **Empresas de reciclaje en Loja, Ecuador**

En la Provincia de Loja y sus alrededores, existen varios centros de acopio donde se recolecta diferentes tipos de materiales reciclables con la finalidad de ser vendidos, en este caso se abordará el reciclaje de los polímeros (ver Tabla 20).

Tabla 20. Centros de acopio de polímeros en Loja, Ecuador

EMPRESA	MATERIAL	U	VALOR ($)	CIUDAD	DIRECCIÓN Y TELÉF..	CAP. DE RECICLAJE SEMANAL
PLASTILOJA	Plásticos	Kg	0.22	Loja	18 de nov. Y Célica (2561915)	500 - 600
PLÁSTICOS GERF	Plásticos	kg	0.20	Loja	Mercadillo y J.J. Peña (2575157)	350 - 500
DECORTEJA	Botellas	U	…..	Catamayo	2667915	150 - 250
REIPA	Plásticos y otros materiales reciclables	kg	0.10	Loja, Catamayo y Saraguro	Salvador Bustamante Celi y Manuel Rengel (Frente a Pavica 2541704)	……
GLASSVIT	Botellas	U	…..	Loja	Kilómetro 1 vía a la Costa (2579798)	200

Fuente: Ministerio de industrias y productividad de Ecuador
Elaborado por: El autor

3.2.2. Obtención de partículas de polímeros PET

Una vez analizado el reciclaje de PET y sus respectivos centros de acopio en la Ciudad de Loja, se procederá a la obtención de partículas de polímeros PET, mediante un reciclado mecánico, ya que es la técnica más utilizada y sencilla de realizar (ver Capítulo 2, numeral 2.1.5.). El proceso consiste en la trituración, lavado y producto final.

- **Envases de botellas PET, reciclado**

Para el reciclado mecánico se hará una recolección de botellas PET, con la finalidad de ahorrar gastos innecesarios, el valor de las botellas lo determina la Tabla 20. Además, estos envases plásticos se componen principalmente: por el envase mismo, la tapa y la etiqueta, lo cual hay que tener presente, ya que estos componentes (tapa y etiqueta), están elaborados de otro tipo de plástico denominados PEAD y PP, correspondientemente.

Imagen 7. Componentes del envase plástico tipo PET

Elaborado por: El autor

- **Proceso de obtención de partículas de polímeros PET**

El proceso que representa el siguiente esquema es totalmente manual, ya que para la obtención de partículas provenientes de envases tipo PET, se utilizó una máquina pulidora de mármol de marca Bosch a distintas velocidades, a la misma que se le adaptó una lija de metal #14, con el objetivo de pasar la botella por la lija con una baja velocidad, esta nos sirve para evitar que el plástico se queme, así mismo, se acopló un recipiente de aluminio para recolectar el material triturado.

Ilustración 5. Esquema del proceso de obtención de partículas de polímeros PET

Fuente: (Mansilla Perez, 2009)
Elaborado por: El autor

3.2.3. Agregado natural. Arena

El agregado fino (arena natural del río), se la comprará en un centro de acopio de materiales pétreos de la ciudad de Loja, ubicado en el barrio Daniel Álvarez Burneo, en la calle Francisco Santander entre Jorge Gaitán y C – 28 – 7.

Imagen 8. Centro de acopio de materiales pétreos Loja, Ecuador

Fuente: Google Earth Pro
Elaborado por: El autor

El árido fino, en este caso la arena natural debe cumplir con los requisitos establecidos en la NTE INEN 2536:2010, y estar libres de materiales contaminantes que puedan estropear las propiedades del mortero a proponer, por tal motivo se realizarán ensayos de laboratorio aplicando la normativa requerida.

3.2.4. Cemento hidráulico tipo GU

Para la propuesta del mortero a base de partículas de polímeros PET se empleará Cemento Hidráulico Tipo GU, el cual cumple con las especificaciones técnicas de la NTE INEN 2380:2011 y ASTM C150, además se lo utilizará porque es un material de fácil obtención en nuestro medio y por ser un material de uso general en la industrial de la construcción.

3.2.5. Agua potable

El agua tiene mayor importancia en la mezcla de morteros ya que ofrece trabajabilidad, por lo tanto, debe cumplir con ciertas pautas de calidad que dicta la normativa ASTM C1602; respecto al análisis de la norma se determina que el agua de consumo humano es buena para elaborar morteros.

La norma ASTM C1602, presenta ciertas características que debe tener el agua:

- Debe estar limpia y fresca hasta donde sea posible.
- No debe contener residuos de aceites, ácidos, sales, materias orgánicas u otras sustancias que sean dañinas para la elaboración del mortero.
- Debe estar libre de arcilla y algas.

3.3. Métodos utilizados en la propuesta del mortero de revestimiento, mediante el reemplazo del árido fino por partículas de polímeros PET

El método para esta investigación se basa en un diseño experimental, porque es el camino idóneo para corroborar una hipótesis, con base al estudio estadístico (Shuttleworth, 2019).

A continuación, se describen los métodos utilizados:

3.3.1. Diseño de mezclas

El diseño de mezclas para un mortero se puede realizar mediante volumen o peso, en esta investigación se realizará mediante pesos el diseño experimental de mezclas. La metodología que se utiliza se basa en el documento "Diseño y Proporcionamiento de Mezclas de Concreto Normal" de (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, 2004), quien toma en cuenta la selección de fluidez, módulo de finura, resistencia específica y relación agua/cemento, (ver Tabla 21).

Tabla 21. Ensayos previos al diseño de mezcla

Ensayo	Norma oficial
Selección de fluidez	NTE INEN 2518:2010
Análisis granulométrico del árido fino	NTE INEN 0696:2011, ASTM C33
Análisis granulométrico del PET	NTE INEN 0696:2011, ASTM C33
Determinación de resistencia para dosificación	NTE INEN 2518:2010, ASTM C136
Determinación agua - cemento	Método empírico de Kosmatka…

Fuente: (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, 2004)
Elaborado por: El autor

- **Selección de fluidez**

La fluidez se determina según la consistencia que presenta dicho mortero, es decir, al ser un mortero para revestimiento se requiere una consistencia "MEDIA", la cual se encuentra en el rango de 100 a 120 % de acuerdo con la NTE INEN 2502:2009, (ver Tabla 10).

- **Análisis granulométrico del árido fino (arena)**

Este ensayo consiste en determinar el tamaño de partículas presentes en dicho material, se desarrollará mediante los tamices N°4 hasta el N°200 respectivamente, y de esta forma se calcula la cantidad de material que detiene cada malla (valores en porcentajes), y el resultado que arroja el análisis granulométrico es la proporción del árido fino o grueso que contiene las partículas que lo constituyen. El módulo de finura para morteros debe estar dentro del rango de 2,83 – 1.75 % según indica la NTE INEN, (ver Tabla 15).

- **Análisis granulométrico del PET**

En el resultado obtenido mediante el proceso de reciclado mecánico se calculará el módulo de finura según la NTE INEN 0696:2011 y Norma ASTM C33 y C136, es decir consiste en tamizar el agregado que se utilizará (partículas de polímeros PET), con la finalidad de calcular

el tamaño de partículas que retiene cada tamiz. Para el análisis granulométrico del PET se sigue el mismo procedimiento del árido fino, (ver Tabla 15).

- **Determinación de resistencia para dosificación**

La resistencia se la determina de acuerdo con el mortero que vamos a elaborar, en este caso al tratarse de un mortero de revestimiento no se requiere mayor resistencia a la comprensión a los 28 días, según la NTE INEN 2518:2010. En la Tabla 13 se observa la resistencia que posee el mortero (5,2 Mpa = 53,02 Kg/cm^2), este valor se aplica en los resultados tanto en la selección de fluidez como en el módulo de finura, para determinar el contenido de cemento en la dosificación de la mezcla con agregado de partículas de polímeros PET.

- **Determinación agua cemento**

Para definir la relación agua/cemento hay que tener presente la resistencia que necesita el mortero a elaborar, en este caso mortero de revestimiento. Por ende, factores como la trabajabilidad, durabilidad, retracción, entre otros, se deben considerar importantes en los morteros. En los resultados obtenidos del contenido de cemento se determina aproximadamente la relación agua/cemento, obteniendo como un valor óptimo para la dosificación de las mezclas a realizar.

Tabla 22. Relación agua/cemento para morteros según norma ISO y ASTM

ASPECTOS	ISO	ASTM
Relación agua/cemento	0.5 para todo tipo de cemento	0.485 Portland puro variable para cementos mezclados con fluidez 110 ± 5 %

Fuente: Norma ISO y ASTM
Elaborado por: El autor

3.3.2. Descripción de ensayos para realizar la propuesta de mortero de revestimiento

Se elaborarán muestras para ensayos de laboratorio bajo la norma INEN y ASTM, las pruebas que se realizarán se describen en la Tabla 23, luego los resultados se compararán con investigaciones pertinentes y entre sí, para determinar si el prototipo de material es apto en la industria de la construcción.

Tabla 23. Ensayos para determinar la resistencia, absorción de agua y coeficiente de permeabilidad en morteros de revestimiento

Ensayos	Norma oficial
Determinación de la resistencia a la compresión	NTE INEN 488:2009
Determinación de la resistencia a la flexión	NTE INEN 198
Determinación de la absorción de agua	NTE INEN 642
Determinación del coeficiente de permeabilidad	ASTM D2434
Determinación de factores en el prototipo de mortero puesto en obra	Método empírico

Fuente: Norma nacional e internacional
Elaborado por: El autor

- **Determinación de resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión se la determinará mediante un procedimiento normalizado, para el cual se elaborarán 3 cubos de arista 50 mm, para poder romperlos en un tiempo determinado de 7, 14 y 28 días de curado, de acuerdo con la NTE INEN 488:2009. Este procedimiento se lo desarrollará en una máquina triaxial, para determinar el punto de rotura que proporciona cada probeta en los días determinados.

Imagen 9. Máquina de comprensión triaxial

Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

- **Determinación de resistencia a la flexión**

Este ensayo se determinará mediante un procedimiento normalizado, en el cual se elaborarán probetas según la proporción de PET que se le añadirá (mortero base; 5; 10; 15 y 20 %), estas probetas tienen una dimensión 40 x 40 x 160 mm. Para la rotura en laboratorio se coloca en dos apoyos de 15 cm, en la máquina de Versa Tester, de igual manera se romperá en un tiempo de 7, 14 y 28 días, de acuerdo con la NTE INEN 198.

"Una viga de hormigón simple apoyada libremente en los extremos es cargada en los tercios de la luz libre hasta que ocurra la rotura del espécimen" NTE INEN 198.

Imagen 10. Máquina de flexión.Versa Tester

Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

- **Determinación de absorción de agua**

El ensayo consiste en comprobar la capacidad de agua que absorbe un mortero en un determinado tiempo. Al igual que los otros ensayos se elaborarán tres especímenes en los días de curados requeridos por la normativa.

Imagen 11. Absorción de agua

Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

- **Determinación del coeficiente de permeabilidad**

Para determinar el coeficiente de permeabilidad se realizará el ensayo, que consiste en calcular el paso del agua a través de sus vacíos, de acuerdo con la ley de Darcy.

$$V = K_w \frac{A}{l} \Delta h_w t$$

Donde:

V	Es el volumen de agua en m^3 que fluye en un tiempo t
Δhw	Es el gradiente en metros
A	Es el área de penetración en m^2
t	Es el tiempo en segundos
l	Es el espesor del elemento metros
Kw	Es el coeficiente de permeabilidad

Fuente: Ley de Darcy
Elaborado por: El autor

Imagen 12. Coeficiente de permeabilidad

Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

- **Determinación de factores como el tiempo de fraguado y endurecimiento, trabajabilidad, agrietamiento en el prototipo de mortero puesto en obra**

El prototipo de mortero puesto en obra tiene como objetivo determinar el tiempo que un albañil demora en colocarlo en paredes, el tiempo de fraguado y endurecimiento del mortero, la trabajabilidad que presenta dicho mortero y finalmente si existe o no grietas después de llevar el curado requerido, esto se desarrollará tanto en el mortero base, como en el mortero PET.

Imagen 13. Revestimiento de pared con mortero

Elaborado por: El autor

3.3.3. Matriz para corroborar los resultados obtenidos en los ensayos

Para realizar la matriz que recolectará los datos obtenidos de cada ensayo, se debe tener presente que se realizará mediante dos variables que son:

- Mortero base, dosificación sin adición del polímero PET. (Grupo de comparación)
- Mortero con la misma dosificación con variación en la adición del polímero PET. (Equivalencia de grupo).

Tabla 24. Matriz para corroborar resultados de ensayos

Ensayo de resistencia a la comprensión de morteros en cubos de 50mm de arista - NTE INE 488:2009								
Ensayo sometido a comprensión a los 7 días de curado								
Elaboración	**Rotura**	**Probeta**	**Dosificación**			**Relación A/C**	**Peso húmedo (Gr)**	**Resistencia kg/cm²**
			Cemento	**Arena**	**Partículas %**			
Promedio								

Elaborado por: El autor

Capítulo 4

4. Diseño experimental del mortero de revestimiento

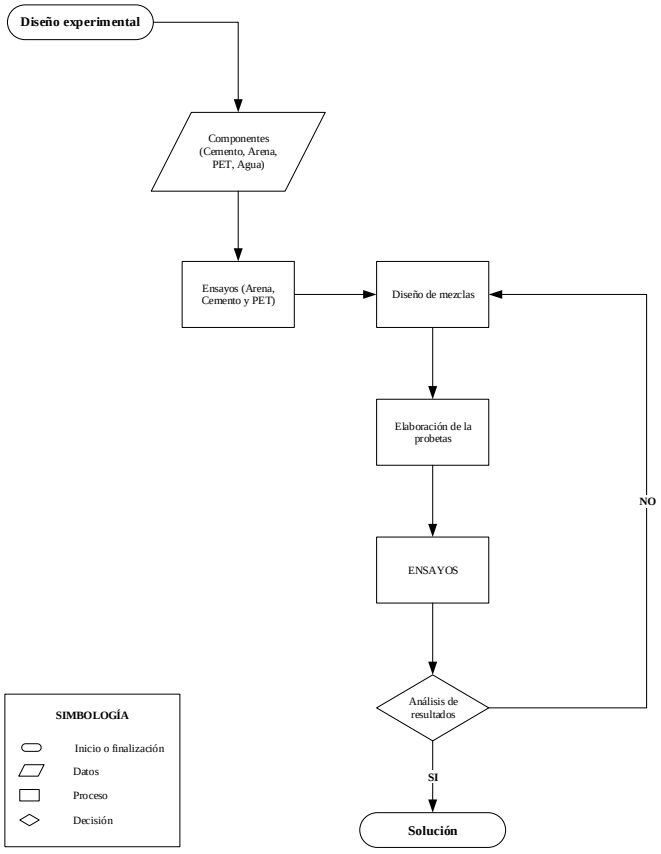
4.1.Metodología para el diseño experimental del mortero de revestimiento

La metodología aplicada en este proceso requiere utilizar los datos obtenidos en el marco teórico del mortero de cemento y del PET, para realizar ensayos en los materiales (arena, cemento y PET) donde se determina el módulo de finura (arena y PET), y la densidad del cemento. Con los resultados obtenidos se desarrolla la dosificación de mortero de cemento.

Una vez obtenida la dosificación se elaborarán las probetas según lo determina la NTE INEN y se procederá a realizar los ensayos mecánicos establecidos en esta investigación.

Finalmente, se analizan los resultados para comprobar si estos cumplen con los requisitos establecidos por la NTE INEN, y poderlo aplicar en obra. En caso de que no cumplan con lo establecido en la norma se tiene que regresar al diseño de mezcla y volver a desarrollar el proceso descrito.

Ilustración 6. Esquema de metodología aplicada en el diseño experimental



Elaborado por: El autor

4.2.Ensayos previos para la elaboración del mortero de revestimiento

Se realizan ensayos previos al diseño de mezcla (dosificación) con el fin de obtener resultados de granulometría (arena, PET y arena + PET), contenido de humedad en la arena y finalmente se determina la fluidez de los distintos tipos de morteros.

A continuación, se describen los ensayos previos para desarrollar la dosificación en los distintos tipos de morteros de cemento:

- **Granulometría de la arena, PET y arena + PET**

Para determinar el módulo de finura que presenta tanto la arena como el plástico tipo PET y la mezcla de estos dos materiales a utilizar en la propuesta de mortero de revestimiento se usó la NTE INEN 696:2011, la cual debe cumplir con los requisitos que designa la NTE INEN 2536:2010 (rango 2,83 – 1,75%), donde se tuvo como resultados los siguientes valores (ver Anexos 1, 2, 3, 4 y 5).

Imagen 14. Ensayo de análisis granulométrico

Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

Tabla 25. Determinación del módulo de finura de la arena y PET

Análisis granulométrico					
Módulo de finura	Arena	PET	Arena + 5 % PET	Arena + 10 % PET	Arena + 20 % PET
	2,27	1,40	2,20	2,13	2,13
Rango	2,83 – 1,75				

Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

- **Contenido de humedad en la arena**

El contenido de humedad se calcula mediante la norma ASTM C566, con la finalidad de obtener el porcentaje de agua que retiene el árido fino para tener en cuenta en el diseño de mezcla, ver Anexo 6. La fórmula que se utiliza es la siguiente:

$$\%\ de\ humedad = \frac{PH - PS}{PH}\ x\ 100$$

Donde:

% de humedad	Porcentaje de agua retenida en la arena
PH	Peso húmedo de la arena
PS	Peso seco de la arena

Fuente: Norma ASTM C566
Elaborado por: El autor

Imagen 15. Análisis del contenido de humedad en la arena

Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

Tabla 26. Análisis del contenido de humedad en la arena

Descripción	Peso (gr)
PH	81,23
PS	76,31
% de humedad	8,26

Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

- **Fluidez de mortero base y mortero con 5%, 10% y 20% de partículas de polímeros PET**

Para calcular la fluidez que presentan los diferentes tipos de morteros se utilizó la NTE INEN 2500:2009 (rango 100 a 120 %), donde la fórmula que se emplea es la siguiente:

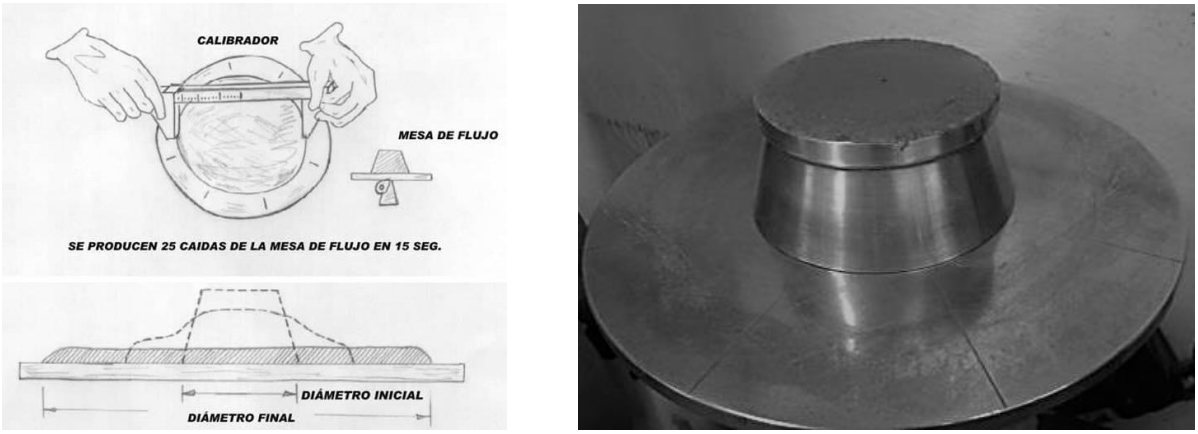
$$\%\ fluidez = \frac{Ø\ final - Ø\ inicial}{Ø\ inicial}\ x\ 100$$

Donde:

% fluidez	Porcentaje de fluidez de mortero
Ø final	Diámetro final
Ø inicial	Diámetro inicial

Fuente: NTE INEN 2500:2009
Elaborado por: El autor

Imagen 16. Ensayo de análisis de la fluidez en morteros



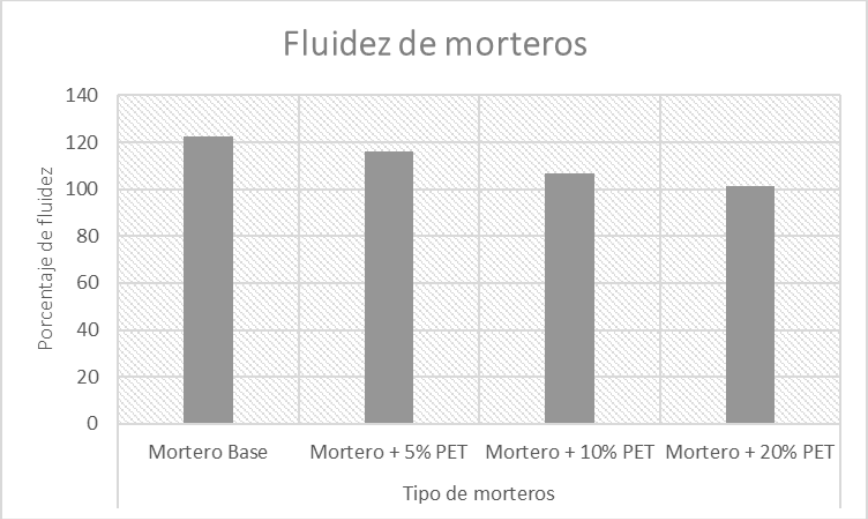
Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

Tabla 27. Determinación de la fluidez en morteros de cemento

	Tipos de morteros			
Fluidez	Mortero Base	Mortero + 5% PET	Mortero + 10% PET	Mortero + 20% PET
	122,5	115,9	106,8	101,4
Rango	100 – 120 %			

Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

Ilustración 7. Esquema de fluidez en morteros de cemento



Elaborado por: El autor

Como conclusión de esta fase experimental de ensayos previos al diseño de mezcla de morteros de revestimiento, se puede decir que el análisis granulométrico y la fluidez de morteros en el mortero base y en los morteros con 5 %, 10 % y 20 % de partículas de polímeros PET, cumplen con los requisitos que establece la NTE INEN 2536 y 2500, por lo cual se procede al diseño de mezcla con los resultados obtenidos. Cabe mencionar que el rango para ensayos granulométricos esta entre 2,83 % – 1,75 %, y para la fluidez es de 100 % a 120 %.

4.3.Diseño de mezcla para mortero base y mortero PET en porcentajes del 5 %, 10% y 20 %, con relación al peso del árido fino

Para establecer el diseño de mezcla tanto en el mortero base como en el mortero con agregado de partículas PET, se dosifico por relación al peso de todos los materiales que componen el mortero de cemento, con la metodología propuesta en el Capítulo 3, numeral 3.3.1. Además, el contenido de humedad que se realizó a la arena no se consideró ya que se optó por realizar los ensayos de arena en estado seco, para no tener valores erróneos.

Se va a diseñar un mortero de cemento con una resistencia a la comprensión a los 28 días de 5,2 MPa = 53,02 kg/cm^2, donde se considera el coeficiente de desviación de morteros y se elige un mortero de 5,9 Mpa = 60 kg/cm^2, el coeficiente de desviación se da por la cantidad de ensayos que se pretende realizar.

Imagen 17. Fase experimental del diseño de mezcla para mortero de cemento

Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

4.3.1. Dosificación para mortero base

Mortero con resistencia a la comprensión a los 28 días de 60 kg/cm^2.

El mortero es plástico con una fluidez de 122,5 %, ver Tabla 27.

Módulo de finura es de 2,27, ver Tabla 25.

Paso 1. Cuantía de cemento

Con la resistencia a los 28 días y el módulo de finura obtenidos se obtiene:

$$Cemento = 320\ kg\ por\ m^3\ de\ mortero, ver\ Anexo\ 7$$

Paso 2. Cantidad de agua

Relación A/C = 0,95, ver Anexo 8

Luego: Cantidad de agua =

$$A = 0{,}95\ x\ 320 = 304\ Litros\ por\ m^3\ de\ mortero$$

Paso 3. Contenido de arena

Se sabe por ensayos de laboratorio que:

- Densidad del cemento = 3,08 g/cm^3 = 3080 kg/m^3
- Peso específico de la arena saturada y superficialmente seca = 2,55 g/cm^3
- Peso unitario suelto de la arena = 1,6 g/cm^3
- Volumen del cemento: Vc

$$Vc = \frac{320\ kg}{3080} = 0{,}104\ m^3\ por\ m^3\ de\ mortero$$

- Volumen de agua = 304 litros = 0,304 m^3
- Volumen del aire incluido = 0,035
- Luego el volumen de arena Var será:

$$Var = 1 - Vc - Vagua - Vaire$$

$$Var = 1 - (0{,}104\ +\ 0{,}304 + 0{,}035)$$

$$Var = 0{,}443\ m^3\ por\ m^3\ de\ mortero$$

- Masa de la arena = Var x densidad de la arena

$$Masa\ de\ arena = 0{,}443\ x\ 2550$$

$$Masa\ de\ arena = 1129{,}65\ kg\ por\ m^3\ de\ mortero$$

Tabla 28. Datos para dosificación del mortero base

Dosificación de mortero base	
Cuantía de cemento	320 kg/m^3
Cantidad de agua	304 L/m^3
Cantidad de arena	1129.65 g/m^3

Elaborado por: El autor

4.3.2. Dosificación para mortero con 5 % de partículas de polímeros PET

Mortero con resistencia a la comprensión a los 28 días de 60 kg/cm^2.

El mortero es plástico con una fluidez de 115,9 %, ver Tabla 27.

Módulo de finura es de 2,20, ver Tabla 25.

Paso 1. Cuantía de cemento

Con la resistencia a los 28 días y el módulo de finura obtenidos se obtiene:

$$Cemento = 325\ kg\ por\ m^3\ de\ mortero, ver\ Anexo\ 7$$

Paso 2. Cantidad de agua

Relación A/C = 0,95, ver Anexo 8

Luego: Cantidad de agua =

$$A = 0{,}95\ x\ 325 = 308{,}75\ Litros\ por\ m^3\ de\ mortero$$

Paso 3. Contenido de arena

Se sabe por ensayos de laboratorio que:

- Densidad del cemento = 3,08 g/cm^3 = 3080 kg/m^3
- Peso específico de la arena saturada y superficialmente seca = 2,55 g/cm^3
- Peso unitario suelto de la arena = 1,6 g/cm^3
- Volumen del cemento: Vc

$$Vc = \frac{325\ kg}{3080} = 0{,}106\ m^3\ por\ m^3\ de\ mortero$$

- Volumen de agua = 308,75 litros = 0.309 m^3
- Volumen del aire incluido = 0,035
- Luego el volumen de arena Var será:

$$Var = 1 - Vc - Vagua - Vaire$$

$$Var = 1 - (0{,}106\ +\ 0{,}309 + 0{,}035)$$

$$Var = 0{,}45\ m^3\ por\ m^3\ de\ mortero$$

- Masa de la arena = Var x densidad de la arena

$$Masa\ de\ arena = 0{,}45\ x\ 2550$$

$$Masa\ de\ arena = 1147{,}5\ kg\ por\ m^3\ de\ mortero$$

Tabla 29. Datos para dosificación de mortero con 5% de PET

Dosificación de mortero + 5 % PET	
Cuantía de cemento	325 kg/m^3
Cantidad de agua	309 L/m^3
Cantidad de arena	1147,5 kg/m^3

Elaborado por: El autor

4.3.3. Dosificación para mortero con 10 % de partículas de polímeros PET

Mortero con resistencia a la comprensión a los 28 días de 60 kg/cm^2.

El mortero es plástico con una fluidez de 106,8 %, ver Tabla 27.

Módulo de finura es de 2,13, ver Tabla 25.

Paso 1. Cuantía de cemento

Con la resistencia a los 28 días y el módulo de finura obtenidos se obtiene:

$$Cemento = 330\ kg\ por\ m^3\ de\ mortero, ver\ Anexo\ 7$$

Paso 2. Cantidad de agua

Relación A/C = 0,95, ver Anexo 8

Luego: Cantidad de agua =

$$A = 0{,}95\ x\ 330 = 313{,}5\ Litros\ por\ m^3\ de\ mortero$$

Paso 3. Contenido de arena

Se sabe por ensayos de laboratorio que:

- Densidad del cemento = 3,08 g/cm^3 = 3080 kg/m^3
- Peso específico de la arena saturada y superficialmente seca = 2,55 g/cm^3
- Peso unitario suelto de la arena = 1,6 g/cm^3
- Volumen del cemento: Vc

$$Vc = \frac{330\ kg}{3080} = 0{,}107\ m^3\ por\ m^3\ de\ mortero$$

- Volumen de agua = 313,5 litros = 0,314 m^3
- Volumen del aire incluido = 0,035
- Luego el volumen de arena Var será:

$$Var = 1 - Vc - Vagua - Vaire$$

$$Var = 1 - (0{,}107 \ + \ 0{,}314 + 0{,}035)$$

$$Var = 0{,}456\, m^3\ por\ m^3\ \ de\ mortero$$

- Masa de la arena = Var x densidad de la arena

$$Masa\ de\ arena = 0{,}456\ x\ 2550$$

$$Masa\ de\ arena = 1162{,}8\ kg\ por\ m^3\ de\ mortero$$

Tabla 30. Datos para dosificación de mortero con 10% de PET

Dosificación de mortero + 10 % PET	
Cuantía de cemento	330 kg/m^3
Cantidad de agua	314 L/m^3
Cantidad de arena	1162,8 kg/m^3

Elaborado por: El autor

4.3.4. Dosificación para mortero con 20 % de partículas de polímeros PET

Para el diseño de mezcla de mortero con 20 % de PET, se consideran los mismos datos que se obtuvieron en el diseño de mezcla de mortero con 10 % de PET, ya que los resultados nos arrojaron el mismo módulo de finura.

Tabla 31. Datos para dosificación de mortero con 20% de PET

Dosificación de mortero + 20 % PET	
Cuantía de cemento	330 kg/m^3
Cantidad de agua	314 L/m^3
Cantidad de arena	1162,8 kg/m^3

Elaborado por: El autor

Las proporciones para el mortero de cemento son: 1:3,5, es decir 1 de cemento y 3,5 de arena.

4.4.Elaboración de probetas para la dosificación de materiales en nueve probetas

Para desarrollar los ensayos se requieren nueve probetas, ya que la NTE INEN determina que por cada día de curado es importante romper tres probetas, por lo tanto, se calcula el porcentaje de material que se utilizará en nueve probetas para cada porcentaje de agregado PET.

4.4.1. Elaboración de nueve probetas cúbicas de 50mm de arista, para el ensayo de resistencia a la compresión y absorción de agua

$$Probetas = 5x5x5\ cm$$

$$V\ de\ Probetas = 125\ cm$$

$$V\ de\ Probetas = 125\ x\ 9 = 1125\ cm$$

$$V\ de\ Probetas = \frac{1125}{1000000} = 0{,}001125\ m^3$$

Tabla 32. Resultados obtenidos para dosificación de nueve probetas cúbicas de 50mm de arista

MORTERO BASE					
Material	**Vol = 1 m³**	**Vol = 0,001125 m³**	**Peso específico (kg/m³)**	**Masa (kg)**	**Masa (gr)**
Cemento	0,104	0,000117	3080	0,36036	360,36
Arena	0,443	0,000498	2550	1,27086	1270,86
Agua	0,304	0,000342	1000	0,342	342
MORTERO + 5 % PET					
Material	**Vol = 1 m³**	**Vol = 0,001125 m³**	**Peso específico (kg/m³)**	**Masa (kg)**	**Masa (gr)**
Cemento	0,106	0,000119	3080	0,36729	367,29
Arena	0,45	0,000506	2550	1,29094	1290,94
Agua	0,309	0,000348	1000	0,34763	347,63
95 % de arena					1226,39
5 % de PET					64,55
MORTERO + 10 % Y 20 % PET					
Material	**Vol = 1 m³**	**Vol = 0,001125 m³**	**Peso específico (kg/m³)**	**Masa (kg)**	**Masa (gr)**
Cemento	0,107	0,000120	3080	0,37076	370,76
Arena	0,456	0,000513	2550	1,30815	1308,15
Agua	0,314	0,000353	1000	0,35325	353,25
90 % de arena					1177,33
10 % de PET					130,82
80 % de arena					1046,52
20 % de PET					261,63

Elaborado por: El autor

Imagen 18. Probetas bajo NTE INEN 488, para ensayo de resistencia a la comprensión

Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

4.4.2. Elaboración de nueve probetas tipo prismas de 40x40x160mm, para el ensayo de resistencia a la flexión

$$Probetas = 4x4x16\ cm$$

$$V\ de\ Probetas = 256\ cm$$

$$V\ de\ Probetas = 256\ x\ 9 = 2304\ cm$$

$$V\ de\ Probetas = \frac{2304}{1000000} = 0{,}002304\ m^3$$

Tabla 33. Resultados obtenidos para dosificación de 9 probetas tipo prismas de 40x40x160mm

MORTERO BASE					
Material	**Vol = 1 m³**	**Vol = 0,002304 m³**	**Peso específico (kg/m³)**	**Masa (kg)**	**Masa (gr)**
Cemento	0,104	0,00024	3080	0,7392	739.2
Arena	0,443	0,00102	2550	2,601	2601
Agua	0,304	0,00070	1000	0,7	700
MORTERO + 5 % PET					
Material	**Vol = 1 m³**	**Vol = 0,002304 m³**	**Peso específico (kg/m³)**	**Masa (kg)**	**Masa (gr)**
Cemento	0,106	0,000244	3080	0,752	752
Arena	0,45	0,00104	2550	2,652	2652
Agua	0,309	0,00071	1000	0,71	710
95 % de arena					2519,4
5 % de PET					132,6
MORTERO + 10 % Y 20 % PET					
Material	**Vol = 1 m³**	**Vol = 0,002304 m³**	**Peso específico (kg/m³)**	**Masa (kg)**	**Masa (gr)**
Cemento	0,107	0,000246	3080	0,757	757
Arena	0,456	0,00105	2550	2,6775	2677,5
Agua	0,314	0,00072	1000	0,72	720
90 % de arena					2409,75
10 % de PET					267,75
80 % de arena					2142
20 % de PET					535,5

Elaborado por: El autor

Imagen 19. Probetas bajo NTE INEN 198, para ensayo de resistencia a la flexión

Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

4.4.3. Elaboración de nueve probetas cilíndricas de Ø 10 de diámetro, para el ensayo de coeficiente de permeabilidad.

$$Ab = \pi r^2$$

$$Ab = \pi 5^2 = 78.54\ cm^2$$

$$V\ de\ Probetas = Ab\ x\ h$$

$$V\ de\ Probetas = 78{,}54\ x\ 7 = 549{,}78\ cm^3$$

$$V\ de\ Probetas = 549{,}78\ x\ 9 = 4948{,}02$$

$$V\ de\ Probetas = \frac{4948.02}{1000000} = 0{,}004948\ m^3$$

Tabla 34. Resultados obtenidos para dosificación de 9 probetas de Ø 10 de diámetro

MORTERO BASE					
Material	**Vol = 1 m³**	**Vol = 0,004948 m³**	**Peso específico (kg/m³)**	**Masa (kg)**	**Masa (gr)**
Cemento	0,104	0,000515	3080	1,58494	1584,94
Arena	0,443	0,002192	2550	5,58951	5589,51
Agua	0,304	0,001504	1000	1,50419	1504,19
MORTERO + 5 % PET					
Material	**Vol = 1 m³**	**Vol = 0,004948 m³**	**Peso específico (kg/m³)**	**Masa (kg)**	**Masa (gr)**
Cemento	0,106	0,000524	3080	1,61542	1615,42
Arena	0,45	0,002227	2550	5,67783	5677,83
Agua	0,309	0,001529	1000	1,52893	1528,93
95 % de arena					5393,8
5 % de PET					284
MORTERO + 10 % Y 20 % PET					
Material	**Vol = 1 m³**	**Vol = 0,004948 m³**	**Peso específico (kg/m³)**	**Masa (kg)**	**Masa (gr)**
Cemento	0,107	0,000529	3080	1,63066	1630,66
Arena	0,456	0,002256	2550	5,75353	5753,53
Agua	0,314	0,001554	1000	1,55367	1553,67
90 % de arena					5178,18
10 % de PET					575,35
80 % de arena					4602,82
20 % de PET					1150,71

Elaborado por: El autor

Imagen 20. Probetas bajo norma ASTM D2434, para ensayo de coeficiente de permeabilidad

Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

4.5.Fase experimental de ensayos en estado endurecido

La fase experimental de ensayos se realiza de acuerdo con la NTE INEN y ASTM, donde para morteros de revestimiento se emplearon los siguientes ensayos en estado endurecido, tanto en el mortero base (cemento – arena y agua), como en el mortero con agregado de partículas de polímeros PET (cemento – arena – agua y 5 %, 10 % y 20 % de PET) en relación con el peso del árido fino, en estado seco.

A continuación, se describen los ensayos que se realizarán en la fase experimental de mortero de cemento. (mortero base y mortero con partículas de polímeros PET, en porcentajes de 5 %, 10 % y 20 %)

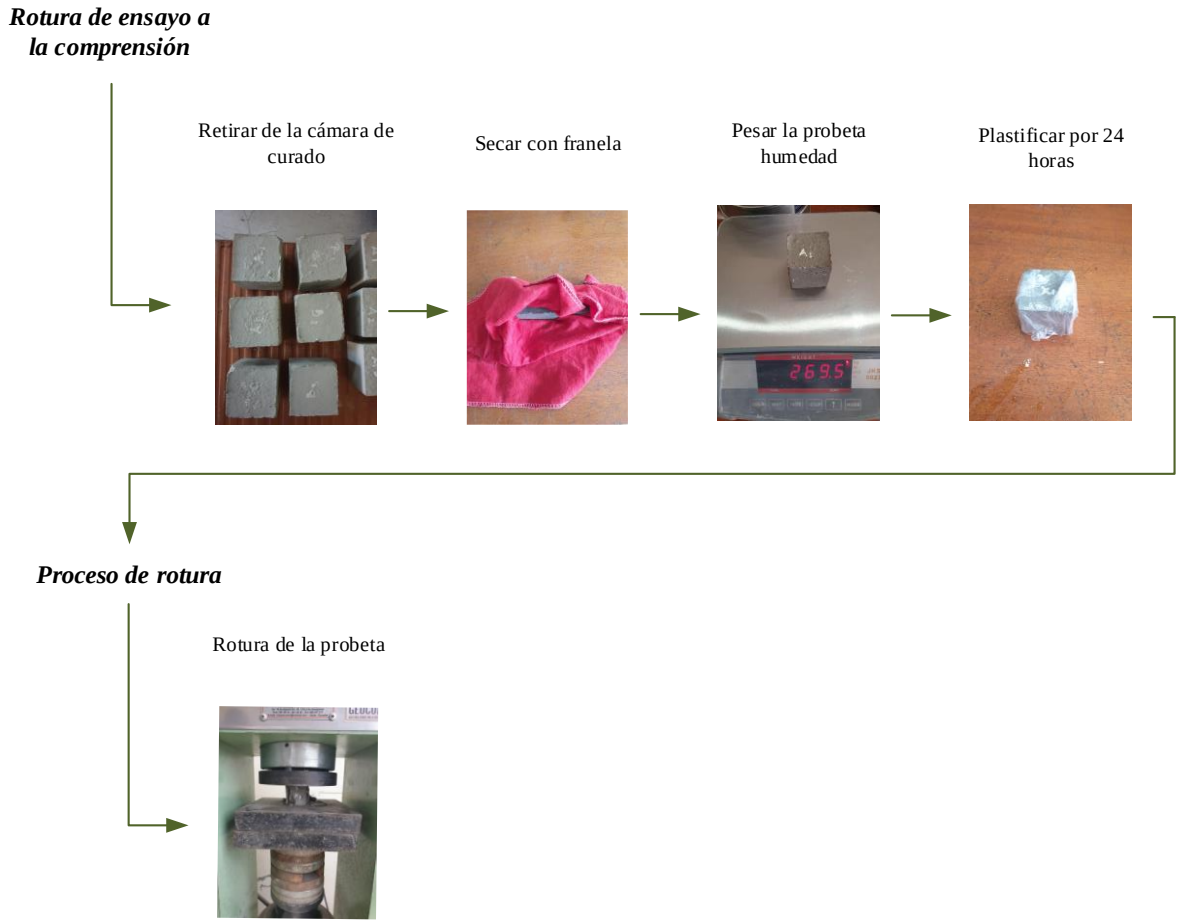
4.5.1. Ensayo de resistencia a la comprensión

El ensayo de resistencia a la compresión se rige bajo la NTE INEN 488:2009, la cual se encarga de calcular el esfuerzo máximo que soporta un mortero de cemento con una carga de aplastamiento, para ello se calculó el punto de rotura final. Para este ensayo se diseñaron nueve probetas para ser probadas a los 7, 14 y 28 días, una vez cumplido las 24 horas de fraguado se desencofra y se coloca en la cámara de curado en los días establecidos por la norma antes mencionada.

Ilustración 8. Esquema del proceso para realizar el ensayo de resistencia a la comprensión

Fuente: GEOCONS y NTE INEN 488:2009
Elaborado por: El autor

Ilustración 9. Esquema del proceso de rotura de resistencia a la comprensión



Fuente: GEOCONS y NTE INEN 488:2009
Elaborado por: El autor

Imagen 21. Falla de rotura de resistencia a la compresión

Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

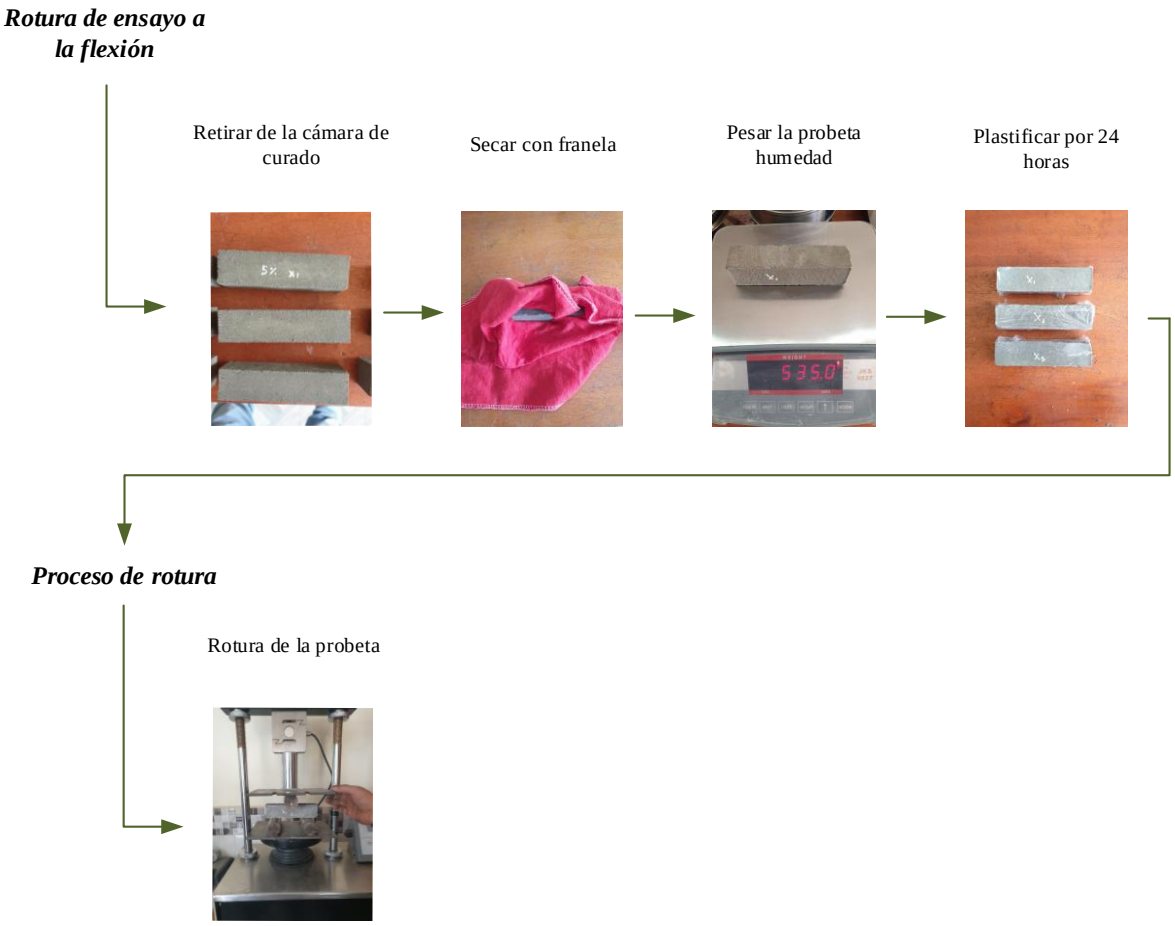
4.5.2. Ensayo de resistencia a la flexión

El ensayo de resistencia a la flexión se rige bajo la NTE INEN 198, la cual se encarga de calcular el esfuerzo máximo que soporta un mortero de cemento con tres puntos de carga de aplastamiento, para ello se calculó el punto de rotura final. Para este ensayo se diseñaron nueve probetas para ser probadas a los 7, 14 y 28 días, una vez cumplido las 24 horas de fraguado se desencofra y se coloca en la cámara de curado en los días establecidos por NTE INEN.

Ilustración 10. Esquema del proceso para realizar ensayo de resistencia a la flexión

Fuente: GEOCONS y NTE INEN 198
Elaborado por: El autor

Ilustración 11. Esquema del proceso de rotura de resistencia a la flexión



Fuente: GEOCONS y NTE INEN 198
Elaborado por: El autor

Imagen 22. Falla de rotura de resistencia a la flexión

Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

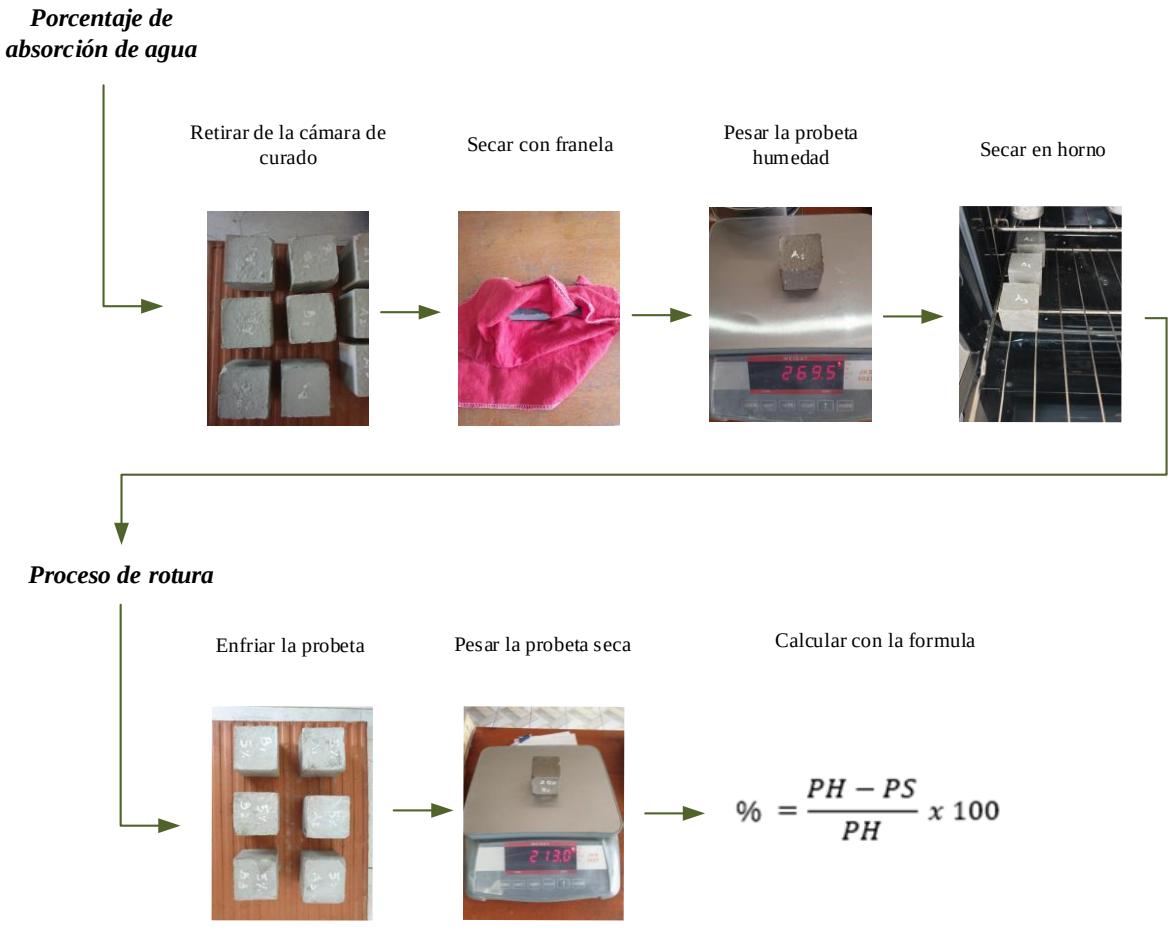
4.5.3. Ensayo determinación de absorción de agua

El ensayo de absorción de agua se rige bajo la NTE INEN 2518:2010, la cual se encarga de calcular el porcentaje de agua que un mortero absorbe en un determinado tiempo. Para este ensayo se diseñaron nueve probetas para ser probadas a los 7, 14 y 28 días, una vez cumplido las 24 horas de fraguado se desencofra y se coloca en la cámara de curado en los días establecidos por NTE INEN.

La absorción de agua en los morteros se calcula con la siguiente formula:

$$\%\ de\ absorción\ de\ agua = \frac{PH - PS}{PH}\ x\ 100$$

Ilustración 12. Esquema del proceso para determinar el porcentaje de absorción de agua



Fuente: GEOCONS y NTE INEN 2518:2010

Elaborado por: El autor

Imagen 23. Determinación de absorción de agua

Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

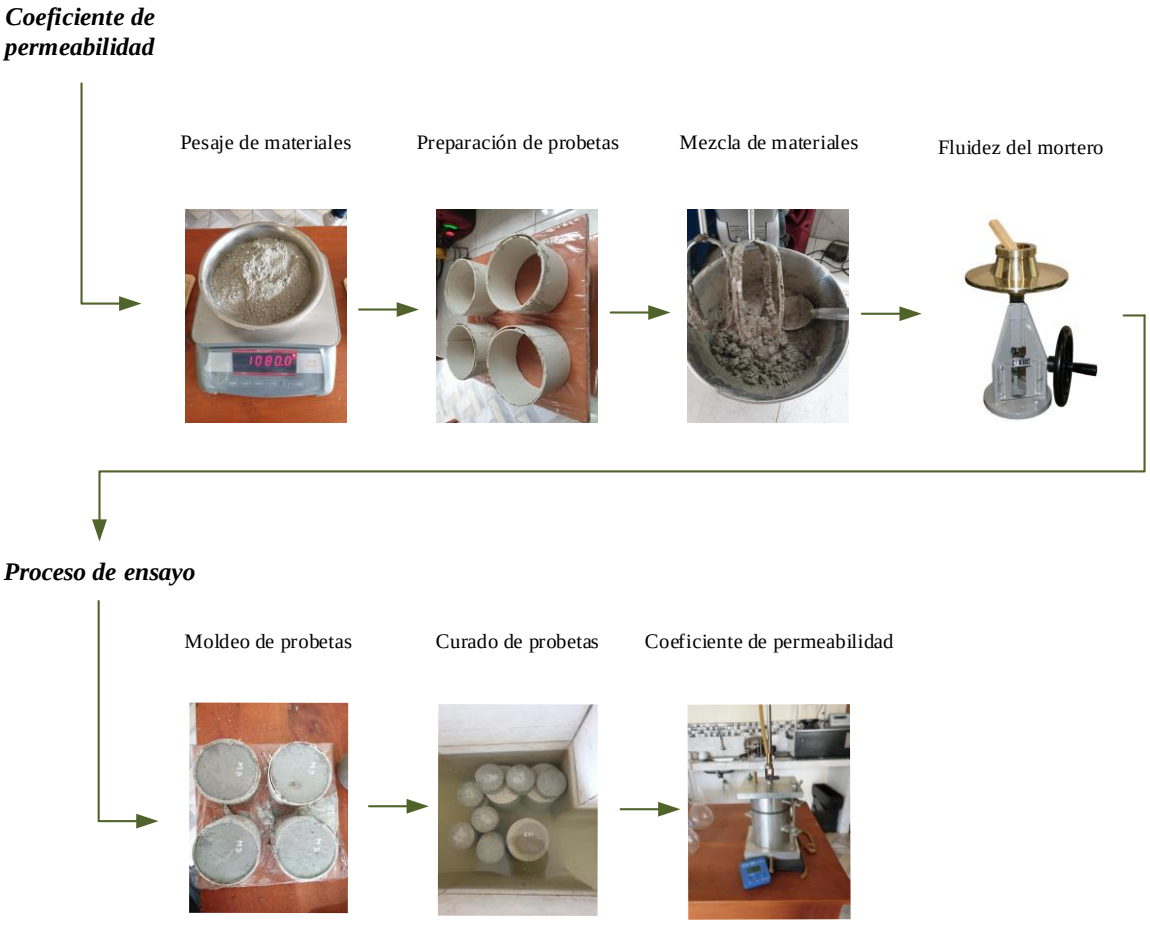
4.5.4. Ensayo determinación del coeficiente de permeabilidad

El ensayo de coeficiente de permeabilidad se rige bajo la norma ASTM D2434, la cual se encarga de calcular el coeficiente de permeabilidad en base a la Ley de Darcy en un mortero. Para este ensayo se diseñaron nueve probetas para ser probadas a los 7, 14 y 28 días, una vez cumplido las 24 horas de fraguado se desencofra y se coloca en la cámara de curado en los días establecidos por NTE INEN.

El coeficiente de permeabilidad en los morteros se calcula con la siguiente formula:

$$V = K_w \frac{A}{l} \Delta h_w t$$

Ilustración 13. Esquema del proceso para determinar el coeficiente de permeabilidad



Fuente: GEOCONS y ASTM D2434
Elaborado por: El autor

Imagen 24. Determinación del coeficiente de permeabilidad

Fuente: GEOCONS
Elaborado por: El autor

4.5.5. Ensayo de mortero colocado en obra

El ensayo de mortero colocado en una pared se realizó con un método que utilizan los obreros en la construcción, sin embargo, se consideró la proporción 1:3,5 que se obtuvo en el diseño de mezcla (Ver capítulo 4, numeral 4.3.), para el desarrollo de este ensayo se tomaron los resultados que se obtuvieron en la fase experimental de laboratorio, el cual dio valores idóneos. Para este ensayo se considera el mortero con el 10 % del reemplazo del árido fino por las partículas de polímeros PET, (ver Capítulo 5, numeral 5.1.).

Ilustración 14. Esquema de proceso para realizar el ensayo de mortero colocado en obra

Fuente: Maestro de construcción
Elaborado por: El autor

4.6. Análisis de mortero con 10% de partículas de polímeros PET, en microscopio estéreo

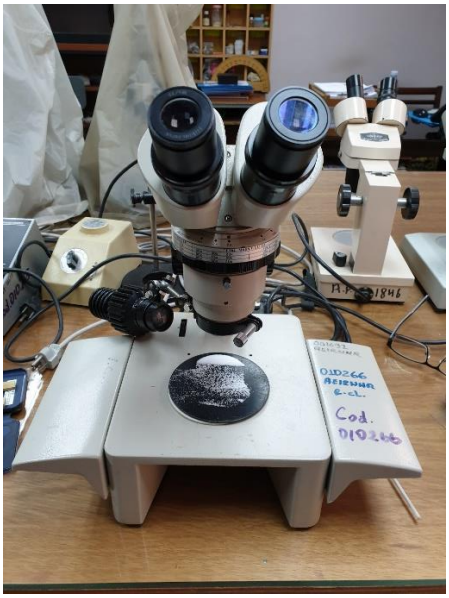
El mortero con 10 % de partículas de polímeros PET fue analizado en microscopio estéreo de marca Nikon (japonés) con acercamiento de 20 x, porque permitió mejor visualización. El objetivo fue determinar la adherencia que tiene las partículas en el mortero de cemento.

Imagen 25. Microscopio estéreo

Fuente: UNL (Facultad de Geología y Minas)
Elaborado por: El autor

Primeramente, se analizaron las partículas de polímeros PET, donde se puede observar que las partículas son deformes, considerándose factibles para los morteros de cemento, porque permiten mayor adherencia y cubren vacíos que suelen dejar los morteros, a esto llamamos porosidad (ver Imagen 26). Posteriormente se analiza la probeta con 10 % de partículas de polímeros PET, en curado y rotura de 28 días según establece la NTE INEN, para demostrar lo antes mencionado (ver Imagen 27).

Imagen 26. Análisis de partículas de polímeros PET



Fuente: UNL (Facultad de Geología y Minas)
Elaborado por: El autor

Imagen 27. Análisis de mortero con 10 % de partículas de polímeros PET

Fuente: UNL (Facultad de Geología y Minas)
Elaborado por: El autor

Capítulo 5

5. Resultados y Discusión de resultados

5.1.Resultados

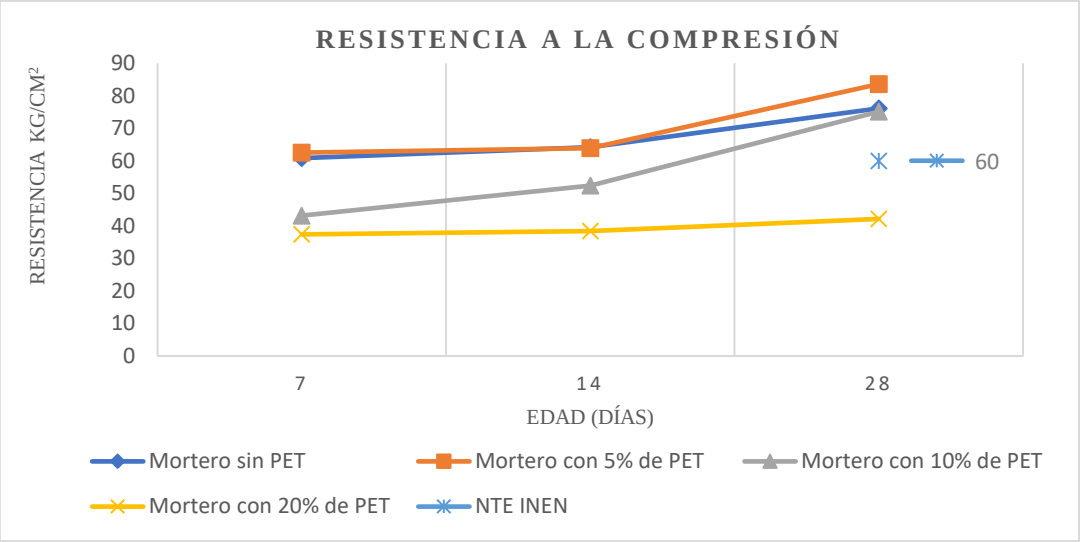
Los resultados de la fase experimental fueron obtenidos bajo procedimientos que establece la norma tanto nacional como internacional, (ver Capítulo 4, numeral 4.3.) donde se obtuvieron dosificaciones para mortero base y mortero con el 5 %, 10 % y 20 % de partículas de polímeros PET en sustitución del árido fino, con relación al peso en estado seco, posteriormente, se calcularon los datos para nueve especímenes, (ver Capítulo 4 numeral 4.4.) seguidamente se desarrollaron los ensayos mecánicos que se designaron al inicio de la investigación con el objetivo de comprobar la hipótesis y resolver la problemática planteada (ver Capítulo 1, numerales 1.2. y 1.5.); finalmente, se optó por utilizar el mortero con el 10 % de partículas de polímeros PET para ser colocado en obra (ver Capítulo 4, numeral 4.5.5.) ya que fueron las muestras que mejores resultaron obtuvieron junto con la del 5 %, pero por mayor agregado PET se eligió la muestra anteriormente mencionada.

A continuación, se presentan los resultados que fueron obtenidos en la fase experimental para los ensayos que se realizaron.

5.1.1. Resultados de resistencia a la compresión

Los resultados obtenidos en la fase experimental de ensayos de resistencia a la compresión se pueden observar en la Gráfica 1, la resistencia a los 28 días es mayor en el mortero base y morteros con el 5 % y 10 % de PET, mientras que el mortero con el 20 % de PET se encuentra fuera del rango según establece la NTE INEN 488 para este ensayo, (ver Tabla 13 y Capítulo 4, numeral 4.3.). Así mismo, se pueden observar los (Anexos 9, 10, 11 y 12), donde se describen los resultados obtenidos.

Gráfica 1. Resultados de resistencia a la compresión

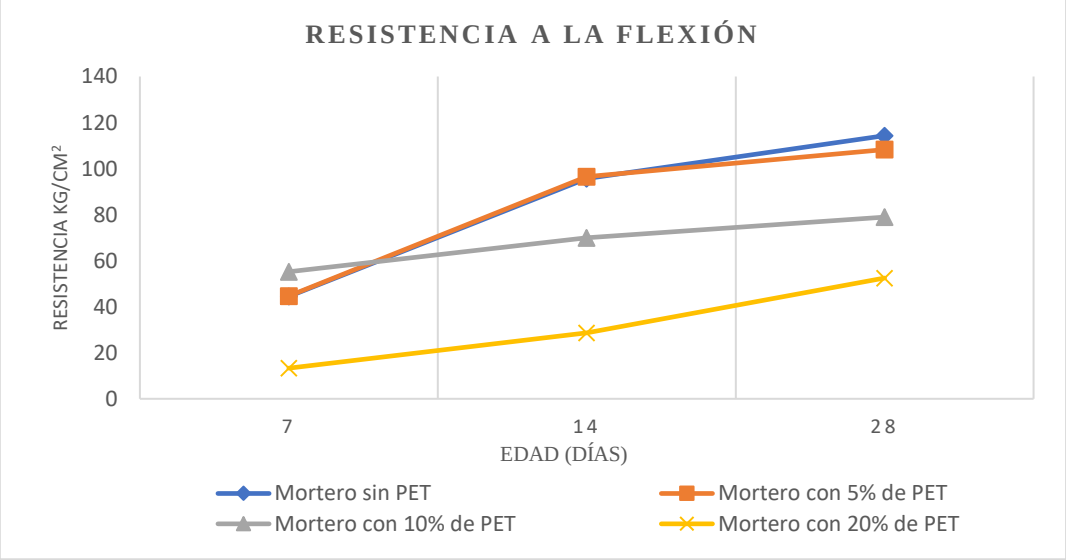


Elaborado por: El autor

5.1.2. Resultados de resistencia a la flexión

Los resultados obtenidos en la fase experimental de ensayos de resistencia a la flexión se pueden observar en la Gráfica 2, en que la resistencia a los 28 días es mayor en el mortero base y morteros con el 5 % y 10 % de PET, mientras que el mortero con el 20 % de PET se encuentra con una resistencia muy baja comparado con las demás muestras; la NTE INEN 198 no determina un valor para estos ensayos, por lo tanto, se comparan los resultados con el mortero base. Así mismo, se pueden observar los (Anexos 13, 14, 15 y 16), donde se describen los resultados obtenidos.

Gráfica 2. Resultados de resistencia a la flexión

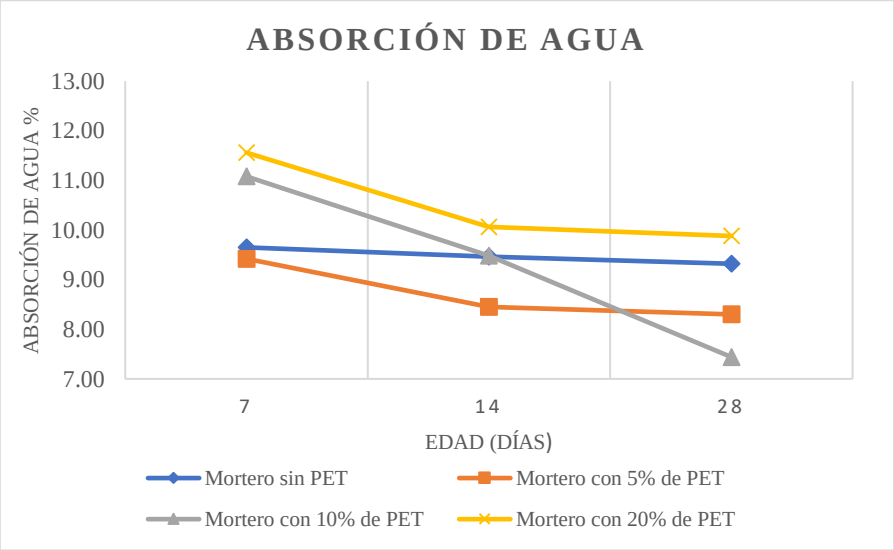


Elaborado por: El autor

5.1.3. Resultados de absorción de agua

Los resultados obtenidos en la fase experimental de ensayos de absorción de agua se pueden observar en la Gráfica 3, en que la absorción de agua a los 28 días es menor en los morteros con el 5 % y 10 % de PET, mientras que el mortero base y mortero con el 20 % de PET se encuentra con una absorción de agua mayor. Así mismo, se pueden observar los Anexos 17, 18, 19 y 20, donde se describen los resultados obtenidos.

Gráfica 3. Resultados de absorción de agua

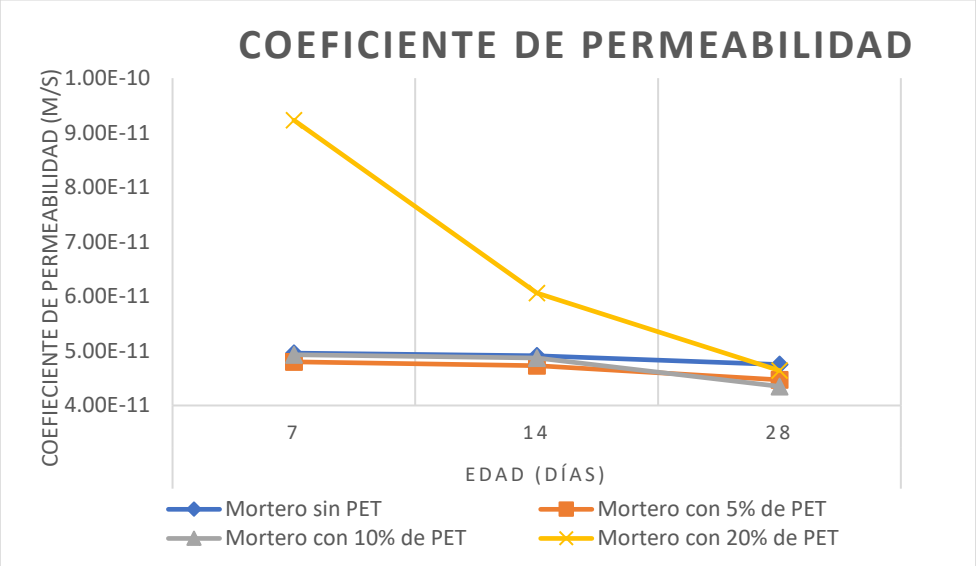


Elaborado por: El autor

5.1.4. Resultados del coeficiente de permeabilidad

Los resultados obtenidos en la fase experimental de ensayos de coeficiente de permeabilidad, se pueden observar en la Gráfica 4, en que el coeficiente de permeabilidad a los 28 días es menor en los morteros con el 5 % y 10 % de PET, mientras que el mortero base y mortero con el 20 % de PET se encuentra con mayor coeficiente de permeabilidad, la norma ASTM D2434 determina la capacidad que tiene un materiales para ser permeable o impermeable, donde a mayor cantidad de partículas de polímeros PET el mortero es permeable y contiene mayor cantidad de porosidad. Así mismo, se pueden observar los Anexos 21, 22, 23 y 24, donde se describen los resultados obtenidos.

Gráfica 4. Resultados de coeficiente de permeabilidad



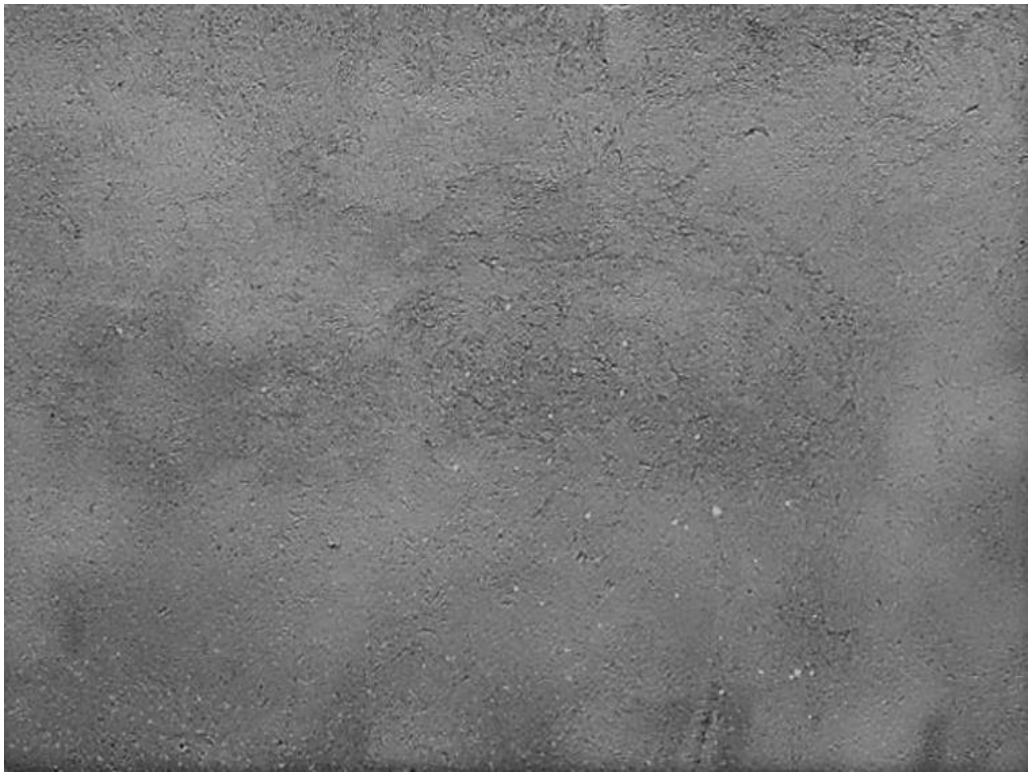
Elaborado por: El autor

5.1.5. Resultados de mortero puesto en obra

Los resultados obtenidos en la fase experimental del mortero aplicado en obra se determinaron que al agregar partículas de polímeros tipo PET la productividad es mayor en la industria de la construcción, ya que la cantidad de mezcla aumenta, así mismo, el material presenta mejor trabajabilidad por la excelente adherencia y consistencia plástica que tiene el mortero con PET, además, llega a ser un mortero liviano evitando menor esfuerzo físico en los obreros (ver Capítulo 4, numeral 4.5.5.).

Por otra parte, el mortero con el 10 % de partículas de polímeros PET tiende a secarse rápidamente pasadas las 48 horas de curado, siendo una ventaja en obra, porque se pueden aplicar acabados rápidamente, además al contener este tipo de polímeros evita fisuramientos y se convierte en mortero impermeable, para poder ser utilizado en paredes que estén expuestas a los fenómenos climatológicos, como la lluvia.

Imagen 28. Resultado de mortero aplicado en obra sin partículas de polímeros PET



Elaborado por: El autor

Imagen 29. Resultado de mortero aplicado en obra con 10 % de partículas de polímeros PET

Elaborado por: El autor

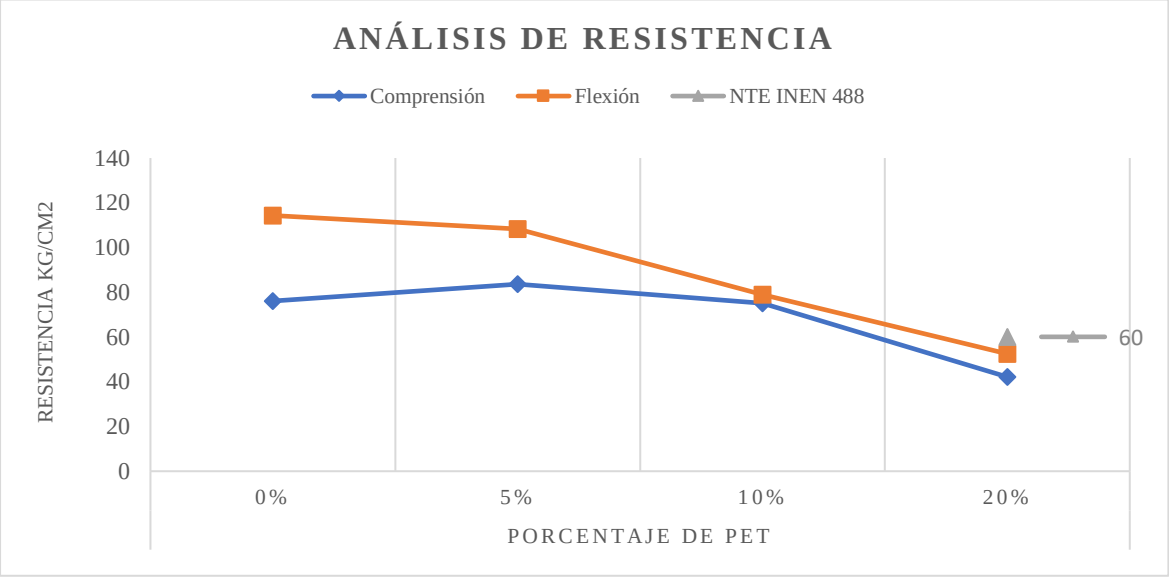
5.2.Discusión de resultados

Con los análisis obtenidos, tanto en la fase experimental como en la fase de resultados, se realizó una discusión de estos, de acuerdo con el contenido de plástico que contiene cada ensayo, para determinar cuan resistente es según el reemplazo del árido fino por partículas de polímeros PET, además de discutir resultados con investigaciones análogas. Finalmente, se compararon precios con un tipo de mortero que se encuentra en el mercado, el cual contiene partículas de polímeros.

5.2.1. Discusión de resultados de resistencia con relación al porcentaje de PET

La resistencia de compresión y flexión en los distintos morteros, que fueron realizados en la fase experimental se determinó que a mayor cantidad de contenido PET la resistencia disminuye, sin embargo, los morteros con el 5 % y 10 % de PET se encuentran con una resistencia mayor, según determina la NTE INEN 488 y 198 respectivamente (ver Gráfica 5).

Gráfica 5. Análisis de resistencia con relación al porcentaje de agregado PET



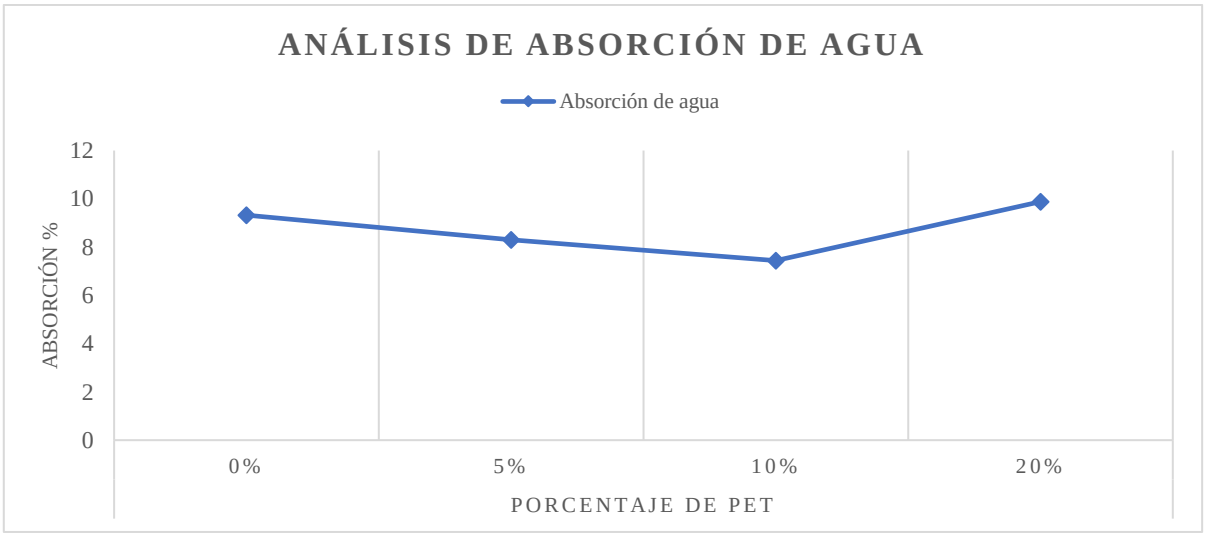
Elaborado por: El autor

5.2.2. Discusión de resultados de absorción de agua, coeficiente de permeabilidad y porosidad

Con los resultados de absorción de agua y coeficiente de permeabilidad con relación al porcentaje de PET, se determinó que el mortero con 5 % y 10 % de partículas de polímeros PET se convierten en morteros impermeables, los cuales se consideran morteros con menor

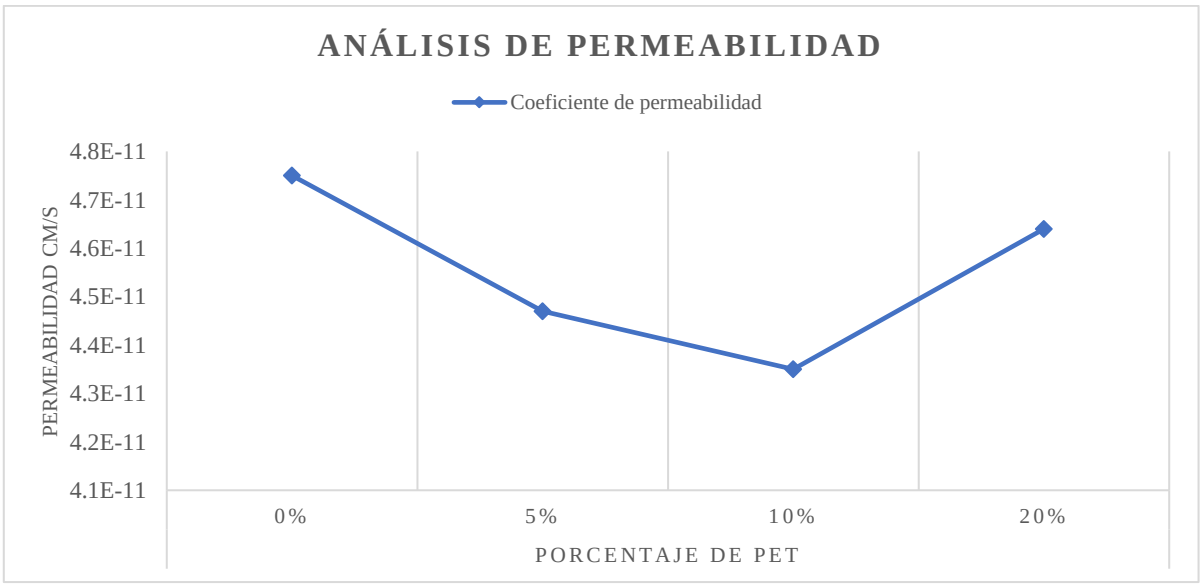
porosidad en comparación con el mortero convencional, sin embargo, al agregar el 20 % de partículas de polímeros PET el mortero se vuelve poroso, por lo tanto, pierde la impermeabilidad, es decir que a mayor cantidad de PET los morteros pierden características de absorción de agua y permeabilidad (ver Gráficas 7, 8 y 9).

Gráfica 6. Análisis de absorción de agua con relación al porcentaje de agregado PET



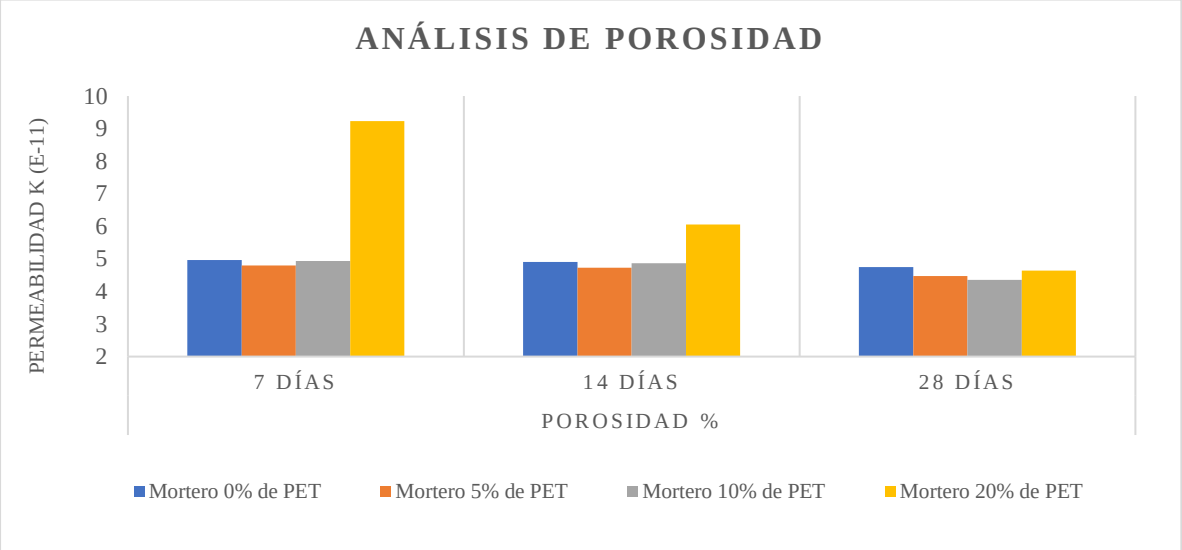
Elaborado por: El autor

Gráfica 7. Análisis del coeficiente de permeabilidad con relación al porcentaje de agregado PET



Elaborado por: El autor

Gráfica 8. Análisis de porosidad con relación a la permeabilidad

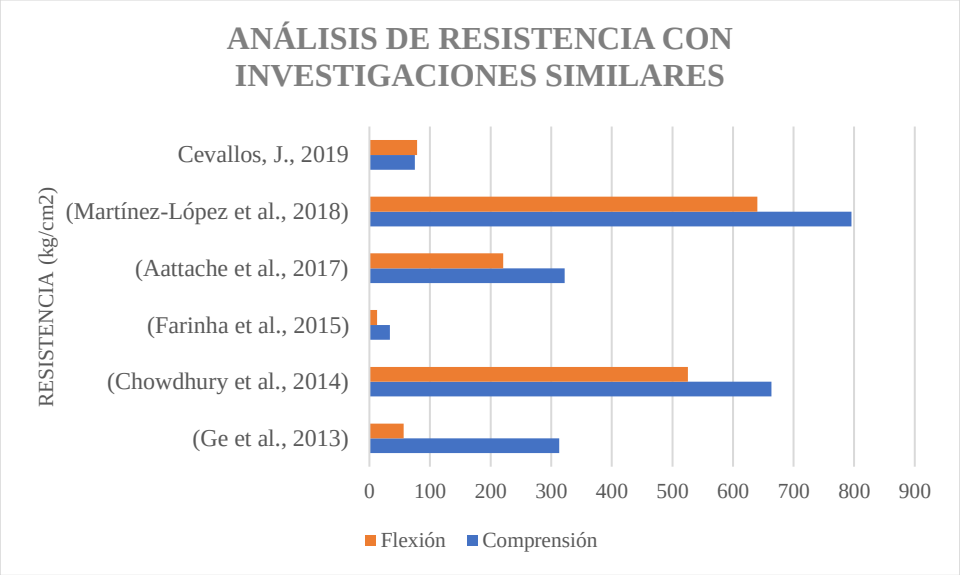


Elaborado por: El autor

5.2.3. Discusión de resultados con investigaciones análogas al tema de estudio

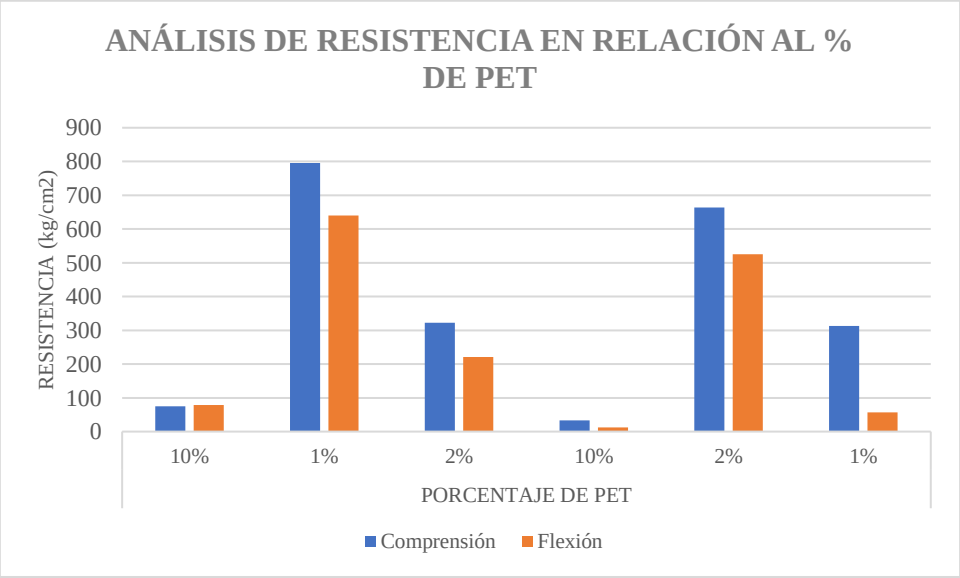
Con las investigaciones análogas se compararon resistencias de compresión y flexión obtenidas a los 28 días de curado, además de comparar el porcentaje de partículas de polímeros PET que agregan los diferentes autores, teniendo como resultado mayores resistencias en investigaciones similares; sin embargo, el agregado de partículas de polímeros PET son mínimas ya que agregan el 1 % y 2 %. Por otra parte, con la investigación de (Farinha et al., 2015) el autor llega a reemplazar el 10 % de partículas de polímeros PET obteniendo resultados de resistencias bajas, comparando los resultados obtenidos en la investigación presente, por lo tanto, se considera un mortero idóneo para la aplicación en la industria de la construcción (ver Grafica 9 y 10).

Gráfica 9. Análisis de resistencia con investigaciones similares al tema de estudio



Elaborado por: El autor

Gráfica 10. Análisis de resistencia con investigaciones similares con relación al porcentaje de PET



Elaborado por: El autor

5.2.4. Comparación de precio con mortero que contiene partículas de polímeros

El mortero con el 10 % de partículas de polímeros PET llega a tener un valor económico considerable para poder ser aplicado en obra, porque se ahorraría $ 0.05 por 1 kg de mortero,

comparando con el mortero Enlumax el cual contiene partículas de polímeros, además el mortero con el 10 % de PET tendría mayor rendimiento en obra de 9 – 10 x m^2, contrastando con el mortero Enlumax que llega a rendir en obra de 7,5 – 8,5 x m^2 (ver Tabla 35).

Tabla 35. Análisis de precios con mortero similar al propuesto en esta investigación

Análisis de precios (mortero con 10 % de PET y mortero Enlumax)				
Tipo de mortero	**Tipo de partículas**	**Precio por 40 kg**	**Precio por 1 kg**	**Rendimiento (m^2)**
Mortero Enlumax	PEAD	$ 5,95	$ 0,15	7,5 – 8,5
Mortero con 10% de PET	PET	$ 4,10	$ 0,10	9 - 10

Fuente: Catalogo de Enlumax y Reciplásticos S.A.
Elaborado por: El autor

6. Conclusiones

La presente investigación fue realizada con la finalidad de incorporar plástico tipo PET en la industria de la construcción, en lugar de depositarlos en vertederos. Durante la investigación se descubrieron resultados tanto positivos como negativos, lo cual hace posible crear mortero con PET reciclado. Las conclusiones obtenidas se describen a continuación:

1. Las partículas de polímeros PET presenta factibles propiedades físicas y mecánicas, teniendo como característica principal la buena resistencia a la compresión, flexión, tracción, etc., por lo tanto, se considera como material idóneo para la fabricación de mortero de revestimiento en la industria de la construcción.

2. El diseño de mezcla obtenido para mortero base y mortero/PET cumple con el rango que establece la norma ecuatoriana para el módulo de finura (2,83 – 1,75) y consistencia plástica (100 – 120 %) en morteros de revestimiento, sin embargo, al reemplazar el árido fino por partículas de polímeros PET con relación al peso, la consistencia plástica disminuye en los morteros de revestimiento, cuando el reemplazo sea mayor al 20 %, por otra parte la relación agua/cemento para morteros según norma ASTM es de 0,55, pero en esta investigación por el contenido de partículas de polímeros PET se obtuvo una relación agua cemento de 0,95, considerándola idónea para el diseño de mezcla en morteros de baja resistencia a la comprensión.

3. La fase experimental de ensayos demostró que mientras más cantidad del árido fino se reemplace por las partículas de polímeros PET, las resistencias de compresión y flexión disminuyen, por lo tanto, las probetas con el 0, 5 y 10 % de partículas de polímeros PET, cumplen con la resistencia a la compresión que establece la NTE INEN 488. (La norma determina una resistencia a la comprensión de 53,02 kg/cm^2 para morteros tipo N, pero por el coeficiente de desviación se consideró un mortero de 60 kg/cm^2), mientras que las probetas con el 20 % de partículas de polímeros PET no cumplen con la resistencia a la compresión que establece la NTE INEN 488, porque su valor máximo es de 42,15 kg/cm^2.

4. Las probetas con el 5 y 10 % de partículas de polímeros PET cumplen con la resistencia a la flexión que establece la NTE INEN 198 (la norma no determina un valor para este ensayo, sin embargo, se lo compara con el mortero base), todo lo contrario, pasa con las probetas del 20 % de partículas de polímeros PET.

5. Con los ensayos de absorción de agua y coeficiente de permeabilidad se determina que las probetas con 5 y 10 % de partículas de polímeros PET presentan mayor impermeabilidad y menor absorción de agua, en comparación con el mortero convencional, por lo tanto, contienen menor porosidad.

6. Para elaborar el mortero/PET se eligieron las probetas con el 10 % de partículas de polímeros PET, porque presenta resultados aceptables de ensayos físicos y mecánicos, además de reemplazar mayor cantidad del árido fino en la construcción, por lo tanto, el mortero puesto en obra demostró mejores resultados de trabajabilidad por la adherencia y consistencia plástica que presenta, además de tener mejor acabado, comparado con el mortero convencional.

Finalmente, al reemplazar el árido fino por el 10 % de partículas de polímeros PET en la industria de la construcción se está aportando a una reducción de costos, además de reducir la contaminación ambiental que provocan los materiales plásticos y pétreos, porque para un metro cúbico de mortero se necesita 2000 envases PET.

7. Recomendaciones

Para incentivar a investigadores a la incorporación de plásticos tipo PET y a la disminución del árido fino en la industria de la construcción, se recomienda lo siguiente:

- Para investigaciones análogas se recomienda revisar la fase de materiales y métodos, además de la fase experimental, porque se rige bajo normativa nacional e internacional.

- Para complementar la investigación, realizar ensayos del módulo de elasticidad y tracción para determinar la durabilidad de este material.

- Realizar investigaciones con agregado de fibras y partículas de polímeros PET, con la finalidad de aumentar la resistencia en los morteros.

- Se recomienda usar aditivos en la dosificación del 20 % de partículas de polímeros PET, con el objetivo de aumentar la resistencia obtenida en esta investigación (42,15 kg/cm^2).

- Realizar un análisis de costos con morteros impermeables, para determinar su economía y pueda ser incorporado como nuevo material en la industria de la construcción.

- Se recomienda industrializar este tipo de material a manera de partículas para mejor obtención en el ámbito de la investigación.

Por último, para disminuir la contaminación ambiental es necesario incorporar el plástico tipo PET en la industria de la construcción, con la finalidad de proponer nuevos materiales.

8. Bibliografía

Aattache, A., Soltani, R., & Mahi, A. (2017). Investigations for properties improvement of recycled PE polymer particles-reinforced mortars for repair practice. *Construction and Building Materials*, *146*, 603–614. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.110

Al-Tulaian, B. S., Al-Shannag, M. J., & Al-Hozaimy, A. R. (2016). Recycled plastic waste fibers for reinforcing Portland cement mortar. *Construction and Building Materials*, *127*, 102–110. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.131

Alesmar, L., Rendon, N., & Eugenia, M. (2008). Polyethylene Teraftalate (Pet) – Cement Mixture Designs. *Revista de La Facultad de Ingenieria U.C.V*, *23*(23), 77–86.

Bunge, M. (2004). *La investigación científica* . México: Siglo XXI editores, s.a. de c.v. isbn 968-23-2225-1.

Chi, A., Barrios, A., Montalvo, N., & López, D. (2009). "Propuesta Del Reciclaje Del Tereftalato De Polietileno (Pet) En Puerto Morelos En El Estado De Quintana Roo."

Chowdhury, S., Roy, S., Tashkent, A., & Suganya, O. (2014). Comparison of Mechanical Properties of Mortar Containing Industrial Byproduct. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *9*, 317–322. https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2014.01.056

Farinha, C., de Brito, J., & Veiga, R. (2015). Incorporation of fine sanitary ware aggregates in coating mortars. *Construction and Building Materials*, *83*, 194–206. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.028

Ge, Z., Huang, D., Sun, R., & Gao, Z. (2014). Properties of plastic mortar made with recycled polyethylene terephthalate. *Construction and Building Materials*, *73*, 682–687. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.005

Ge, Z., Sun, R., Zhang, K., Gao, Z., & Li, P. (2013). Physical and mechanical properties of mortar using waste Polyethylene Terephthalate bottles. *Construction and Building Materials*, *44*, 81–86. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.073

Gerardo, A., & Rivera, L. (2000). Trabajabilidad del Concreto. *Tecnologia Del Concreto y El Mortero*, 83–103.

Guzmán, D. S. de. (2011). *Tecnologia del concreto y del mortero.* Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=EWq-QPJhsRAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Flores Fernandéz, J. A. (2014). *Efecto en las propiedades en tensión de un material compuesto base cemento reforzado con fibras de PET reciclado.* (Tesis de maestria). Centro de investigación en materiales avanzados s.c.

INECYC. (2007). *Consejos prácticos sobre el hormigón, el manual de Pepe Hormigón.* Quito: INECYT y APRHOPEC.

Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Concreto.* Skokie, Illinois, E.E.U.U: Portland Cement Association.

Maldonado, A. T. (2012). La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá. *2012*, 1–120. Retrieved from http://www.bdigital.unal.edu.co/7080/1/905077.2012.pdf

Mansilla Perez, L. (2009). Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster. *Universidad de Lima - Ingeniería Industrial*, *27*(27), 123–137. https://doi.org/10.26439/ing.ind2009.n027.627

Martínez-López, M., Martínez-Barrera, G., del Coz-Díaz, J. J., Martínez-Martínez, J. E., Gencel, O., Ribeiro, M. C. S., & Varela-Guerrero, V. (2018). Polymer waste materials as fillers in polymer mortars: experimental and finite elements simulation. *Case Studies in Construction Materials*, *9*, e00178. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00178

Martínez Barrera, G., Hernández Zaragoza, J. B., López Lara, T., & Memchaca Campos, C. (2015). *Materiales Sustentables y Reciclados en la Construcción*. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3926/oms.211

Olcoz, I. F., Montaño, M. R., & Martínez, M. A. (2002). *Los plásticos como materiales de construcción.* UNED - MADRID: 1ª ed., 1ª imp.

Reis, J. M. L., Chianelli-junior, R., Cardoso, J. L., & Marinho, F. J. V. (2011). Effect of recycled PET in the fracture mechanics of polymer mortar. *Construction and Building*

Materials, *25*(6), 2799–2804. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.12.056

Ruiz, D., López, C., Cortes, E., & Froese, A. (2012). Nueva alternativa de construcción: Botellas PET con relleno de tierra. *En: Apuntes*, *25(2)*, 292–303. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-97632012000200011&script=sci_arttext&tlng=es

Salamanca, R. (2001). Tecnologia de los morteros. Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101107. *Rodrigo Salamanca Correa*, *3*, 48.

Shuttleworth, M. (16 de Abril de 2019). *Explorable.* Obtenido de Diseño experimental verdadero: https://explorable.com/es/diseno-experimental-verdadero

Thorns, E. (29 de Abril de 2018). *¿Próxima crisis de la sustentabilidad? Estamos usando tanta arena que pronto podría acabarse.* Obtenido de Plataforma Arquitectura: https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/892939/la-proxima-crisis-de-sustentabilidad-los-seres-humanos-estan-usando-tanta-arena-que-de-hecho-podriamos-extinguirnos

Torres, A., Brandt, J., Lear, K., & Liu, J. (2017). A looming tragedy of the sand commons. *Science*, *357*(6355), 970–971. https://doi.org/10.1126/science.aao0503

9. Anexos

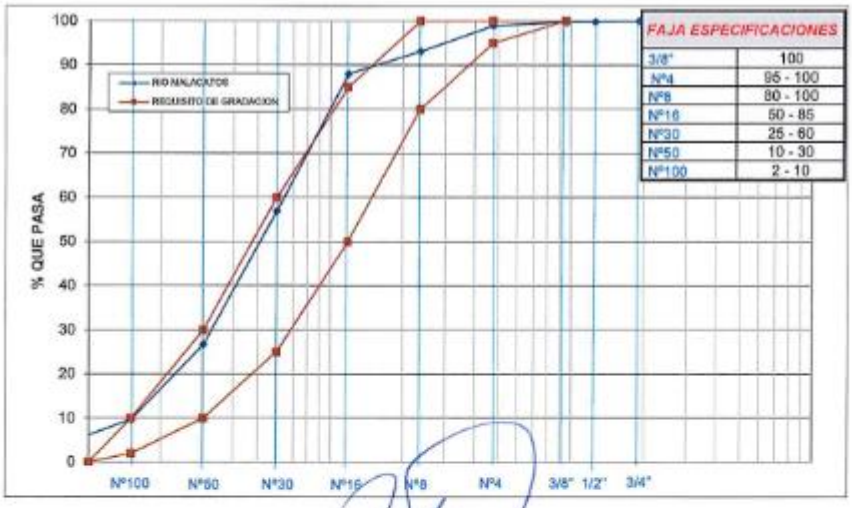
Anexo 1. Análisis granulométrico de la arena

"GEOCONSTRUYE" Cía. Ltda.
Geotecnia - Consultoría & Construcciones
Telf: 072-540907
Cel: 0994974048

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA ARENA - ASTM C 136 - 01 / INEN 696

MATERIAL: ARENA NATURAL
PROCEDENCIA: RIO MALACATOS
SITIO: MALACATOS
FECHA: 17/05/2019
OPERADOR: ING. RAMIRO JIMÉNEZ

PESO IN	TAMIZ		MUESTRA RETENIDA		MUESTRA ACUMULADA		MUESTRA PASANTE		M. F.
gramos		mm	gramos	%	gramos	%	gramos	%	-
3464,000	3/4"	19	0,00	0,000	0,000	0,000	3464,000	100,000	2,27
	1/2"	12,5	7,00	0,202	7,000	0,202	3457,000	99,798	
	3/8"	9,5	1,00	0,029	8,000	0,231	3456,000	99,769	
	Nº4	4,75	28,00	0,808	36,000	1,039	3428,000	98,961	
	Nº8	2,36	203,00	5,860	239,000	6,900	3225,000	93,100	
	Nº16	1,18	176,00	5,081	415,000	11,980	3049,000	88,020	
	Nº30	0,600	1077,00	31,091	1492,000	43,072	1972,000	56,928	
	Nº50	0,300	1046,00	30,196	2538,000	73,268	926,000	26,732	
	Nº100	0,150	587,00	16,946	3125,000	90,214	339,000	9,786	
	Nº200	0,075	209,00	6,033	3334,000	96,247	130,000	3,753	
	FONDO		130,00	3,753	3464,000	100,000	0,000	0,000	
			TOTAL	TOTAL					
			3464,000	100					



ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA.
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

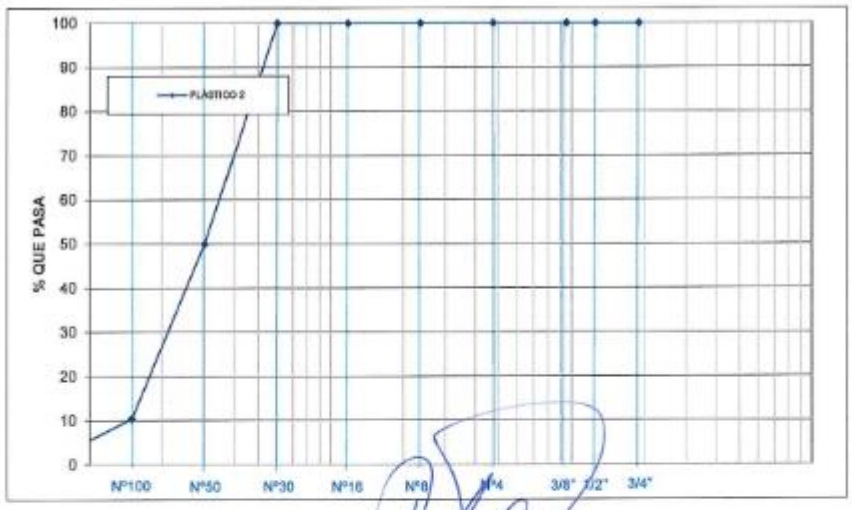
Anexo 2. Análisis granulométrico del PET

"GEOCONSTRUYE" Cía. Ltda.
Geotecnia - Consultoría & Construcciones
Telf: 072-540907
Cel: 0994974048

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PLÁSTICO 2

MATERIAL: PLÁSTICO 2
PROCEDENCIA: PLÁSTICO 2
SITIO: 0
FECHA: 17/05/2019 OPERADOR: ING. RAMIRO JIMÉNEZ

PESO IN	TAMIZ		MUESTRA RETENIDA		MUESTRA ACUMULADA		MUESTRA PASANTE		M. F.
gramos		mm	gramos	%	gramos	%	gramos	%	-
134,000	3/4"	19	0,00	0,000	0,000	0,000	134,000	100,000	1,40
	1/2"	12,5	0,00	0,000	0,000	0,000	134,000	100,000	
	3/8"	9,5	0,00	0,000	0,000	0,000	134,000	100,000	
	Nº4	4,75	0,00	0,000	0,000	0,000	134,000	100,000	
	Nº8	2,36	0,00	0,000	0,000	0,000	134,000	100,000	
	Nº16	1,18	0,00	0,000	0,000	0,000	134,000	100,000	
	Nº30	0,600	0,00	0,000	0,000	0,000	134,000	100,000	
	Nº50	0,300	67,00	50,000	67,000	50,000	67,000	50,000	
	Nº100	0,150	53,00	39,552	120,000	89,552	14,000	10,448	
	Nº200	0,075	11,00	8,209	131,000	97,761	3,000	2,239	
	FONDO		3,00	2,239	134,000	100,000	0,000	0,000	
			TOTAL	TOTAL					
			134,000	100					



ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA.
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

Anexo 3. Análisis granulométrico de la arena + 5 % de PET

"GEOCONSTRUVE" Cía. Ltda.

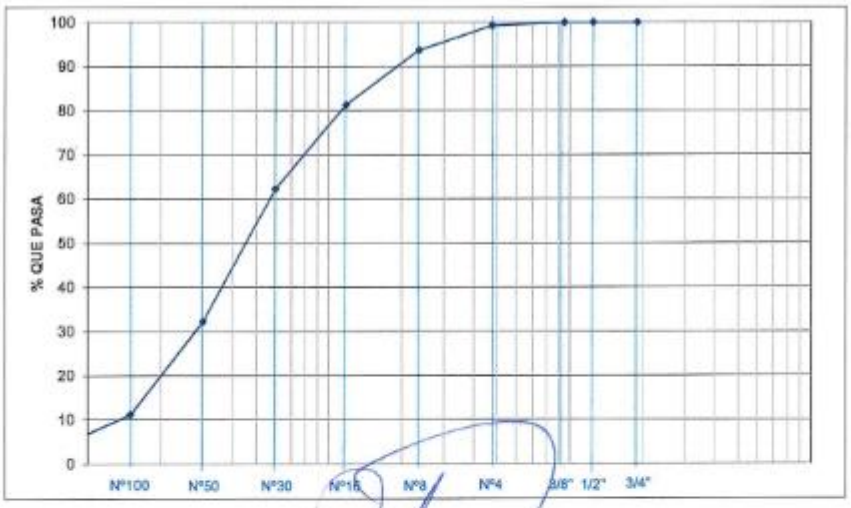
Geotecnia - Consultoría & Construcciones

Telf: 072-540907
Cel: 0994974048

GRANULOMETRIA DE ARENA + 5% DE PET

MATERIAL: ARENA + PET 5%
SOLICITA: JEFFERSON CEVALLOS
SITIO:
FECHA: 21/05/2019 OPERADOR: ING. RAMIRO JIMÉNEZ

PESO IN	TAMIZ		MUESTRA RETENIDA		MUESTRA ACUMULADA		MUESTRA PASANTE		M. F.
gramos		mm	gramos	%	gramos	%	gramos	%	-
526,000	3/4"	19	0,00	0,000	0,000	0,000	526,000	100,000	2,20
	1/2"	12,5	0,00	0,000	0,000	0,000	526,000	100,000	
	3/8"	9,5	0,00	0,000	0,000	0,000	526,000	100,000	
	Nº4	4,75	4,00	0,760	4,000	0,760	522,000	99,240	
	Nº8	2,36	29,00	5,513	33,000	6,274	493,000	93,726	
	Nº16	1,18	65,00	12,357	98,000	18,631	428,000	81,369	
	Nº30	0,600	100,00	19,011	198,000	37,643	328,000	62,357	
	Nº50	0,300	158,00	30,038	366,000	67,681	170,000	32,319	
	Nº100	0,150	111,00	21,103	467,000	88,783	59,000	11,217	
	Nº200	0,075	39,00	7,414	506,000	96,198	20,000	3,802	
	FONDO		20,00	3,802	526,000	100,000	0,000	0,000	
			TOTAL	TOTAL					
			526,000	100					



ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

GEOCONS TRUVE CIA. LTDA
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

Anexo 4. Análisis granulométrico de la arena + 10 % de PET

"GEOCONSTRUVE" Cía. Ltda.

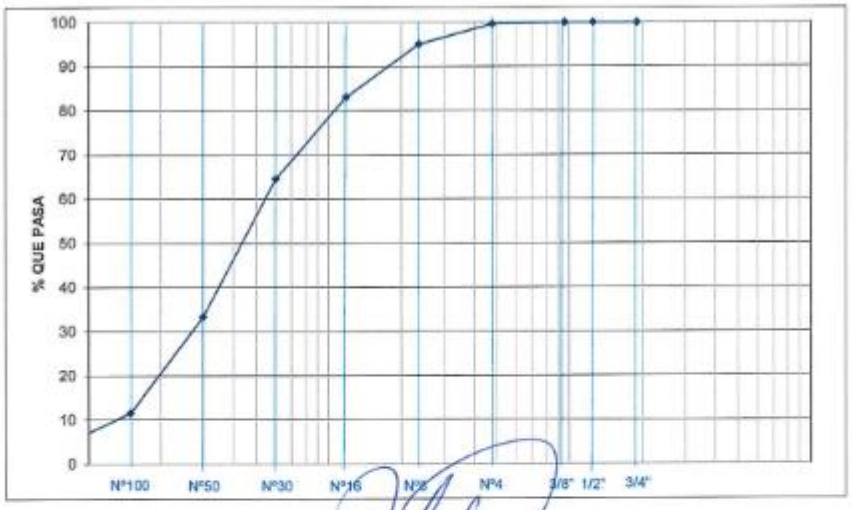
Geotecnia - Consultoría & Construcciones

Telf: 072-540907
Cel: 0994974048

GRANULOMETRIA DE ARENA + 10% DE PET

MATERIAL: ARENA + PET 10%
SOLICITA: JEFFERSON CEVALLOS
SITIO:
FECHA: 21/05/2019 OPERADOR: ING. RAMIRO JIMÉNEZ

PESO IN	TAMIZ		MUESTRA RETENIDA		MUESTRA ACUMULADA		MUESTRA PASANTE		M. F.
gramos		mm	gramos	%	gramos	%	gramos	%	-
551,000	3/4"	19	0,00	0,000	0,000	0,000	551,000	100,000	2,13
	1/2"	12,5	0,00	0,000	0,000	0,000	551,000	100,000	
	3/8"	9,5	0,00	0,000	0,000	0,000	551,000	100,000	
	Nº4	4,75	2,00	0,363	2,000	0,363	549,000	99,637	
	Nº8	2,36	25,00	4,537	27,000	4,900	524,000	95,100	
	Nº16	1,18	66,00	11,978	93,000	16,878	458,000	83,122	
	Nº30	0,600	102,00	18,512	195,000	35,390	356,000	64,610	
	Nº50	0,300	172,00	31,216	367,000	66,606	184,000	33,394	
	Nº100	0,150	120,00	21,779	487,000	88,385	64,000	11,615	
	Nº200	0,075	42,00	7,623	529,000	96,007	22,000	3,993	
	FONDO		22,00	3,993	551,000	100,000	0,000	0,000	
			TOTAL	TOTAL					
			551,000	100					



ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

GEOCONS TRUVE CIA. LTDA.
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

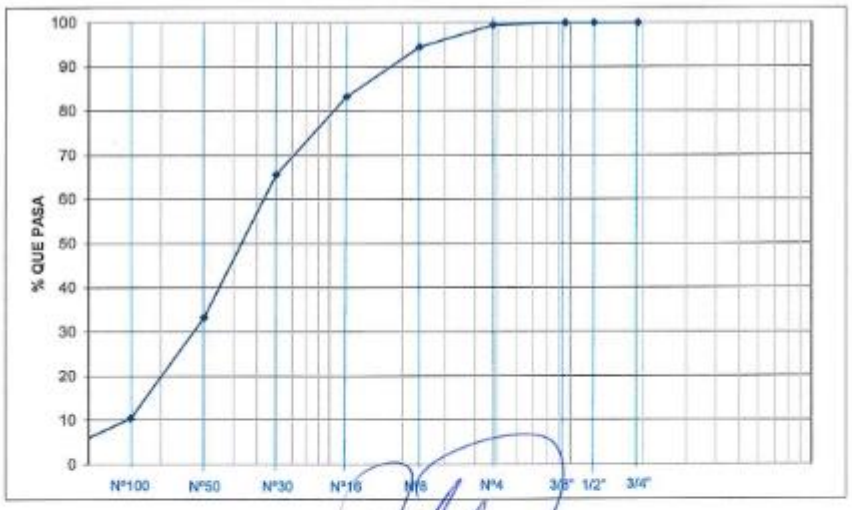
Anexo 5. Análisis granulométrico de la arena + 20 % de PET

"GEOCONSTRUYE" Cía. Ltda.
Geotecnia - Consultoría & Construcciones
Telf: 072-540907
Cel: 0994974048

GRANULOMETRIA DE ARENA + 20% DE PET

MATERIAL: ARENA + PET 20%
SOLICITA: JEFFERSON CEVALLOS
SITIO:
FECHA: 21/05/2019 OPERADOR: ING. RAMIRO JIMÉNEZ

PESO IN	TAMIZ		MUESTRA RETENIDA		MUESTRA ACUMULADA		MUESTRA PASANTE		M. F.
gramos		mm	gramos	%	gramos	%	gramos	%	-
600,000	3/4"	19	0,00	0,000	0,000	0,000	600,000	100,000	2,13
	1/2"	12,5	0,00	0,000	0,000	0,000	600,000	100,000	
	3/8"	9,5	0,00	0,000	0,000	0,000	600,000	100,000	
	Nº4	4,75	3,00	0,500	3,000	0,500	597,000	99,500	
	Nº8	2,36	30,00	5,000	33,000	5,500	567,000	94,500	
	Nº16	1,18	67,00	11,167	100,000	16,667	500,000	83,333	
	Nº30	0,600	106,00	17,667	206,000	34,333	394,000	65,667	
	Nº50	0,300	194,00	32,333	400,000	66,667	200,000	33,333	
	Nº100	0,150	137,00	22,833	537,000	89,500	63,000	10,500	
	Nº200	0,075	45,00	7,500	582,000	97,000	18,000	3,000	
	FONDO		18,00	3,000	600,000	100,000	0,000	0,000	
			TOTAL	TOTAL					
			600,000	100					



ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

Anexo 6. Análisis del contenido de humedad de la arena

"GEOCONSTRUYE" Cía. Ltda.
Geotecnia - Consultoría & Construcciones
Telf: 072-540907
Cel: 0994974048

CONTENIDO DE HUMEDAD - ASTM C 566

ARIDO FINO

MATERIAL:	ARENA NATURAL
PROCEDENCIA:	RIO MALACATOS
SITIO:	MALACATOS
FECHA:	17/05/2019
OPERADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ

PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DE CAPSULA	% DE HUMEDAD	RESULTADO
81,23	76,31	16,72	8,26	8,26

ARIDO GRUESO

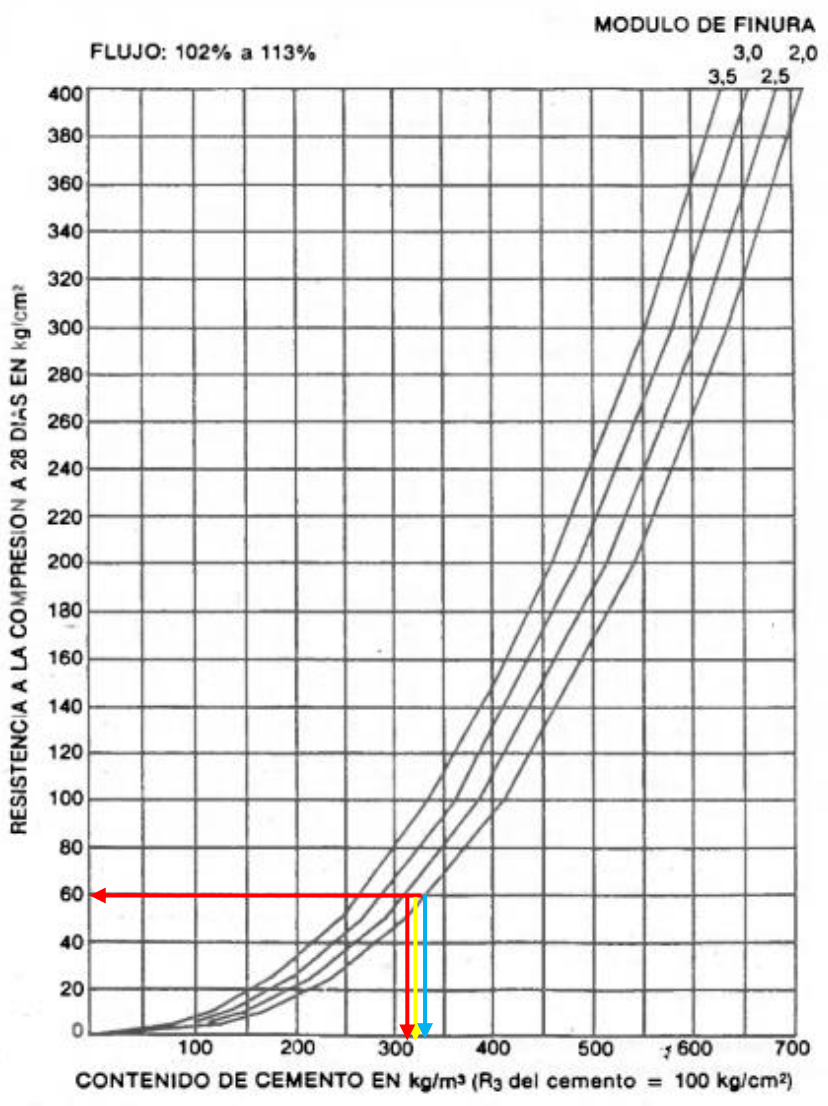
MATERIAL:	0
PROCEDENCIA:	0
SITIO:	0
FECHA:	17/05/2019
OPERADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ

PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DE CAPSULA	% DE HUMEDAD	RESULTADO
				#¡DIV/0!

ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA.
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

Anexo 7. Análisis del contenido de cemento para morteros



° Cuantía de cemento (Mortero Base) = 320 Kg

° Cuantía de cemento (Mortero + 5 % de PET) = 325 Kg

° Cuantía de cemento (Mortero + 10 % de PET) = 330 Kg

° Cuantía de cemento (Mortero + 20 % de PET) = 330 Kg

Anexo 8. Análisis de la relación agua/cemento para morteros

Relación agua/cemento = 0,95

La relación agua/ cemento es la misma para todos los tipos de morteros que se propone diseñar en esta investigación.

Anexo 9. Resultados de resistencia a la compresión en mortero base

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA - CONSULTORA & CONSTRUCTORA

Telf: 072-560967
Cel: 0990974048

PROYECTO	PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTÍCULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 3%, 10% Y 20%		
SOLICITA	JEFFERSON CEVALLOS		
FISCALIZADOR	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA	17-jul.-19

Ensayo de resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista - NTE INEN 488 (Sin partículas PET)

Ensayo sometido a compresión a los 7 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación			Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
			Cemento	Arena	Partículas %			
28 de mayo, 2019	07 de junio, 2019	X1	1	3.5	-	0.49	276.0	62.26
		X2					276.0	51.16
		X3					272.0	59.14
		Promedio						57.52

Ensayo sometido a compresión a los 14 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación			Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
			Cemento	Arena	Partículas %			
28 de mayo, 2019	11 de junio, 2019	X1	1	3.5	-	0.95	283.0	62.00
		X2					287.5	51.16
		X3					273.0	62.34
		Promedio						58.24

Ensayo sometido a compresión a los 28 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación			Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
			Cemento	Arena	Partículas %			
28 de mayo, 2019	25 de junio, 2019	X1	1	3.5	-	0.95	268.5	57.19
		X2					276.0	101.57
		X3					273.5	69.34
		Promedio						76.14

OBSERVACIONES: LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRENSIÓN FUERON REALIZADOS POR EL AUTOR DE LA TESIS

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA.
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

ING. RAMIRO JIMÉNEZ V.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 10. Resultados de resistencia a la compresión en mortero con 5 % de PET

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA - CONSULTORA & CONSTRUCTORA

Telf: 072-540907
Cel: 0998974048

PROYECTO	PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTÍCULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 3%, 10% Y 20%
SOLICITA	JEFFERSON CEVALLOS
FISCALIZADOR	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA
FECHA	17-jul.-19

Ensayo de resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista - NTE INEN 488 (Con el 5% de partículas PET)

Ensayo sometido a compresión a los 7 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
03 de junio, 2019	10 de junio, 2019	X1	1	3.5	5	0.65	255.0	69.04
		X2					251.5	69.16
		X3					251.5	67.16
		Promedio						68.64

Ensayo sometido a compresión a los 14 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
03 de junio, 2019	17 de junio, 2019	X1	1	3.5	5	0.65	255.5	80.16
		X2					248.5	80.28
		X3					254.0	80.28
		Promedio						80.89

Ensayo sometido a compresión a los 28 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
03 de junio, 2019	03 de julio, 2019	X1	1	3.5	5	0.65	255.0	81.48
		X2					256.0	80.08
		X3					253.5	82.60
		Promedio						83.62

OBSERVACIONES: LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRENSIÓN FUERON REALIZADOS POR EL AUTOR DE LA TESIS

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA.
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

ING. RAMIRO JIMENEZ V.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 11. Resultados de resistencia a la compresión en mortero con 10 % de PET

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA - CONSULTORA & CONSTRUCTORA

Telf: 072-540507
Cel: 0994574040

PROYECTO	PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTÍCULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 5%, 10% Y 20%
SOLICITA	JEFFERSON CEVALLOS
FISCALIZADOR	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA — FECHA: 17-jul.-19

Ensayo de resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista - NTE INEN 488 (Con el 10% de partículas PET)

Ensayo sometido a compresión a los 7 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
08 de junio, 2019	14 de junio, 2019	X1	1	3.5	10	0.95	232.6	41.40
		X2					237.5	41.40
		X3					239.0	43.89
		Promedio						42.17

Ensayo sometido a compresión a los 14 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
05 de junio, 2019	21 de junio, 2019	X1	1	3.5	10	0.95	229.5	43.65
		X2					233.6	39.77
		X3					238.5	73.42
		Promedio						52.28

Ensayo sometido a compresión a los 28 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
05 de junio, 2019	09 de julio, 2019	X1	1	3.5	10	0.95	235.5	78.68
		X2					232.0	75.36
		X3					231.5	78.57
		Promedio						76.12

OBSERVACIONES: LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRENSIÓN FUERON REALIZADOS POR EL AUTOR DE LA TESIS

ING. RAMIRO JIMÉNEZ V.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA.
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

Anexo 12. Resultados de resistencia a la compresión en mortero con 20 % de PET

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA - CONSULTORA & CONSTRUCTORA

Telf: 072-548907
Cel: 0984974848

PROYECTO	PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTÍCULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 5%, 10% Y 20%
SOLICITA	JEFFERSON CEVALLOS
FISCALIZADOR	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROVENCIA DE LOJA — FECHA: 17-jul.-19

Ensayo de resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista - NTE INEN 488 (Con el 20% de partículas PET)

Ensayo sometido a compresión a los 7 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
04 de junio, 2019	11 de junio, 2019	X1	1	3.5	20	0.55	213.0	32.83
		X2					206.0	30.77
		X3					209.0	30.77
		Promedio						31.39

Ensayo sometido a compresión a los 14 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
04 de junio, 2019	20 de junio, 2019	X1	1	3.5	20	0.55	213.0	36.75
		X2					210.0	36.77
		X3					206.0	36.71
		Promedio						36.41

Ensayo sometido a compresión a los 28 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
04 de junio, 2019	04 de julio, 2019	X1	1	3.5	20	0.55	216.0	39.77
		X2					213.0	41.81
		X3					212.5	44.87
		Promedio						42.15

OBSERVACIONES: LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRENSIÓN FUERON REALIZADOS POR EL AUTOR DE LA TESIS

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA.
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

ING. RAMIRO JIMENEZ V.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 13. Resultados de resistencia a la flexión en mortero base

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA - CONSULTORA & CONSTRUCTORA

Telf: 072-540507
Cel: 0994574040

PROYECTO	PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTÍCULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 5%, 10% Y 20%		
SOLICITA	JEFFERSON CEVALLOS		
FISCALIZADOR	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROVENCIA DE LOJA	FECHA	17-jul.-19

Ensayo de resistencia a la flexión de morteros en prismas de 40 x 40 x 160 mm - NTE INEN 198 (Sin partículas PET)

Ensaye normativo a flexión a los 7 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación			Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
			Cemento	Arena	Partículas %			
28 de mayo, 2019	07 de junio, 2019	X1	1	3.5	-	0.65	539.0	42.17
		X2					539.5	44.46
		X3					537.5	41.75
		Promedio						44.46

Ensaye normativo a flexión a los 14 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación			Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
			Cemento	Arena	Partículas %			
28 de mayo, 2019	14 de junio, 2019	X1	1	3.5	-	0.65	538.0	101.61
		X2					537.0	87.09
		X3					531.5	99.45
		Promedio						96.21

Ensaye normativo a flexión a los 28 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación			Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
			Cemento	Arena	Partículas %			
28 de mayo, 2019	28 de junio, 2019	X1	1	3.5	-	0.65	537.5	111.13
		X2					521.5	112.55
		X3					535.5	110.84
		Promedio						114.51

OBSERVACIONES: LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN FUERON REALIZADOS POR EL AUTOR DE LA TESIS

ING. RAMIRO JIMENEZ V.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

GEOCONS TRUYE CIA LT
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

Anexo 14. Resultados de resistencia a la flexión en mortero con 5 % de PET

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA - CONSULTORA & CONSTRUCTORA

Telf: 072-540567
Cel: 0994574848

PROYECTO	PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTÍCULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 5%, 10% Y 20%
SOLICITA	JEFFERSON CEVALLOS
FISCALIZADOR	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA — FECHA: 17-jul.-19

Ensayo de resistencia a la flexión de morteros en prismas de 40 x 40 x 160 mm - NTE INEN 158 (Con el 5% de partículas PET)

Ensayo sometido a flexión a los 7 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
03 de junio, 2019	10 de junio, 2019	X1	1	3.5	5	0.60	514.0	50.80
		X2					512.0	48.08
		X3					509.0	38.10
		Promedio						44.66

Ensayo sometido a flexión a los 14 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
03 de junio, 2019	10 de junio, 2019	X1	1	3.5	5	0.60	504.0	99.79
		X2					492.5	97.02
		X3					518.0	92.08
		Promedio						96.46

Ensayo sometido a flexión a los 28 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
03 de junio, 2019	01 de julio, 2019	X1	1	3.5	5	0.60	513.0	104.76
		X2					488.0	106.59
		X3					513.0	113.40
		Promedio						108.58

OBSERVACIONES: LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN FUERON REALIZADOS POR EL AUTOR DE LA TESIS

ING. RAMIRO JIMÉNEZ V.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA.
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

Anexo 15. Resultados de resistencia a la flexión en mortero con 10 % de PET

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA - CONSULTORA & CONSTRUCTORA
Telf: 072-560987
Cel: 0994074948

PROYECTO	PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTÍCULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 5%, 10% Y 20%
SOLICITA	JEFFERSON CEVALLOS
FISCALIZADOR	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA — FECHA: 17-jul.-19

Ensayo de resistencia a la flexión de morteros en prismas de 40 x 40 x 160 mm - NTE INEN 158 (Con el 10% de partículas PET)

Ensayo sometido a flexión a los 7 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
05 de junio, 2019	14 de junio, 2019	X1	1	3.5	10	0.55	444.6	53.07
		X2					457.0	53.62
		X3					453.0	58.07
		Promedio						55.19

Ensayo sometido a flexión a los 14 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
05 de junio, 2019	21 de junio, 2019	X1	1	3.5	10	0.55	480.0	69.65
		X2					481.0	69.04
		X3					482.0	69.04
		Promedio						69.91

Ensayo sometido a flexión a los 28 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
05 de junio, 2019	05 de julio, 2019	X1	1	3.5	10	0.55	467.5	79.26
		X2					468.5	81.69
		X3					478.5	78.83
		Promedio						79.93

OBSERVACIONES: LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN FUERON REALIZADOS POR EL AUTOR DE LA TESIS

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA. Geotecnia - Consultora & Constructora RUC. 1191774473001

ING. RAMIRO JIMENEZ J.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 16. Resultados de resistencia a la flexión en mortero con 20 % de PET

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA - CONSULTORA & CONSTRUCTORA

Telf: 072-540937
Cel: 0994574048

PROYECTO	PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTÍCULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 5%, 10% Y 20%
SOLICITA	JEFFERSON CEVALLOS
FISCALIZADOR	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA — FECHA: 17-jul.-19

Ensayo de resistencia a la flexión de morteros en prismas de 40 x 40 x 160mm - NTE INEN 198 (Con el 20% de partículas PET)

Ensayo normativo a flexión a los 7 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
04 de junio, 2019	11 de junio, 2019	X1	1	3.5	20	0.65	407.5	11.54
		X2					392.5	10.90
		X3					398.9	12.70
		Promedio						11.71

Ensayo normativo a flexión a los 14 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
04 de junio, 2019	18 de junio, 2019	X1	1	3.5	20	0.65	394.9	23.10
		X2					412.9	28.70
		X3					426.8	30.64
		Promedio						28.81

Ensayo normativo a flexión a los 28 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Resistencia (Kg/cm2)
04 de junio, 2019	04 de julio, 2019	X1	1	3.5	20	0.65	406.0	56.97
		X2					412.0	62.69
		X3					416.5	58.63
		Promedio						59.43

OBSERVACIONES: LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN FUERON REALIZADOS POR EL AUTOR DE LA TESIS

ING. RAMIRO JIMÉNEZ C.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA.
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

Anexo 17. Resultados de absorción de agua en mortero base

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA - CONSULTORIA & CONSTRUCTORA

Telf: 072-540907
Cel: 0990974068

PROYECTO	PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTÍCULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 3%, 10% Y 20%
SOLICITA	JEFFERSON CEVALLOS
FISCALIZADOR	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA
FECHA	17-jul.-19

Ensayo de absorción de agua de morteros en cubos de 50mm de arista - NTE INEN 642 (Sin partículas PET)

Ensayo normativo a la absorción de agua a los 7 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación			Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Absorción (%)
			Cemento	Arena	Partículas %				
29 de mayo, 2019	07 de junio, 2019	X1	1	3.5	-	0.55	359.0	342.0	10.23
		X2					368.0	344.0	8.85
		X3					360.0	336.0	9.80
		Promedio							9.63

Ensayo normativo a la absorción de agua a los 14 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación			Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Absorción (%)
			Cemento	Arena	Partículas %				
29 de mayo, 2019	14 de junio, 2019	X1	1	3.5	-	0.55	353.0	337.0	9.69
		X2					376.0	349.5	9.27
		X3					360.0	336.0	9.23
		Promedio							9.40

Ensayo normativo a la absorción de agua a los 28 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación			Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Absorción (%)
			Cemento	Arena	Partículas %				
29 de mayo, 2019	26 de junio, 2019	X1	1	3.5	-	0.55	359.5	335.5	9.25
		X2					359.0	345.0	9.62
		X3					366.0	333.0	9.69
		Promedio							9.52

OBSERVACIONES: LOS ENSAYOS DE ABSORCIÓN DE AGUA FUERON REALIZADOS POR EL AUTOR DE LA TESIS

ING. RAMIRO JIMÉNEZ V.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

GEOCONS TRUYE CIA LTDA
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

Anexo 18. Resultados de absorción de agua en mortero con 5 % de PET

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA - CONSULTORA & CONSTRUCTORA

Telf: 072-560937
Cel: 0959570348

PROYECTO	PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTÍCULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 2%, 10% Y 20%
SOLICITA	JEFFERSON CEVALLOS
FISCALIZADOR	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA
FECHA	17-jul.-19

Ensayo de absorción de agua de morteros en cubos de 50mm de arista – NTE INEN 643 (Con el 5% de partículas PET)

Ensayo normativo a la absorción de agua a los 7 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación			Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Absorción (%)
			Cemento	Arena	Partículas %				
03 de junio, 2019	10 de junio, 2019	X1	1	3.0	5	0.65	239.5	215.9	10.93
		X2					245.5	223.8	9.17
		X3					248.5	226.5	9.69
		Promedio							9.93

Ensayo normativo a la absorción de agua a los 14 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación			Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Absorción (%)
			Cemento	Arena	Partículas %				
03 de junio, 2019	10 de junio, 2019	X1	1	3.0	5	0.65	239.0	219.0	8.79
		X2					252.0	231.0	9.09
		X3					255.0	234.0	8.24
		Promedio							8.71

Ensayo normativo a la absorción de agua a los 28 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación			Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Absorción (%)
			Cemento	Arena	Partículas %				
03 de junio, 2019	03 de julio, 2019	X1	1	3.0	5	0.65	242.5	222.0	9.45
		X2					243.5	224.0	9.01
		X3					243.0	222.5	9.44
		Promedio							9.30

OBSERVACIONES: LOS ENSAYOS DE ABSORCIÓN DE AGUA FUERON REALIZADOS POR EL AUTOR DE LA TESIS

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA.
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

ING. RAMIRO JIMÉNEZ V.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 19. Resultados de absorción de agua en mortero con 10 % de PET

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA - CONSULTORA & CONSTRUCTORA

Telf: 072-546997
Cel: 0994974048

PROYECTO	PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTÍCULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 5%, 10% Y 20%
SOLICITA	JEFFERSON CEVALLOS
FISCALIZADOR	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA — FECHA: 17-jul.-19

Ensayo de absorción de agua de un mortero en cubos de 50mm de arista - NTE INEN 642 (Con el 10% de partículas PET)

Ensayo normativo a la absorción de agua a los 7 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Absorción (%)
05 de junio, 2019	14 de junio, 2019	X1	1	3.5	10	0.55	239.6	212.6	11.27
		X2					243.0	215.0	11.32
		X3					248.5	222.0	10.65
		Promedio							11.08

Ensayo normativo a la absorción de agua a los 14 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Absorción (%)
05 de junio, 2019	21 de junio, 2019	X1	1	3.5	10	0.55	224.6	212.8	5.43
		X2					224.6	204.9	9.13
		X3					247.5	223.8	9.55
		Promedio							8.04

Ensayo normativo a la absorción de agua a los 28 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Absorción (%)
05 de junio, 2019	05 de julio, 2019	X1	1	3.5	10	0.55	239.6	220.6	7.93
		X2					238.0	221.5	6.93
		X3					248.9	229.0	7.49
		Promedio							7.44

OBSERVACIONES: LOS ENSAYOS DE ABSORCIÓN DE AGUA FUERON REALIZADOS POR EL AUTOR DE LA TESIS

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA. Geotecnia - Consultora & Constructora RUC. 1191774473001

ING. RAMIRO JIMENEZ V.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 20. Resultados de absorción de agua en mortero con 20 % de PET

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA - CONSULTORA & CONSTRUCTORA
Telf: 072-540997
Cel: 0954674048

PROYECTO	PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTICULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 5%, 10% Y 20%
SOLICITA	JEFFERSON CEVALLOS
FISCALIZADOR	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA — FECHA: 17-jul.-19

Ensayo de absorción de agua de mortero en cubos de 50mm de arista - NTE INEN 642 (Con el 20% de particulas PET)

Ensayo sometido a la absorción de agua a los 7 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Particulas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Absorción (%)
04 de junio, 2019	13 de junio, 2019	X1	1	3.5	20	0.55	184.5	170.5	8.77
		X2					190.5	170.0	12.72
		X3					191.0	170.5	12.10
		Promedio							11.53

Ensayo sometido a la absorción de agua a los 14 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Particulas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Absorción (%)
04 de junio, 2019	20 de junio, 2019	X1	1	3.5	20	0.55	203.5	180.9	10.22
		X2					203.0	182.9	9.89
		X3					198.0	179.9	10.05
		Promedio							10.05

Ensayo sometido a la absorción de agua a los 28 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Particulas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Absorción (%)
04 de junio, 2019	04 de julio, 2019	X1	1	3.5	20	0.55	203.5	183.0	9.90
		X2					204.5	184.0	10.02
		X3					200.5	181.0	9.73
		Promedio							9.88

OBSERVACIONES: LOS ENSAYOS DE ABSORCIÓN DE AGUA FUERON REALIZADOS POR EL AUTOR DE LA TESIS

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA.
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

ING. RAMIRO JIMÉNEZ U.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 21. Resultados de coeficiente de permeabilidad en mortero base

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA - CONSULTORA & CONSTRUCTORA

Telf: 072-640907
Cel: 0994974048

PROYECTO	PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTÍCULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 5%, 10% Y 20%		
SOLICITA	JEFFERSON CEVALLOS		
FISCALIZADOR	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA	17-jul.-19

Ensayo de coeficiente de permeabilidad de mortero en cilindros de Ø 10 de diámetro - ASTM D2434 (Sin partículas PET)

Ensaye sometido al coeficiente de permeabilidad a los 7 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación			Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Tiempo (Segundos)	C. Permeabilidad (m/s)
			Cemento	Arena	Partículas %					
29 de mayo, 2019	07 de junio, 2019	X1	1	3.5	-	0.50	1169.0	1048.6	105.6	4.90 E-11
		X2					1149.5	1029.0	103.8	4.86 E-11
		X3					1142.6	1021.0	101.4	5.03 E-11
		Promedio								4.96 E-11

Ensaye sometido al coeficiente de permeabilidad a los 14 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación			Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Tiempo (Segundos)	C. Permeabilidad (m/s)
			Cemento	Arena	Partículas %					
29 de mayo, 2019	14 de junio, 2019	X1	1	3.5	-	0.50	1208.0	1108.0	175.3	4.64 E-11
		X2					1155.0	1055.5	170.6	4.77 E-11
		X3					1168.5	1068.0	162.4	5.03 E-11
		Promedio								4.81 E-11

Ensaye sometido al coeficiente de permeabilidad a los 28 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación			Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Tiempo (Segundos)	C. Permeabilidad (m/s)
			Cemento	Arena	Partículas %					
29 de mayo, 2019	26 de junio, 2019	X1	1	3.5	-	0.50	1171.0	1070.6	161.6	4.47 E-11
		X2					1173.0	1073.5	165.0	4.62 E-11
		X3					1159.0	1060.0	160.8	4.67 E-11
		Promedio								4.59 E-11

OBSERVACIONES: LOS ENSAYOS DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD FUERON REALIZADOS POR EL AUTOR DE LA TESIS

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA. Geotecnia - Consultora & Constructora RUC. 1191774473001

ING. RAMIRO JIMÉNEZ V.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 22. Resultados de coeficiente de permeabilidad en mortero con 5 % de PET

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA - CONSULTORA & CONSTRUCTORA
Telf: 072-540907
Cel: 0994574045

PROYECTO	PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTÍCULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 5%, 10% Y 20%
SOLICITA	JEFFERSON CEVALLOS
FISCALIZADOR	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA
FECHA	17-jul.-19

Ensayo de coeficiente de permeabilidad de morteros en cilindros de Ø 10 de diámetro - ASTM D2434 (Con el 5% de partículas PET)

Ensayo consistió al coeficiente de permeabilidad a los 7 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gs)	Peso seco (Gs)	Tiempo (Segundos)	C. Permeabilidad (m/s)
03 de junio, 2019	12 de junio, 2019	X1	1	3.5	5	0.60	1033.5	888.5	221.2	3.67 E-11
		X2					1058.0	909.0	151.8	5.35 E-11
		X3					1060.9	917.0	153.8	5.39 E-11
		Promedio								4.80 E-11

Ensayo consistió al coeficiente de permeabilidad a los 14 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gs)	Peso seco (Gs)	Tiempo (Segundos)	C. Permeabilidad (m/s)
03 de junio, 2019	18 de junio, 2019	X1	1	3.5	5	0.60	1062.9	874.0	168.8	4.67 E-11
		X2					1034.5	908.5	174.0	4.67 E-11
		X3					1061.9	867.5	174.0	4.67 E-11
		Promedio								4.74 E-11

Ensayo consistió al coeficiente de permeabilidad a los 28 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gs)	Peso seco (Gs)	Tiempo (Segundos)	C. Permeabilidad (m/s)
03 de junio, 2019	03 de julio, 2019	X1	1	3.5	5	0.60	1048.5	878.0	165.0	4.44 E-11
		X2					1022.5	845.0	177.0	4.59 E-11
		X3					1049.5	876.0	180.0	4.37 E-11
		Promedio								4.47 E-11

OBSERVACIONES: LOS ENSAYOS DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD FUERON REALIZADOS POR EL AUTOR DE LA TESIS

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA. Geotecnia - Consultora & Constructora RUC. 1191774473001

ING. RAMIRO JIMÉNEZ V.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 23. Resultados de coeficiente de permeabilidad en mortero con 10 % de PET

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA · CONSULTORA & CONSTRUCTORA

Telf: 072-540907
Cel: 0994976083

PROYECTO	PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTÍCULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 5%, 10% Y 20%
SOLICITA	JEFFERSON CEVALLOS
FISCALIZADOR	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA — FECHA: 17-jul.-19

Ensayo de coeficiente de permeabilidad de morteros en cilindros de Ø 10 de diámetro - ASTM D2434 (Con el 10% de partículas PET)

Ensayo sometido al coeficiente de permeabilidad a los 7 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gw)	Peso seco (Gs)	Tiempo (Segundos)	C. Permeabilidad (m/s)
05 de junio, 2019	14 de junio, 2019	X1	1	3.0	10	0.55	871.0	826.0	164.0	4.94 E-11
		X2					882.0	842.0	164.4	4.94 E-11
		X3					880.0	847.0	165.8	4.91 E-11
		Promedio								4.93 E-11

Ensayo sometido al coeficiente de permeabilidad a los 14 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gw)	Peso seco (Gs)	Tiempo (Segundos)	C. Permeabilidad (m/s)
05 de junio, 2019	21 de junio, 2019	X1	1	3.0	10	0.55	973.5	926.5	167.4	4.85 E-11
		X2					949.0	906.0	165.0	4.92 E-11
		X3					999.5	926.5	167.4	4.80 E-11
		Promedio								4.87 E-11

Ensayo sometido al coeficiente de permeabilidad a los 28 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gw)	Peso seco (Gs)	Tiempo (Segundos)	C. Permeabilidad (m/s)
05 de junio, 2019	30 de julio, 2019	X1	1	3.0	10	0.55	1000.0	940.0	163.2	4.20 E-11
		X2					972.5	926.5	161.8	4.47 E-11
		X3					973.0	927.0	166.0	4.37 E-11
		Promedio								4.35 E-11

OBSERVACIONES: LOS ENSAYOS DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD FUERON REALIZADOS POR EL AUTOR DE LA TESIS

GEOCONS TRUYE CIA LTD
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

ING. RAMIRO JIMENEZ V.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 24.Resultados de coeficiente de permeabilidad en mortero con 20 % de PET

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA - CONSULTORA & CONSTRUCTORA
Telf: 072-560907
Cel: 0990974048

PROYECTO	PROPUESTA DE MORTERO PARA REVESTIMIENTO, MEDIANTE EL REEMPLAZO DEL ÁRIDO FINO POR PARTÍCULAS DE POLÍMEROS RECICLADO TIPO PET, EN PORCENTAJES DEL 3%, 10% Y 20%
SOLICITA	JEFFERSON CEVALLOS
FISCALIZADOR	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA — FECHA: 17-jul.-19

Ensayo de coeficiente de permeabilidad de morteros en cilindros de Ø 10 de diámetro - ASTM D2434 (Con el 20% de partículas PET)

Ensayo normativo al coeficiente de permeabilidad a los 7 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Tiempo (Segundos)	C. Permeabilidad (m/s)
04 de junio, 2019	11 de junio, 2019	X1	1	3.5	20	0.55	870.5	787.5	88.4	8.26 E -11
		X2					877.5	799.5	88.5	8.19 E -11
		X3					882.9	800.5	78.2	1.33 E -10
		Promedio								9.93 E -11

Ensayo normativo al coeficiente de permeabilidad a los 14 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Tiempo (Segundos)	C. Permeabilidad (m/s)
04 de junio, 2019	20 de junio, 2019	X1	1	3.5	20	0.55	901.5	824.0	147.0	8.93 E -11
		X2					876.0	804.5	111.0	7.32 E -11
		X3					872.0	801.0	162.4	5.39 E -11
		Promedio								9.06 E -11

Ensayo normativo al coeficiente de permeabilidad a los 28 días de curado

Elaboración	Rotura	Probeta	Dosificación: Cemento	Arena	Partículas %	Relación A/C	Peso húmedo (Gr)	Peso seco (Gr)	Tiempo (Segundos)	C. Permeabilidad (m/s)
04 de junio, 2019	04 de julio, 2019	X1	1	3.5	20	0.55	870.0	813.0	186.4	4.31 E -11
		X2					865.5	826.0	144.2	5.84 E -11
		X3					849.0	716.0	205.3	3.56 E -11
		Promedio								4.64 E -11

OBSERVACIONES: LOS ENSAYOS DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD FUERON REALIZADOS POR EL AUTOR DE LA TESIS

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA.
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

ING. RAMIRO JIMÉNEZ V.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 25. Certificado de ensayos en laboratorio GEOCONS

GEOCONS

GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

CERTIFICA:

Que el Sr. JEFFERSON LEONARDO CEVALLOS SIGCHO, portador de la cedula de ciudadanía 1104812910 en calidad de estudiante de la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE) – Loja; ha realizado en nuestro Laboratorio "GEOCONS" los siguientes ensayos:

- Ensayo de Resistencia a la Compresión
- Ensayo de Resistencia a la Flexión
- Ensayo Determinación de Absorción de Agua
- Ensayo Determinación del Coeficiente de Permeabilidad

Las tareas realizadas fueron exclusivamente de carácter académico. Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente documento en lo que ha bien tuviera.

Atentamente.

GEOCONS TRUVE CIA. L
Geotecnia - Consultora & Constructora
RUC. 1191774473001

Ing. Ramiro Jiménez V.
RESPONSABLE GEOTÉCNICO
RUC: 1103587653001
CODIGO: 1031-06-716706

Av. 8 de Diciembre, Tras La Clinica Nataly, CEL: 0994974048 Oficina: 072-540907
Correo: raherjive@yahoo.es