



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**MORTERO CON ADICIÓN DE FIBRA DE PET APLICADA
COMO REFUERZO EN PAREDES DE MAMPOSTERÍA DE
LADRILLO**

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

**AUTOR: DIANA CRISTINA ANDRADE CABRERA, WILMER
MARCELO MOROCHO CASTRO.**

DIRECTOR: ING. CARLOS JULIO CORDERO CABRERA, Mgs.

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA INDUSTRIA
Y CONTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**MORTERO CON ADICIÓN DE FIBRA DE PET APLICADA COMO
REFUERZO EN PAREDES DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO**

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

**AUTOR: DIANA CRISTINA ANDRADE CABRERA, WILMER
MARCELO MOROCHO CASTRO.**

DIRECTOR: ING. CARLOS JULIO CORDERO CABRERA, Mgs.

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARACIÓN



Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Diana Cristina Andrade Cabrera y Wilmer Marcelo Morocho portadores de las cédulas de ciudadanía N° **0106817356** y **0106227531**. Declaramos ser autores de la obra: **“Mortero con adición de fibra de PET aplicada como refuerzo en paredes de mampostería de ladrillo”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **11 de enero de 2023**

F: 

Diana Cristina Andrade Cabrera
0106817356

F: 

Wilmer Marcelo Morocho Castro
0106227531

www.ucacue.edu.ec

Cuenca: Av. de las Américas y Tarqui. Telf: 2830751, 2824365, 2826563 Azogues: Campus Universitario "Luis Cordero El Grande", (Frente al Terminal Terrestre).
Telf: 593 (7) 2241 - 613, 2243-444, 2245-205, 2241-587 Cañar: Calle Antonio Ávila Clavijo. Telf: 072235268, 072235870 San Pablo de la Troncal: Cda. Universitaria
km.72 Quinceava Este y Primera Sur Telf: 2424110 Macas: Av. Cap. José Villanueva s/n Telf: 2700393, 2700392

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Diana Cristina Andrade Cabrera y Wilmer Marcelo Morocho Castro, bajo mi supervisión.

Cuenca, 11 de enero de 2023



F:

Ing. Carlos Julio Cordero Cabrera, Mgs.

0103382958

DEDICATORIA

Este logro lo dedico a Dios por cuidarme y darme sabiduría en este camino de mi carrera universitaria. A mis padres Isabel y Ambrocio por brindarme su apoyo incondicional, consejos y ser mi inspiración para seguir adelante a pesar de las adversidades, a mi hermano Fernando quien es mi motivación.

Andrade Cabrera Diana Cristina

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación va dedicado a mis padres Sonia y Ángel por apoyarme de una manera incondicional y dado todos sus consejos.

A mi hermana Joseline por estar siempre conmigo, cuidándome y sobre todo motivándome para que no me rinda.

A mi Tía Fanny por cuidarme desde pequeño y saber inculcar buenos valores.

Morocho Castro Wilmer Marcelo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Facultad de Ingeniería Industria y Construcción de la Universidad Católica de Cuenca y a cada uno de los catedráticos por contribuir en mi formación profesional y brindarme todo el conocimiento necesario. Un agradecimiento especial a mi Tutor de Tesis el Mgs. Carlos Julio Cordero Cabrera por haber impartido sus conocimientos y capacidad intelectual para el desarrollo de este trabajo de titulación.

Andrade Cabrera Diana Cristina

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento es a Dios por haberme cuidado y protegido para poder terminar esta etapa de mi carrera.

A mi hermana Joseline porque siempre estuvo ahí en las buenas y malas y es lo más valioso que Dios me puso en el camino.

A mi familia por estar ahí apoyando desde el primer día.

A mi tutor Mgs. Carlos Julio Cordero por su guía, paciencia, tiempo y por brindarnos su conocimiento

Morocho Castro Wilmer Marcelo

RESUMEN

El PET (polietileno tereftalato) es el plástico empleado para recipientes de bebidas, ya que no es muy costoso y de fácil uso. Existe una gran cantidad de desechos plásticos sin poder reciclarlo. Por esta razón, este material termina quemado o en cauces de ríos, llegando después a formar aglomeraciones de basura en el mar, afectando así a los ecosistemas. Por lo mencionado, se ha propuesto dar un uso a las fibras de PET en la construcción. El objetivo de esta investigación fue reforzar y determinar la influencia del mortero de pega en la mampostería de ladrillo, adicionando fibras de PET en un 0,5%, 1% y 1,5% con respecto del peso del cemento más la arena. Para ello, se realizó ensayos a compresión, flexión y adherencia, con la finalidad de comparar los resultados con la muestra patrón (sin fibra) y la normativa. Se pudo demostrar que las fibras PET refuerzan al mortero a flexión, adherencia por corte y permite que la mampostería tenga una mayor deformación brindándole así más seguridad a compresión. El porcentaje con mejores resultados fue el de 1% de incorporación de fibra, incrementando sus propiedades de resistencia y deformación.

Palabras clave: Refuerzo del mortero, fibras de PET, compresión, mampostería

ABSTRACT

PET (polyethylene terephthalate) is the material used for beverage containers as it is very cheap and easy to handle. There is a vast amount of plastic waste that cannot be recycled. For this reason, this material is burned or disposed of in riverbeds, eventually forming piles of waste in the ocean, thereby impacting the ecosystems. For these reasons, PET fibers have been proposed as a construction material. This research aimed to reinforce and determine the influence of glue mortar in brick masonry by adding PET fibers at 0.5%, 1%, and 1.5% concerning the weight of cement plus sand. For this purpose, compression, flexural, and adhesion tests were performed to compare the results with the standard sample (without fiber) and the regulations. It was demonstrated that PET fibers reinforce mortars in flexion and shear bonding and allow the masonry to have a greater deformation, thus providing more safety in compression. The percentage with the best results was 1% fiber incorporation, increasing its strength and deformation properties.

Keywords: mortar reinforcement, PET fibers, compression, masonry

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN	i
CERTIFICACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE ANEXOS	xiv
CAPÍTULO I	- 15 -
1. INTRODUCCIÓN	- 15 -
1.1 Problema.	- 16 -
1.1.1 Formulación del problema	- 16 -
1.1.2 Delimitación del problema.	- 17 -
1.2 Justificación.	- 17 -
1.3 Hipótesis	- 18 -
1.4 Objetivos	- 18 -
1.4.1 Objetivo General.	- 18 -
1.4.2 Objetivos específicos.	- 18 -
CAPÍTULO II	- 19 -
2. MARCO CONCEPTUAL	- 19 -
2.1 Estado del arte.	- 19 -
2.2 PET.	- 23 -
2.2.1 Características y propiedades del PET.	- 24 -
2.2.2 Tipos de fibras.	- 24 -
2.2.3 Según su tamaño	- 25 -
2.2.4 Según sus filamentos	- 26 -
2.3 Aplicaciones y propiedades de las fibras de PET.	- 26 -
2.4 Mortero.	- 27 -
2.5 Clasificación de los morteros.	- 28 -
2.5.1 Morteros según su composición.	- 28 -
2.5.2 Morteros según su fluidez.	- 29 -
2.6 Tipos de mortero según NTE-INEN.	- 30 -
2.6.1 Mortero tipo M	- 30 -

2.6.2 Mortero tipo S _____	- 30 -
2.6.3 Mortero tipo N _____	- 30 -
2.6.4 Mortero tipo O _____	- 30 -
2.7 Morteros para unidades de mampostería (normativa 2518): _____	- 30 -
2.7.1 Especificación por dosificación. _____	- 31 -
2.7.2 Especificación por propiedades _____	- 32 -
2.8 Dosificación del mortero de pega _____	- 32 -
2.9 Selección del tipo de mortero _____	- 33 -
2.10 Componentes del mortero de cemento _____	- 33 -
2.10.1 Cementantes _____	- 33 -
2.10.2 Cemento portland _____	- 33 -
2.10.3 Árido fino _____	- 34 -
2.10.4 Agua de mezclado _____	- 35 -
2.11 Propiedades del mortero. _____	- 35 -
2.11.1 Propiedades del mortero en estado fresco _____	- 35 -
2.11.2 Propiedades del mortero en estado endurecido _____	- 36 -
2.12 Resistencia a compresión del prisma de mampostería de arcilla _____	- 37 -
2.12.1 Cálculo de la corrección por esbeltez _____	- 38 -
2.13 Módulo de elasticidad del prisma _____	- 39 -
2.13.1 Determinación del módulo de elasticidad según la normativa _____	- 39 -
2.13.2 Determinación experimental del módulo de elasticidad _____	- 39 -
2.14 Normativas técnicas aplicadas. _____	- 40 -
CAPÍTULO III _____	- 41 -
3. MATERIALES Y MÉTODOS _____	- 41 -
3.1 Proceso para la elaboración del mortero de pega con adición de fibras PET. ____	- 41 -
3.2 Materiales empleados para la elaboración del mortero de pega con adición de fibras PET. _____	- 42 -
3.2.1 Fibras de botellas recicladas de plástico PET _____	- 42 -
3.2.2 Arena _____	- 45 -
3.2.3 Cemento _____	- 46 -
3.2.4 Agua _____	- 46 -
3.3 Realización de los ensayos al árido fino. _____	- 46 -
3.3.1 Granulometría. _____	- 46 -
3.3.2 Ensayo del contenido de humedad de la arena _____	- 48 -
3.3.3 Densidad y absorción de agua del árido fino. _____	- 50 -
3.4 Realización del ensayo a los ladrillos. _____	- 51 -
3.5 Diseño de mezclas para la elaboración de los morteros. _____	- 52 -
3.5.1 Dosificación _____	- 52 -
3.6 Elaboración de muestras en estado endurecido. _____	- 61 -

3.6.1 Resistencia a la compresión de cubos de mortero de 50 mm de arista _____	- 61 -
3.6.2 Resistencia a la flexión _____	- 62 -
3.6.3 Resistencia a la adherencia por corte _____	- 63 -
3.6.4 Resistencia a la compresión de prismas de ladrillos _____	- 63 -
CAPÍTULO IV _____	- 65 -
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____	- 65 -
4.1 Resultados _____	- 65 -
4.1.1 Resultados de la resistencia a la compresión de cubos de mortero de 50 mm de arista. _____	- 65 -
4.1.2 Resultados de la resistencia a la flexión. _____	- 66 -
4.1.3 Resultados de la resistencia a la adherencia por corte. _____	- 67 -
4.1.4 Resultados de la resistencia a la compresión de prismas de ladrillos. _____	- 69 -
4.1.5 Resistencia final f'_m y módulo de elasticidad según NSR-10 _____	- 70 -
4.1.6 Curva esfuerzo-deformación _____	- 70 -
4.2 Discusión. _____	- 73 -
4.2.1 Discusión de resultados con respecto a la resistencia de cada porcentaje de fibra de PET analizado _____	- 73 -
4.3 Discusión de resultados con respecto a la curva esfuerzo-deformación de los prismas de ladrillos _____	- 76 -
4.3.1 Comparación de curvas esfuerzo vs deformación _____	- 76 -
5. CONCLUSIONES _____	- 79 -
6. RECOMENDACIONES _____	- 81 -
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS _____	- 82 -
ANEXOS _____	- 85 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Símbolo del PET _____	- 23 -
Figura 2 Composición del mortero _____	- 28 -
Figura 3 Módulo de elasticidad por el método de la secante _____	- 39 -
Figura 4 Elementos de las botellas plásticas de PET _____	- 42 -
Figura 5 Máquina para la fabricación de la fibra de PET. _____	- 44 -
Figura 6 Corte y desmenuzado de las fibras de PET en 45 mm de largo _____	- 45 -
Figura 7 Ubicación del centro de acopio para la obtención de la arena. _____	- 45 -
Figura 8 Cemento Atenas tipo GU _____	- 46 -
Figura 9 Peso y lavado de la arena _____	- 47 -
Figura 10 Tamizadora y peso retenido de la arena del tamiz N°50 _____	- 47 -
Figura 11 Curva granulometría del árido fino _____	- 48 -
Figura 12 Masa húmeda de la arena _____	- 49 -
Figura 13 Ensayo de la densidad y absorción de la arena _____	- 50 -
Figura 14 Ubicación fabrica Pinduisaca _____	- 51 -
Figura 15 Cantidad de cemento de acuerdo al módulo de finura _____	- 53 -
Figura 16 Relación Agua/cemento _____	- 54 -
Figura 17 Cubos de 50 mm de arista _____	- 62 -
Figura 18 Prismas para el ensayo a flexión _____	- 62 -
Figura 19 Adherencia de ladrillos por corte _____	- 63 -
Figura 20 Prisma de ladrillos _____	- 64 -
Figura 21 Resultados de la resistencia a la compresión _____	- 66 -
Figura 22 Resultados de la resistencia a la Flexión _____	- 67 -
Figura 23 Resultados de la resistencia a la adherencia por corte _____	- 68 -
Figura 24 Resultados de la resistencia a la compresión de prismas de ladrillos _____	- 70 -
Figura 25 Curva esfuerzo deformación del prisma con el mortero patrón _____	- 71 -
Figura 26 Curva esfuerzo deformación del prisma con mortero 0.5% de fibra _____	- 72 -
Figura 27 Curva esfuerzo deformación del prisma con 1% de fibra en el mortero _____	- 72 -
Figura 28 Curva esfuerzo deformación del prisma con 1.5% de fibra en el mortero _____	- 73 -
Figura 29 Resistencias máximas de todos los ensayos realizados _____	- 73 -
Figura 30 Comparación de las curvas esfuerzo deformación _____	- 77 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Síntesis de la revisión literaria</i> _____	- 22 -
Tabla 2 <i>Características y propiedades del PET</i> _____	- 24 -
Tabla 3 <i>Aplicaciones y ventajas de las fibras de PET</i> _____	- 27 -
Tabla 4 <i>Clasificación de morteros según su fluidez</i> _____	- 29 -
Tabla 5 <i>Especificaciones por dosificación. Requisitos</i> _____	- 31 -
Tabla 6 <i>Especificaciones por propiedades. Requisitos</i> _____	- 32 -
Tabla 7 <i>Dosificación del mortero de pega</i> _____	- 33 -
Tabla 8 <i>Tipos de cementos</i> _____	- 34 -
Tabla 9 <i>Límites granulométricos del árido para mampostería</i> _____	- 34 -
Tabla 10 <i>Factores de corrección para la resistencia de los prismas de mampostería</i> _____	- 38 -
Tabla 11 <i>Normas aplicadas</i> _____	- 40 -
Tabla 12 <i>Ensayo de la granulometría del árido fino</i> _____	- 48 -
Tabla 13 <i>Porcentaje de humedad de la arena</i> _____	- 49 -
Tabla 14 <i>Ensayo de densidad y absorción del árido fino</i> _____	- 50 -
Tabla 15 <i>Ensayo de los ladrillos</i> _____	- 52 -
Tabla 16 <i>Cantidades del mortero base</i> _____	- 56 -
Tabla 17 <i>Masa de fibras por m³ de mortero</i> _____	- 57 -
Tabla 18 <i>Cantidades de materiales para el mortero base</i> _____	- 57 -
Tabla 19 <i>Cantidades de fibras PET para 3 especímenes</i> _____	- 58 -
Tabla 20 <i>Cantidades de materiales para el mortero base</i> _____	- 58 -
Tabla 21 <i>Cantidades de fibras PET para 3 especímenes</i> _____	- 59 -
Tabla 22 <i>Cantidades de materiales para el mortero base</i> _____	- 59 -
Tabla 23 <i>Cantidades de fibras PET para 5 especímenes</i> _____	- 60 -
Tabla 24 <i>Cantidades del mortero base</i> _____	- 60 -
Tabla 25 <i>Cantidades de fibras PET para 5 especímenes</i> _____	- 61 -
Tabla 26 <i>Resultados de la resistencia a la compresión</i> _____	- 65 -
Tabla 27 <i>Resultados de la resistencia a la flexión</i> _____	- 66 -
Tabla 28 <i>Resultados de la resistencia a la adherencia por corte</i> _____	- 67 -
Tabla 29 <i>Resultados de la resistencia a la compresión de prismas de ladrillos</i> _____	- 69 -
Tabla 30 <i>Resultado de las resistencias y módulo de elasticidad</i> _____	- 70 -
Tabla 31 <i>Resultado porcentual de las resistencias con respecto al patrón</i> _____	- 74 -
Tabla 32 <i>Resultado porcentual de la resistencia de los prismas de ladrillos</i> _____	- 75 -
Tabla 33 <i>Comparación del módulo de elasticidad</i> _____	- 76 -
Tabla 34 <i>Comparación de las zonas elásticas y plásticas</i> _____	- 77 -

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. <i>Detalle del ensayo a compresión de cubos de mortero</i>	- 85 -
Anexo 2. <i>Detalle del ensayo a flexión</i>	- 85 -
Anexo 3. <i>Detalle del ensayo de adherencia por corte</i>	- 86 -
Anexo 4. <i>Detalle del ensayo a compresión de prismas de mampostería</i>	- 87 -
Anexo 5. <i>Curvas de las 5 muestras con mortero patrón en prismas</i>	- 88 -
Anexo 6. <i>Curvas de las 5 muestras con mortero patrón más el 0.5% de fibra PET en prismas</i>	- 88 -
Anexo 7. <i>Curvas de las 5 muestras con mortero patrón más el 1% de fibra PET en prismas</i>	- 89 -
Anexo 8. <i>Curvas de las 5 muestras con mortero patrón más el 1.5% de fibra PET en prismas</i>	- 89 -
Anexo 9. <i>Curva promedio del mortero patrón en prismas detallada la deformación unitaria</i>	- 90 -
Anexo 10. <i>Curva promedio del mortero patrón más el 0.5% de fibras PET en prismas detallada la deformación unitaria</i>	- 90 -
Anexo 11. <i>Curva promedio del mortero patrón más el 1% de fibras PET en prismas detallada la deformación unitaria</i>	- 91 -
Anexo 12. <i>Curva promedio del mortero patrón más el 1.5% de fibras PET en prismas detallada la deformación unitaria</i>	- 91 -
Anexo 13. <i>Máquina prototipo de la fabricación de la fibra del PET</i>	- 92 -
Anexo 14. <i>Cabezal giratorio</i>	- 92 -
Anexo 15. <i>PET triturado</i>	- 93 -
Anexo 16. <i>Medidor de temperatura, 250 °C y fundición del PET</i>	- 93 -
Anexo 17. <i>Salida de las fibras</i>	- 93 -
Anexo 18. <i>Fibra de PET final</i>	- 94 -
Anexo 19. <i>Peso del cubo de un ladrillo</i>	- 94 -
Anexo 20. <i>Plano de falla en un ladrillo</i>	- 94 -
Anexo 21. <i>Refrendado de las muestras del ensayo de prismas de mampostería</i>	- 95 -
Anexo 22. <i>Curado de las muestras del ensayo de adherencia por corte</i>	- 95 -
Anexo 23. <i>Rotura de muestra a compresión del mortero patrón</i>	- 95 -
Anexo 24. <i>Rotura de la muestra patrón a flexión</i>	- 96 -
Anexo 25. <i>Rotura y falla del mortero patrón de la muestra de adherencia por corte</i>	- 96 -
Anexo 26. <i>Rotura de prismas de mampostería con mortero patrón</i>	- 96 -
Anexo 27. <i>Rotura de muestra a compresión del mortero con 0.5% de fibra</i>	- 97 -
Anexo 28. <i>Rotura de muestra a flexión con 0.5% de fibra</i>	- 97 -
Anexo 29. <i>Rotura y falla del mortero de la muestra de adherencia por corte con 0.5% de fibra</i>	- 97 -
Anexo 30. <i>Elaboración y rotura de prismas de mampostería con 0.5% de fibra</i>	- 98 -
Anexo 31. <i>Rotura de muestra a compresión del mortero con 1% de fibra</i>	- 98 -
Anexo 32. <i>Rotura de muestra a flexión con 1% de fibra</i>	- 99 -
Anexo 33. <i>Rotura y falla del mortero de la muestra de adherencia por corte con 1% de fibra</i>	- 99 -
Anexo 34. <i>Elaboración y rotura de prismas de mampostería con 1% de fibra</i>	- 99 -
Anexo 35. <i>Rotura de muestra a compresión del mortero con 1.5% de fibra</i>	- 100 -
Anexo 36. <i>Rotura de muestra a flexión con 1.5% de fibra</i>	- 100 -
Anexo 37. <i>Rotura y falla del mortero de la muestra de adherencia por corte con 1.5% de fibra</i>	- 101 -
Anexo 38. <i>Rotura de prismas de mampostería con 1.5% de fibra</i>	- 101 -

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Por el avance de las investigaciones, cada día se obtienen nuevos materiales para reforzar al mortero que es muy utilizado en la construcción especialmente en las edificaciones con mampostería (Valbuena Porras et al., 2016). Con el propósito de desarrollar nuevos materiales que garanticen construcciones más seguras, económicas, duraderas y sostenibles, se ha visto necesario investigar un refuerzo para incrementar las propiedades mecánicas del mortero.

Anteriormente, las fibras estuvieron presentes en la construcción del adobe, tapia pisada entre otros. En un material más aglomerante, estas fibras se utilizaron en las tejas o asbesto de cemento. Últimamente se ha buscado materiales para optimizar el comportamiento mecánico del mortero como son: fibra de vidrio, carbono, acero, polipropileno (PP) y PET, siendo esta última una de las mejores alternativas por su costo y producción (Caovas Tejada & Segrera Leòn, 2020). Además, que este material es el que más abunda por los desperdicios de plástico generado.

El problema fundamental del PET es el tiempo que demora en degradarse por completo. Por lo que, se ha depositado toneladas de botellas en rellenos sanitarios para su desintegración. Sin tomar en cuenta que existe una gran parte de botellas que llegan al océano (Quintero Mazo, 2020). También, existe un incremento en su producción y uso, comparado con años anteriores. Por ende, por su crecimiento y por una deficiencia en su eliminación se propone usar el PET como una alternativa en la construcción. Para así, contribuir de manera significativa al medio ambiente y utilizar las fibras como material de refuerzo.

En el Ecuador, en el documento elaborado en Loja por Cevallos Sigcho (2019) se estudió un mortero para revestimiento, remplazando la arena por el PET con la misma granulometría. Las muestras se sometieron a ensayos de compresión y flexión, dando como resultado una mejora, con la sustitución del 5% y 10% del PET con respecto a la masa de la arena. Sin embargo, en el caso del 20% de adición del plástico tuvo una disminución en su resistencia, demostrando que mientras más cantidad del árido fino se reemplace por las partículas de polímeros PET, va a afectar su resistencia.

El objetivo del estudio busca reforzar el mortero tradicional colocando las fibras de forma distribuida y sin ningún orden en particular. La utilización de fibras está diseñada para reducir las grietas y aumentar la resistencia del mortero a flexión (Higuera Flórez et al., 2020). Por

consiguiente, se propone utilizar fibras PET como una alternativa eficaz. Finalmente, se pretende reutilizar las botellas para obtener las fibras mediante el desarrollo de una máquina prototipo, buscando beneficiar de una manera ecológica y socioeconómicamente a la sociedad.

1.1 Problema.

1.1.1 Formulación del problema

El PET es el plástico, empleado para recipientes de bebidas, ya que no es muy costoso y de fácil uso. Existe una gran cantidad de desechos plásticos sin poder reciclarlo. Por esta razón, este material termina quemado o en cauces de ríos, llegando después a formar aglomeraciones de basura en el mar, afectando así a los ecosistemas. Además, el tiempo de su degradación puede ser aproximadamente de unos 600 años por su alta cristalinidad (Higuera Flórez et al., 2020).

En el 2018 las Naciones Unidas (ONU) detalló que, en el Caribe y América latina, un tercio de los desechos se encuentran sin ningún tipo de recubrimiento, lo que provoca enfermedades y contaminación del suelo, agua y aire (Benítez Serrano & Gárate Andrade, 2020). También según la ONU, un kilómetro y medio cuadrado el océano contiene 46.000 pedazos de plástico flotante. Se estima que alrededor del 90% de los desechos en todos los océanos del mundo, se encuentran formados de plástico (Sanabria Chioino, 2016).

La recolección del PET es una tarea difícil para el municipio de Cuenca, ya que además de lo costoso que es, también existe un problema en el volumen que representa. En la ciudad de Cuenca se recolecta 129,68 Ton al mes aproximadamente de material reciclado, en donde solo el 7.6 % es PET (Cajamarca Cajamarca et al., 2019). La empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC EP) se encarga del sistema de reciclaje, estando enfocada en la recolección inclusiva para que las personas sean las encargadas de clasificar el plástico. Además, posee 250 recicladores, y 170 que se encuentran asociados (EMAC EP, 2019).

Un problema del mortero tradicional es que existen agrietamientos y despegue de la mampostería, que se pueden evidenciar constantemente en las construcciones por un mal método constructivo, mala dosificación o una falla por cortante (Porrás Gil & Guzman Beltran, 2020).

Países como Chile por la ubicación que se encuentra y su alta peligrosidad sísmica ya ha empleado fibras de refuerzo (Castro Aguirre, 2016). Por lo cual, en Cuenca podría ser factible realizar un refuerzo en los morteros, para aumentar su resistencia en los sismos. Por lo

expuesto, se plantea analizar la fibra de PET en la utilización del mortero como refuerzo. Se va a implementar el plástico que muchas veces es arrojado a los causes sin un previo reciclaje. Ya sea por desinformación en la fabricación de las fibras PET o por la ausencia de maquinaria o equipos para transformar las botellas post-consumo en fibra (Guerra Vaca, 2021). Por ello se plantea fabricar las fibras y utilizar en la construcción.

1.1.2 Delimitación del problema.

En esta investigación se estudia el comportamiento al colocar fibras sintéticas de PET al mortero tradicional. Se realizó ensayos en el laboratorio de resistencia a la flexión, compresión y adherencia, para comparar las muestras y de acuerdo con esos resultados se estableció la dosificación óptima. A fin de elaborar el mortero de fibra de PET, se tiene que considerar algunas variables como son: el tipo de cemento a utilizar, la humedad y granulometría de la arena, el tamaño y grosor de las fibras, tipo de ladrillos, y dosificación.

1.2 Justificación.

El plástico es un gran contaminador del ecosistema por su difícil degradación, causando una de las mayores amenazas para nuestro planeta. Esto se da por los alto niveles de Residuos Urbanos (RSU) que son producidos por los centros poblados. Según Zambrano Loayza (2015), 300 toneladas de PET recolecta la empresa EMAC EP en el cantón de Cuenca por año. De las cuales el 13% son reutilizadas, seguidas del 29% que es reciclado, pero lastimosamente el 58% de los envases de plástico se tiran sin una adecuada recolección de los residuos. Por ello, el interés de este estudio para dar un nuevo uso al PET y construir morteros más eficientes y efectivos, mediante la creación de fibras y utilización como refuerzo del mortero. Para mejorar las características mecánicas y reducir los impactos ambientales mediante el empleo de estos residuos, beneficiando a la ciudad. (Araya-Letelier et al., 2019).

Por las condiciones sísmicas que puede tener una zona, al estar cerca del cinturón de fuego del Pacífico, se debe investigar nuevos materiales que se puedan utilizar como refuerzo para mampostería no estructural. Según Higuera Flórez et al. (2020) en Colombia demostró que el mortero con PET tiene una gran resistencia a las fisuras. El empleo de la fibra de PET como refuerzo, hace una disminución en el peso en la estructura en comparación con otros materiales como la fibra de acero, que además, tiene un problema de oxidación (Porrás Gil & Guzman Beltran, 2020).

Este estudio sirve para fortalecer la mampostería de ladrillo, ya que este material es muy utilizado en las edificaciones a nivel nacional. Según al Censo del año 2010 realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), estableció que en la ciudad de Cuenca el

material predominante en paredes es el ladrillo o bloque con el 84.82%. Por esa razón, se propone incrementar las características mecánicas de los morteros tradicionales con PET reciclado, con la intención de disminuir los agrietamientos y despegues de la mampostería de ladrillo (Castro Aguirre, 2016). En esta investigación se desarrolló un prototipo de una máquina para fabricar fibras de botellas plásticas recicladas, que brindará beneficios socio-económicos y ecológicos a localidades. Finalmente se encontrará el porcentaje de fibras PET óptimo, para el mortero como refuerzo en mampostería de ladrillo.

1.3 Hipótesis

Esta investigación tiene como objetivo reforzar el mortero con fibras de PET. Para darle una segunda vida a este plástico fomentando al reciclaje y contribuir al medio ambiente. También se va a analizar cuál es el porcentaje con las mejores características del mortero y compararlo con un mortero tradicional. Con el propósito de analizar la influencia que tienen las fibras en las pruebas de compresión, flexión y adherencia del mortero de cemento, que es utilizado para unir mampostería. Para finalmente comprobar si es factible utilizar como un refuerzo en el mortero. Se pretende incrementar las características del mortero a flexión, compresión, prisma de ladrillos y estudiar el comportamiento de la adherencia con respecto al mortero sin fibras.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General.

- Diseñar un mortero de pega con la elaboración de fibras recicladas de PET utilizado como refuerzo para unir mampostería de ladrillo.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Obtener fibras de PET a través de una máquina prototipo.
- Conocer los morteros tradicionales que servirán como base para establecer la dosificación de las muestras.
- Realizar diseños experimentales del mortero base y de los morteros con la adición de diferentes porcentajes de fibra de PET.
- Evaluar el desempeño mecánico a flexión, compresión y adherencia por corte para conocer el comportamiento de los morteros.

CAPÍTULO II

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Estado del arte.

El mortero a pesar de ser un material de construcción muy utilizado no ha tenido el mismo impacto investigativo como el concreto (Salamanca Correa, 2001). Por lo que existen pocos estudios del mortero con adición de PET, realizado con diferentes porcentajes en relación con el peso del cemento, peso de la arena, peso del cemento más la arena y del volumen total. Entonces, se exponen algunas investigaciones relevantes que muestran lo que se ha obtenido hasta el momento.

En la investigación de Ojeda et al. (2020), se elaboraron 3 dosificaciones para el mortero: una mezcla base, una mezcla con las fibras de PET y otra con fibras nylon. Realizaron ensayos a flexión y compresión, dándoles un mejor resultado a los dos esfuerzos con las fibras de PET remplazadas por el peso de la arena en comparación con las otras dosificaciones. Demostraron que las botellas plásticas tienen una resistencia tardía, ya que a los 28 días supero al mortero tradicional, mientras que a los 7 días no. También establecieron que el refuerzo de los morteros de hasta 1.5% de fibras PET, incrementan la resistencia a la flexión, ya que utilizaron un tamaño adecuado de las fibras. Al realizar un análisis bibliográfico del PET diseñaron las fibras con los tamaños de 45 mm de largo y 2 mm de ancho

Así también, en la investigación de Cabrera Rodríguez (2017), propuso remplazar el peso del árido fino por el PET con el 10%, 15%, 20% y 30%, para elaborar un mortero. Realizó un análisis granulométrico para obtener el mismo tamaño de las partículas del plástico y de la arena. En estos resultados obtuvo que en el ensayo a compresión bajó su resistencia, concluyendo que la causa fue por agregar un alto porcentaje de PET, siendo el mortero inadecuado para su uso.

Según Cárdenas Pulido et al. (2020) realiza una revisión bibliográfica para el aprovechamiento de los filamentos de PET en la producción de morteros. La fracción de volumen de fibras comúnmente utilizadas varía entre 0,3% a 1,5%. También establece que las fibras de PET ayudan a la pérdida de las grietas por esfuerzos de tensión y por anomalías de retracción plástica, además de incrementar la durabilidad del mortero. También, el aumento de la cantidad de PET provoca una reducción gradual de la resistencia a compresión de los morteros. Además, adicionó el 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75% y 1,0% de fibras PET lisas comerciales por peso del cemento. La resistencia a la compresión de cubos de

mortero disminuyó, siendo el 0.5% el menos desfavorable en un 1% con relación al mortero patrón. No utilizaron un porcentaje de fibra mayor ya que disminuía su trabajabilidad abruptamente por el tamaño de fibra de 25 mm de longitud y 0.68 mm de diámetro.

Alesmar et al. (2008), analizaron el mortero con el uso del 0%, 5%, 10% y 15% del PET triturado con un tamaño de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ de pulgada, no realizaron una granulometría previa, y sustituyeron el peso de la arena por el PET para así fabricar el mortero. Por los resultados obtenidos, concluyeron que para una mezcla óptima no se debe reemplazar la arena por el plástico, porque produce discontinuidades desde la colocación en los moldes. Otro dato importante fue que, al tener una granulometría diferente del plástico, produjo un comportamiento negativo a su composición dura. El mortero tuvo un fallo por adherencia, puesto que la interacción entre el plástico y el mortero se hallaba considerablemente lisa y los pedazos de plástico se despegaban sin problema. Por otra parte, el PET ayudó a que no se destrozara toda la muestra, manteniéndola unida. También se demostró que el plástico a los 7 días no tuvo una buena resistencia a compresión, pero a los 28 días ya casi igualaba al mortero patrón, demostrando que el aumento de la resistencia con PET es más lento, siendo necesario el análisis a los 28 días.

También se ha realizado experimentos en el laboratorio para investigar los efectos de las fibras de PET recicladas en el mortero de cemento Portland, para comprobar las características de agrietamiento y contracción plástica. Los resultados obtenidos mostraron una disminución significativa en el ancho y área total de las fisuras añadiendo un 1.5% de fibras PET recicladas del volumen total, mejorando la ductilidad y deteniendo las grietas del mortero. Además, el desempeño de la resistencia a la compresión disminuyó a medida que aumentaba el contenido de fibra. La resistencia a la flexión aumentó en un 84% en comparación al mortero sin fibras (Al-Tulaian et al., 2016).

En la investigación de Quintero Mazo (2020) realiza una simulación numérica del desempeño mecánico a flexión y compresión de las fibras PET en el mortero. Se establece que con una cantidad del 1.5% de fibras PET del volumen total, el funcionamiento mecánico presenta mejores resultados, en comparación con un 0.5% o nada de fibra. La longitud de las fibras fue de 10mm, 25mm, 50mm y 75mm. Concluyendo que a un tamaño mayor de fibras (50 y 75mm) resiste mejor el esfuerzo a compresión en el mortero. A flexión tiene un mayor desempeño las fibras más pequeñas (10 y 25mm).

Riaño Bolaños & Ayala Granados (2019) emplea fibras de PET para mortero, con una longitud de 26 ± 2 mm y un diámetro de 0.68mm. La mejor proporción de fibra utilizada fue la del 0.5% del peso del cemento, en donde la resistencia a la compresión fue casi similar a la del mortero tradicional. Pero con respecto a la durabilidad y módulo de elasticidad con fibras

aumento considerablemente. Por lo que es factible emplear fibras de PET en el mortero y además ayuda a reducir el exceso de botellas PET en el medio ambiente.

Pereira De Oliveira & Castro-Gomes (2011) analizaron las fibras del PET como refuerzo en morteros de enlucidos. Se realizó la investigación en muestras con cemento y cal. Con diferentes porcentajes de volúmenes de fibras como son: 0%, 0.5%, 1,0% y 1.5% con respecto al volumen total. Se pudo medir las propiedades mecánicas como flexión y compresión dando como resultado una mejorara significativamente a la flexión de los morteros. Sin embargo, el volumen óptimo para una buena trabajabilidad fue de 1.5%.

En la investigación de Zaruma (2018) analizó un mortero impermeable con PET para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora. Realizó agregando a la mezcla el PET en remplazo del peso del agregado fino en porcentajes de 0%, 5%, 10% y 20%. Se estudiaron las características mecánicas a flexión, compresión, adherencia. La resistencia a compresión está asociada a la cantidad de PET que se agregue. Es decir, si se reemplaza más cantidad de PET su resistencia va a disminuir. En este caso con agregar un 20% de PET disminuye en un 50% con respecto al mortero patrón. La resistencia a la flexión incremento su resistencia en un 20.38%, 18.44% y 55.09% respectivamente con respecto al mortero patrón. La resistencia a la adherencia se pudo evidenciar una diversificación de resultados ya que con un porcentaje de PET de 5% decrece en un 8.75%, para un 10% de PET decrece en un 40% y para un 20% de PET aumenta en un 2.5% del mortero base.

Castro Aguirre (2016) en su investigación añadió fibras de vidrio, acero y polipropileno como refuerzo en el mortero. Adicionó porcentajes de 0.5% y 1% de la suma de la masa de la arena y cemento. Estudió el comportamiento del mortero de pega y de los prismas de ladrillo a compresión y adherencia. Concluyó que el porcentaje de 0.5% del material plástico polipropileno alcanzó mejores resultados en comparación con el mortero tradicional en los tres ensayos realizados.

Hasta el momento se ha evaluado el comportamiento de las propiedades mecánicas del mortero reforzado con fibras de botellas recicladas. En donde se ha visto una mejora en la resistencia a la flexión, tracción, y disminución en la fisuración (Saucedo Rodriguez et al., 2021). Lo que se ha venido realizando es reforzar el mortero con fibras metálicas y sintéticas que llevan un proceso de industrialización. Este tipo de materiales si bien ayudan a mejorar el comportamiento del mortero, generan un impacto ambiental en su producción (Jadán Luzuriaga, 2017). Por ello se plantea la utilización de las fibras de PET recicladas para darle un segundo uso al plástico y evitar generar más contaminación. En la tabla 1 se presenta una síntesis de la revisión literaria.

Tabla 1*Síntesis de la revisión literaria*

Autor/ Año	Tema	PET utilizado	Ensayos elaborados	Porcentaje del PET	Resultados obtenidos
(Ojeda et al., 2020)	Diseño y ensayo de fibras plásticas recicladas para refuerzo de mortero	Fibras de pet	Flexión y compresión	1.5 kg por metro cúbico de volumen de mezcla	Aumento de la resistencia a flexión y compresión
(Cabrera Rodríguez, 2017)	Elaboración de morteros con adición de polímeros (pet)	PET triturado y tamizado	Compresión y flexión	10%, 15%, 20% y 30% remplazo del peso del árido fino	En el ensayo a la compresion y flexión bajo su resistencia por colocar una alta cantidad de PET.
(Cárdenas Pulido et al., 2020)	Evaluación del comportamiento a compresión y propiedades físicas de morteros de cemento reforzados con fibras recicladas pet	Fibras PET lisas	Compresión	0%, 0,25%, 0,5%, 0,75% y 1% por peso del material cementante	Disminución en la resistencia a la compresión en comparación con el mortero tradicional
(Alesmar et al., 2008)	Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (pet) – cemento	PET triturado sin tamizar	Compresión	10% remplazo del peso del árido fino	Disminución a compresión por el remplazo de la arena por el plástico, existiendo discontinuidades en las muestras.
(Al-Tulaian et al., 2016)	Residuos de fibras plásticas recicladas para el refuerzo del mortero Portland	Fibras de PET	Compresión y flexión	1.5% del volumen total	Aumento de la resistencia a flexión y disminución a compresión con fibras PET de 50mm de largo
(Quintero Mazo, 2020)	Simulación numérica del comportamiento mecánico en morteros de cemento hidráulico adicionados con fibras pet	Simulación de fibras de PET	compresión y flexión	0,5% 1% y 1,5 % del volumen total	El porcentaje con 1.5% de fibra PET mostró mejor desempeño
(Riaño Bolaños & Ayala Granados, 2019)	Influencia de fibras tipo pet en las características de resistencia y durabilidad del mortero de cemento hidráulico	Fibras de PET	Compresión	0,25% 0,50% 0,75% y 1 % en relación al peso del cemento	Disminución en la resistencia a la compresión en comparación con el mortero tradicional
(Pereira De Oliveira & Castro-Gomes, 2011)	Comportamiento físico y mecánico del mortero reforzado con fibra de PET reciclado	Fibras de PET	Compresión y flexión	0%, 0.5%, 1.0% y 1.5% del volumen total	Aumento de la resistencia a flexión
(Zaruma, 2018)	Mortero impermeable a base de plástico reciclado PET para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora	PET triturado y tamizado	Compresión, flexión y Adherencia	0%, 5%, 10% y 20% remplazo del peso del árido fino	Aumento de la resistencia a flexión y adherencia

Fuente: (Autores)

En el análisis de la tabla 1 de los artículos y tesis, se pudo conocer la influencia del PET con diferentes porcentajes en el mortero, los ensayos realizados y resultados obtenidos. El porcentaje de fibras comúnmente utilizadas y que han tenido buenos resultados varía entre 0,3% a 1,5%. Por ende, en el estudio se eligió trabajar con 3 dosificaciones de fibras de PET: 0.5%, 1%, y 1.5% por ser los valores más frecuentes en las investigaciones. Este porcentaje está en función de mejorar el rendimiento de las propiedades mecánicas para reforzar el mortero tradicional para así, estudiar el comportamiento fabricando prismas de ladrillos. Por último, las fibras con los tamaños de 45 mm de largo 2 mm de ancho mejora la resistencia a compresión. Además de ser los valores más utilizados y de fácil fabricación.

2.2 PET.

El PET es un plástico muy utilizado en la elaboración de envases de bebidas, textiles, etc. Este plástico mayormente es desechado a los basureros, y posteriormente depositado en los rellenos sanitarios. Las botellas de PET tienen un solo uso, por lo que ocupan demasiado espacio para su almacenamiento (Alesmar et al., 2008). El PET está elaborado con petróleo crudo, gas natural y aire. El paraxileno se extrae del petróleo crudo y al oxidarse por el aire da como resultado el ácido tereftálico (Alesmar et al., 2008). El PET corresponde a los poliésteres, por la presencia de este ácido (Cevallos Sigcho, 2019).

El PET es un polímero que con acción de altas temperaturas se vuelve moldeable, por sus relaciones intermoleculares se debilitan volviéndose más quebradizo, pero cuando se enfría vuelve a la normalidad, estando realmente duro. El PET al tener esta característica se lo puede reutilizar sin que se descomponga (Cevallos Sigcho, 2019). Al ser el PET el elemento con mayor capacidad para su reciclaje representa según la SPI (Sociedad de Industrias de Plástico) el dígito 1 en el interior de tres flechas que forman un triángulo (figura 1). Este símbolo está situado en la parte de abajo de los recipientes plásticos. El mayor uso de los botes plásticos después de su utilización es para la industria textil como: alfombras, escobas, pantalones, etc. No es reservado para la elaboración de envases en contacto directo de bebidas o alimentos (Alesmar et al., 2008).

Figura 1

Símbolo del PET



Fuente: (Alesmar et al., 2008)

2.2.1 Características y propiedades del PET.

El PET no es originario de una fuente natural ya que procede de una reacción química (Cevallos Sigcho, 2019). El PET es característico por su bajísimo peso, fuerza a la compresión, transparencia, no altera las características de la comida al guardarla, es reciclable, y tiene potencial para generar recipientes reutilizables (Alesmar et al., 2008). Posteriormente, se muestra las características y propiedades más significativas del PET en la tabla 2 para su utilización en el mortero de pega para mampostería.

Tabla 2

Características y propiedades del PET

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL PET	
Peso específico.	134 - 139 gr/cm ³
Resistencia a la tensión.	59 – 72 MPa
Resistencia a la compresión.	76 – 128 MPa
Resistencia al impacto.	0.01 – 0.04 J/mm
Dureza.	Rockwell M94 – M101
Dilatación térmica.	15.2 – 24 10 ⁻⁴ /°C
Resistencia al calor.	80 -120 °C
Temperatura de fusión.	244 - 260 °C
Resistencia dieléctrica.	13780 – 15750 V/mm
Constante dieléctrica (60 hz).	3.35
Absorción de agua (24 h).	0.02 %
Velocidad de combustión.	Lento mm/min
Efecto de la luz solar.	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado.	Muy buena
Calidad óptica.	Transparente a opaco y admite cargos de colorantes
Retornable.	100% retornable y reciclable
Resistencia a la estabilidad a la intemperie.	Muy buena
Duración.	Muy buena
Resistencia a la corrección.	Excelente por ser polimérica

Fuente: (Cevallos Sigcho, 2019)

2.2.2 Tipos de fibras.

El reciclar es una acción que consiste en volver a introducir el producto ya usado nuevamente en la cadena de producción y consumo, para de esta forma obtener un nuevo material en base a un residuo (Sánchez D. , 1994). Las fibras sintéticas o químicas son conseguidas por el proceso químico de elementos naturales. Estas fibras son artificiales que

resultaron de la exploración de empresas petroquímicas y textiles (Caovas Tejada & Segrera Leòn, 2020). La adición de fibras no es nada nuevo, ya fue utilizada antiguamente para el refuerzo de los adobes como el pasto, hilo, pelo de animal, paja y así evitaban su fisuración (Caovas Tejada & Segrera Leòn, 2020). Algunos textos definen la fibra como un filamento delgado, corto y discontinuo de algún material natural o fabricado. Son delgados, se doblan con facilidad y, dependiendo del tipo de fibra, pueden mejorar ciertas propiedades mecánicas del mortero (Porras Gil & Guzman Beltran, 2020).

Las fibras en poliéster de PET son las que más se producen en el mundo, por su bajo costo, peso ligero, fuerza, entre otros (Guerra Vaca, 2021). Las fibras de plástico se fabrican estirando los polímeros sintéticos en monofilamentos de sección circular o delgadas láminas planas. Se encuentran individualmente para que actúen como refuerzos en la masa, reduciendo el agrietamiento por retracción plástica en estado fresco y por temperatura en estado endurecido. Las fibras son incoloras, poco entrelazadas y se caracterizan por una superficie muy estable e impermeable que no elimina el agua mezclada (Porras Gil & Guzman Beltran, 2020). A continuación, se detalla los diferentes tipos de fibras.

2.2.3 Según su tamaño

a. Microfibras

Las microfibras generalmente son elaboradas de plástico, evitan grietas y contribuyen a disminuir la separación del mortero, estas fibras tienen diámetros $< 0,30$ mm (Riaño Bolaños & Ayala Granados, 2019). Un ejemplo de microfibras sería el relleno en almohadas.

b. Macrofibras

Suelen ser de materia prima como acero, vidrio, sintético o natural que actúa como refuerzos, distribuidos a lo largo del grosor del elemento. Las fibras aumentan la tensión del hormigón y la fuerza de carga de la materia prima luego de la fisuración, por que actúan como una malla soldada y varillas reforzadas. El tamaño de su diámetro es de 0,25 hasta 1,5 mm con un largo de 13 hasta 70 mm (Riaño Bolaños & Ayala Granados, 2019). Un ejemplo de macrofibras sería en prendas deportivas. Las fibras de PET pueden estar compuestas por microfibras y macrofibras dependiendo del grosor que estas se encuentren. En esta investigación se establecen como microfibras.

2.2.4 Según sus filamentos

a. Monofilamento

Estas fibras son elaboradas para reemplazar las mallas electrosoldadas, fibras de acero y varillas. Mejora la retracción plástica y aumenta la resistencia al impacto, flexión y compresión, por medio de su alto rendimiento. Resiste al deterioro por agentes químicos, no producen magnetismo, ni respuesta a los álcalis (Morillo Morocho & Parión Tandayamo, 2022).

b. Multifilamento

Las fibras de multifilamento se fabrican y moldean específicamente para su uso en mortero y hormigón. Las fibras tienen forma de hebras largas de multifilamento y, cuando se incorporan a la masa de hormigón o mortero, forman una red tridimensional consistente. Estas fibras se crearon como una mejora de las fibras monofilamento, ya que sus características les permiten adherirse mejor a la matriz del hormigón o mortero. Las fibras pueden amortiguar las tensiones experimentadas durante el endurecimiento de la mezcla, incrementar la dureza, mejorar la resiliencia al impacto y ayudar a prevenir el agrietamiento al detener su propagación (Morillo Morocho & Parión Tandayamo, 2022). Las fibras PET fabricadas para la utilización en el mortero de pega son de multifilamento.

2.3 Aplicaciones y propiedades de las fibras de PET.

Las fibras han sido muy utilizadas en la industria textil, para la creación de alfombras, ropa y geotextiles (Alesmar et al., 2008). Al implementar el PET para su reutilización, se reduce los costos de elaboración y también disminuye la contaminación ambiental generada por los envases plásticos. Al ser el PET un gran material por sus características y resistencia a los álcalis, lo hace muy apto para su uso en la construcción, como en muros, celosías y losas (Cevallos Sigcho, 2019). A continuación, en la tabla 3 se presenta algunas aplicaciones y ventajas, al ocupar las fibras de PET en el mortero.

Tabla 3

Aplicaciones y ventajas de las fibras de PET

APLICACIONES Y VENTAJAS DE LAS FIBRAS DEL PET	
Comportamiento.	Se pueden aplicar en elementos exteriores, ya que son durables y no corrosivas, pudiendo durar años. Mientras más largas, mayor superficie y diámetro de las fibras, menor va a hacer la posibilidad de que se arranquen por cizallamiento. Reduce las fisuras por asentamiento y contracción plástica. Baja permeabilidad. Al tener una buena adherencia entre el mortero y la fibra, disminuye las fisuras y mejora la distribución de esfuerzos.
Peso.	Se puede ocupar para evitar el sobrepeso en una estructura ya que son muy livianas.
Alternativas ecológicas.	Son muy amigables con el medio ambiente, por lo que se pueden reciclar, transformar, y reutilizar. Su utilización es muy buena por su costo / beneficio.
Buena resistencia.	Resistencia al impacto y el desgaste. Una alta cantidad de fibra brinda una mayor resistencia después de la fisuración y un menor tamaño de la fisura, a condición de que las fibras puedan absorber fuerzas adicionales por su agrietamiento. Elevada resistencia al plegado y baja absorción de humedad. Mientras mayor sea el módulo de elasticidad, más grande va a ser la posibilidad de una falla por adherencia.
Ductilidad.	La fibra al ser deformable tiene mayor ductilidad y disipa mejor la energía.

Fuente: (Cevallos Sigcho, 2019), (Caovas Tejada & Segrera Leòn, 2020)

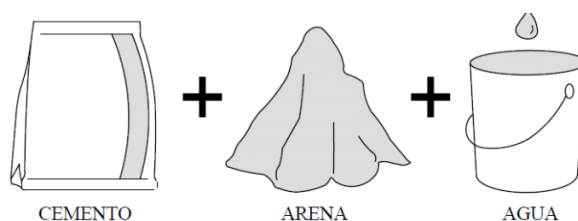
2.4 Mortero.

El mortero básicamente es un conglomerante que está formado por la combinación de cemento, agregado fino y agua conforme se muestra en la figura 2. La mezcla resultante de estos materiales da origen a una masa plástica. Existe diferentes morteros que se diferencian por su función o composición. Los morteros pueden ser utilizados como mortero

de revestimiento, mortero de relleno y el mortero de pega que es para unir unidades de mampostería. (Valbuena Porras et al., 2016)

Figura 2

Composición del mortero



Fuente: (Cevallos Sigcho, 2019)

2.5 Clasificación de los morteros.

Por lo general, el mortero es el más utilizado en la construcción, por ello existen diferentes tipos y usos en donde se indican a continuación:

2.5.1 Morteros según su composición.

Se clasifican tomando en cuenta los materiales conglomerantes y estos son:

a. Morteros calcáreos.

Estos morteros son más manejables que los morteros de cemento debido a la cal. Sin embargo, no tiene altas resistencia por su baja velocidad de endurecimiento. Generalmente se utiliza para revoque con una proporción 1:2 de cal-arena y para mampostería simple con una proporción de 1:3 o 1:4. El mortero pierde ductilidad y trabajabilidad cuando aumenta la proporción (Sánchez de Guzmán, 2001).

b. Morteros de yeso.

Este mortero se elabora con yeso hidratado, es decir se añade agua y la cantidad va a variar según la finura del yeso, la calidad y el grado de cocción. Sin embargo, el mortero se debe preparar la cantidad que se requiera ya que comienza a fraguar a los cinco minutos (Cabrera Rodríguez, 2017).

c. Morteros de cal y cemento portland.

Es recomendable cuando se necesita bastante retención de agua, gran trabajabilidad y altas resistencias. Una porción de cemento se sustituye por cal por esa razón se llama también como morteros de cemento rebajado. Las relaciones de mezcla del mortero que se

utiliza habitualmente varían entre 1:2:6 y 1:2:10 de cemento, cal y arena (Sánchez de Guzmán, 2001).

d. Morteros de cemento portland.

Este mortero se identifica por su elevada resistencia. Su trabajabilidad es variable de acuerdo con el tipo de arena que se utiliza ya sea fina o gruesa y a la proporción de cemento. Se utiliza principalmente en obras de mampostería (González de la Cadena, 2016).

2.5.2 Morteros según su fluidez.

Para establecer la consistencia de los morteros en estado plástico se dispone de dos métodos. El primero se mide mediante el ensayo de flujo (ASTM C-230). El segundo se realiza mediante un aparato de VICAT modificado de acuerdo con la normativa (ASTM C-780). El mismo tiene un vástago de punta cónica con una masa estándar con ello se determina el grado de penetración en (mm). Mientras más es el nivel de penetración la fluidez es mayor (Sánchez de Guzmán, 2001). A continuación, en la tabla 4 se presenta las características para clasificar los morteros de acuerdo con la fluidez.

Tabla 4

Clasificación 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, pantallas 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:(Sánchez de Guzmán, 2001)

2.6 Tipos de mortero según NTE-INEN.

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE-INEN 2518 y la ASTM-270 asignaron una letra a los morteros, de acuerdo con las propiedades y usos para así poder diferenciales. Las letras son: M, S, N y O que provienen del deletéreo de la palabra en inglés “MASON WORK” que significa trabajo en albañilería.

2.6.1 Mortero tipo M

Este mortero se identifica como una mezcla de alta resistencia, consecuentemente tiene una mayor durabilidad que los otros morteros. Es recomendado utilizar en mampostería con que tenga grandes esfuerzos de compresión. También en condiciones de congelamiento, en altas cargas laterales de tierras y presencia de vientos fuertes y terremotos. Además, es eficiente para ser utilizado en estructuras que estén en contacto con el suelo como: muros de contención cimentaciones, pozos, entre otros (Salamanca Correa, 2001).

2.6.2 Mortero tipo S

Este mortero que tiene muy buenas características de adherencia que los otros de la misma clase. Se debe utilizar en estructuras que estén sometidas a esfuerzos normales, pero a su vez requieran una alta adherencia. Es apropiado para enlucidos y levantamientos de paredes interiores y divisoras (Salamanca Correa, 2001).

2.6.3 Mortero tipo N

Este mortero se debe utilizar en mamposterías sobre el nivel del suelo siendo bueno para paredes internas y divisiones. Tiene la mejor combinación de trabajabilidad, resistencia y economía. Generalmente el comportamiento a compresión de este mortero alcanza aproximadamente 125 kg/cm². Se debe considerar que la calidad de mano de obra y otras variables afectan la resistencia (Salamanca Correa, 2001).

2.6.4 Mortero tipo O

Este mortero se identifica porque tiene una baja resistencia y un alto porcentaje de cal. Normalmente se utiliza para enlucir y construir las paredes que no tengan cargas verticales. Es recomendable para casas que tengan uno o dos pisos. Además, los albañiles prefieren este tipo por su excelencia trabajabilidad y bajo costo (Salamanca Correa, 2001).

2.7 Morteros para unidades de mampostería (normativa 2518):

Los morteros se clasifican según la normativa NTE INEN 2518 en dos grandes grupos como son especificaciones por dosificación y por propiedades.

2.7.1 Especificación por dosificación.

Según la normativa NTE 2518 en el numeral 6.1.2.2 de los morteros asociados con las especificaciones deben tener una mezcla de material cementante, árido y agua. A continuación, en la tabla 5 se establecen los requisitos de las especificaciones.

Tabla 5

Especificaciones por dosificación. Requisitos

Mortero	Tipo	Dosificaciones por Volumen (Materiales Cementantes)							Relación de áridos (medidos en condición húmeda suelta)	
		Cemento Portland o cemento compuesto	Cemento para mortero			Cemento para mampostería				Cal hidratada o masilla de cal
			M	S	N	M	S	N		
Cemento y cal	M	1	--	--	--	---	---	---	1/4	No menos de 2 ^{1/4} y no más que 3 veces los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	1	--	--	--	---	---	---	Sobre 1/4 a 1/2	
	N	1	--	--	--	---	---	---	Sobre 1/4 a 1/4	
	O	1	--	--	--	---	---	---	Sobre 1/4 a 2 ^{1/2}	
Cemento para mortero	M	1	--	--	1	---	---	---	---	
	M	---	1	--	--	---	---	---	---	
	S	1/4	--	--	1	---	---	---	---	
	S	---	--	1	--	---	---	---	---	
	N	---	--	--	1	---	---	---	---	
Cemento para mampostería	O	---	--	--	1	---	---	---	---	
	M	1	--	--	--	---	---	1	---	
	M	---	--	--	--	1	---	---	---	
	S	1/2	--	--	--	---	---	1	---	
	S	---	--	--	--	---	1	---	---	
	N	---	--	--	--	---	---	1	---	
O	---	--	--	--	---	---	1	---		

Nota: En el mortero no deben ser combinados dos agentes incorporados de aire

Fuente: (NTE INEN 2 518, 2010)

2.7.2 Especificación por propiedades

En la normativa NTE INEN 2518 se establecen los requisitos de las especificaciones por propiedades. A continuación, se presenta la tabla 6 destacando el mortero Tipo N haciendo énfasis en el mortero tipo N para fines de este estudio.

Tabla 6

Especificaciones por propiedades. Requisitos

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 ^{1/4} y no más que 3 ^{1/2} 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)

^B Ver nota 7

^C Cuando el mortero estructural está embebido en un mortero de cemento y cal contenido máximo de aire debe ser de 12%

^D Cuando el mortero estructural está embebido en un mortero de cemento con mampostería el contenido máximo de aire debe ser de 18%

Fuente: (NTE INEN 2 518, 2010)

2.8 Dosificación del mortero de pega

El mortero de pega debe tener una buena plasticidad, consistencia y retener el agua mínima para la hidratación del cemento. Además de garantizar la adherencia en las unidades de mampostería. En la normativa NEC 2015 se determina las siguientes dosificaciones para morteros de cemento que se puede observar en la tabla 7.

Tabla 7*Dosificación del mortero de pega*

Tipo de mortero	Resistencia mínima a compresión 28 días (Mpa)	Composición en partes por volumen	
		Cemento	Arena
M20	20	1	2.5
M15	15	1	3.0
M10	10	1	4.0
M5	5	1	6.0
M 2.5	2.5	1	7.0

Fuente: (NEC-SE-MP, 2015)

2.9 Selección del tipo de mortero

Para seleccionar el tipo de mortero Salamanca Correa (2001), establece que el mortero tipo N es de uso general para mampostería, determinando que puede alcanzar una resistencia de hasta 12.258 MPa. Por lo que en el apartado 2.7.2 se escoge el cemento para mampostería tipo N que establece como resistencia mínima 5.2 MPa. Este mortero es la perfecta mezcla entre durabilidad, rendimiento y economía. Por lo mencionado anteriormente se eligió trabajar con el mortero M10 que tiene una resistencia a los 28 días de 10 MPa según la NEC 2015.

2.10 Componentes del mortero de cemento

2.10.1 Cementantes

La normativa NTE INEN 2518 determina que los materiales que van a ser utilizados como componentes de los morteros para unidades de mampostería deben cumplir con el apartado 6.1.1.1 de la misma norma. En donde establece los diferentes materiales cementantes.

2.10.2 Cemento portland

Es un aglutinante que tiene propiedades de alta adherencia y cohesión que reacciona al contacto con el agua. Además, es el que tiene mayor aplicación en obras de albañilería. La densidad del cemento portland varía de 2.90 a 3.15 gr/cm³ (Castro Aguirre, 2016).

a. Tipos de cemento

La tabla 8 muestra los diferentes tipos de cemento.

Tabla 8
Tipos 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	Moderado calor de hidratación
LH			Bajo calor de hidratación

Fuente: (NTE INEN 2380, 2011)

- **El Cemento Tipo GU:** Es tipo de cemento es producido en la ciudad de Cuenca y cumple con la NTE INEN 2380. Es conocido como cemento Atenas y es resistente y durable. Además, es el que se va a emplear en este caso de estudio.

2.10.3 Árido fino

Por lo general los morteros están compuestos por un árido fino de un tamaño máximo de 5 mm. La arena que se utilice en morteros para mampostería debe estar compuesta de arena natural o elaborada. La metodología para elegir el árido más adecuado la desarrolla la norma NTE INEN 2536, que regula los límites granulométricos del árido. Además, si no cumple con los parámetros establecidos, la norma determina que se podrá utilizar en el mortero cuando esta cumpla con las propiedades de la NTE INEN 2518. Para determinar la granulometría se siguió en la norma (NTE INEN 696, 2011). Los límites granulométricos se presentan en la tabla 9.

Tabla 9
Límites granulométricos del árido para mampostería

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 2 536, 2010)

Para garantizar la calidad de los morteros y el de la mezcla deben realizarse los siguientes ensayos:

- Granulometría
- Porcentaje de humedad
- Absorción y gravedad específica

2.10.4 Agua de mezclado

El agua ejerce dos funciones que es hacer que sea manejable la mezcla y la de hidratar el cemento. Por lo general el agua para elaborar los morteros es idónea, si la composición química indica que es apta para el consumo humano (Rivera, 2013). Es decir, si al beberse no presenta olor o sabor notable es apta para las mezclas de morteros.

2.11 Propiedades del mortero.

El mortero tiene diferentes propiedades dependiendo del estado en el que se encuentre. Si el mortero no tuvo una correcta dosificación según su uso, estas propiedades se ven alteradas teniendo mezclas con poca manejabilidad afectando a su resistencia (Sánchez de Guzmán, 2001). Según la NTE INEN 2518 las propiedades del mortero se dividen en estado fresco y endurecido.

2.11.1 Propiedades del mortero en estado fresco

a. Manejabilidad

La simplicidad que presenta un mortero cuando se aplica sobre las superficies o ladrillos que se van a revestir se denomina manejabilidad. Es una propiedad importante en las primeras etapas del mortero, y se evalúa por la facilidad de aplicación. La trabajabilidad es qué tan trabajable es el mortero, dependiendo de la granulometría de la arena y la cantidad de agua utilizada. La trabajabilidad oscila entre el 80 % y el 100 %, siendo una consistencia seca y utilizada para reparaciones, revestimientos de túneles y pisos. Una consistencia del 100 % al 120 % es una consistencia plástica y se usa para revestimientos y pegamentos para mampostería (Castro Aguirre, 2016).

b. Retención de agua

Es su capacidad para retener su maleabilidad cuando está en unión con una zona absorbente como el ladrillo, impidiendo el desperdicio apresurado del agua del mortero. El fraguado del mortero va de 2-24 horas, lo cual la retención de agua afecta directamente la

rapidez de su rigidez y su resistencia. El mortero con una baja resistencia es aquel que no tiene retención de agua, impidiendo que el cemento se hidrate (Castro Aguirre, 2016).

c. Contenido del aire

El aire contenido naturalmente en el mortero se produce al entreverar los materiales, este aire varía del 3 % al 7 % en función del tamaño de partícula de la arena utilizada y la duración de la mezcla del mortero (Castro Aguirre, 2016).

d. Velocidad de endurecimiento

El endurecimiento del mortero en estado fresco indica el grado de hidratación y las propiedades que adquiere la lechada cuando fragua. El endurecimiento temprano del mortero antes de su colocación no es propicio para su instalación. En función de la pérdida de humedad, el mortero se vuelve más tieso, endureciéndose por el fraguado normal del cemento (Zaruma, 2018).

2.11.2 Propiedades del mortero en estado endurecido

a. Resistencia a la compresión de cubos de 50 mm de arista

La prueba para establecer la resistencia máxima admisible del mortero se realiza mediante una prensa hidráulica a través de una carga progresiva sobre una probeta cúbica de arista de 50 mm según el método de ensayo propuesto por la norma NTE INEN 488. En el apartado 2.9 se establece como resistencia mínima 5.2 MPa. Esta resistencia se calcula con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Donde:

σ = resistencia a la compresión (MPa)

P= Carga total máxima de la falla (N)

A= Área de la sección transversal del cubo (mm^2)

b. Resistencia a la flexión

Se comprueba elaborando vigas prismáticas de 4 cm de ancho, 4 cm de espesor y 16 cm de largo que irán sostenidas a 2 cm de los bordes, para saber la resistencia máxima. Se va a diseñar según el método de ensayo propuesto por la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 198, 1987). No se establece un límite al valor de esta resistencia según la norma, pero

ciertos autores la fijan entre el 10% y el 20% de la carga máxima a compresión (Zaruma, 2018). Esta resistencia se calcula con la siguiente ecuación:

$$R = 1.5 \frac{P * L}{b^3} \quad (2)$$

Donde:

R= resistencia a la flexión (MPa)

P= Carga de rotura del prisma (N)

b= arista de la sección cuadrada(mm)

L= distancia entre apoyos (mm)

c. Resistencia a la adherencia por corte

La capacidad del mortero para adherirse a una superficie se considera su fuerza principal. La adherencia se relaciona con la capacidad de retención de agua y la resistencia del mortero. Por esta razón, el ladrillo en la mampostería debe tener una superficie y una capacidad de absorción relativamente suaves para unir correctamente el mortero. La adherencia de los morteros una vez fraguados se considera la propiedad más significativa, ya que una baja adherencia puede provocar la separación de las piezas de mampostería o el desprendimiento de los materiales fijados por el mortero (Castro Aguirre, 2016).

Según la Norma Chilena Oficial (NCh 2123. Of, 1997) dicta que la adherencia mínima para ladrillos artesanales es de 0.18 MPa. El ensayo de adherencia consta de tres ladrillos unidos por el mortero de pega, pasaran por una máquina a compresión de acuerdo con la norma (NCh 167. Of, 2001). Se calcula con la siguiente expresión:

$$A = \frac{P}{S} \quad (3)$$

Donde:

A= Adherencia (MPa)

P= Carga máxima (N)

b= área bruta total de las superficies de pega(mm^2)

2.12 Resistencia a compresión del prisma de mampostería de arcilla

El mortero actúa como junta resistente una vez instalado, y dependiendo de su finalidad, deberá ser su resistencia a la compresión (Morillo Morocho & Parión Tandayamo, 2022). Cuando se utiliza mortero para unir ladrillos, este actúa como una pega, por ello la Norma

Ecuatoriana de la Construcción (NEC) especifica la resistencia a la compresión para un prisma de ladrillos según la clase de mortero utilizado. Mientras más cemento se coloque mayor va a ser la resistencia del mortero (Castro Aguirre, 2016). El Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 indica una serie de fórmulas para encontrar la resistencia a la compresión de los prismas de mampostería y su módulo de elasticidad para posteriormente comparar los valores calculados con los obtenidos experimentalmente.

2.12.1 Cálculo de la corrección por esbeltez

El valor de la resistencia última (f'_m) debe corregirse multiplicándose por el factor de corrección por esbeltez del murete dado en la tabla D.3.7-1 de la NSR-10 que es la siguiente.

Tabla 10

Factores de corrección para la resistencia de los prismas de mampostería

Relación altura/espesor del murete	1.5	2	2.5	3	4	5
Factor de corrección	0.86	1	1.04	1.07	1.15	1.22

Fuente: (NSR-10, 2010)

Para determinar la resistencia de los prismas de ladrillos se utiliza las siguientes fórmulas:

$$R_m = \left(\frac{2h}{75 + 3h} \right) f'_{cu} + \left(\frac{50k_p}{75 + 3h} \right) f'_{cp} \leq 0.8f'_{cu} \quad (4)$$

$$f'_m = 0.75R_m \quad (5)$$

Donde:

f'_m = resistencia a la compresión de la mampostería (MPa)

R_m = Parámetro definido

h = altura de la unidad de mampostería (mm)

f'_{cu} = resistencia a la compresión de la unidad de mampostería medida sobre área neta (MPa)

k_p = factor de corrección por absorción de la unidad, adimensional. ($k_p = 0.8$ para unidades de arcilla).

f'_{cp} = resistencia a la compresión del mortero de pega (MPa)

2.13 Módulo de elasticidad del prisma

En la mampostería el módulo de elasticidad permite la predicción de la deformación bajo cargas. En las normativas puede ser obtenido experimentalmente o mediante fórmulas descritas en las mismas.

2.13.1 Determinación del módulo de elasticidad según la normativa

La fórmula para calcular el módulo de elasticidad para prismas de ladrillo está dada por la NSR-10 que está relacionada con el valor de la resistencia a la compresión última de la mampostería (f'_m) mencionada en el anterior apartado, la fórmula es la siguiente.

$$E_m = 750f'_m \leq 20\,000 \text{ MPa} \quad (6)$$

Donde

E_m = módulo de elasticidad de la mampostería (MPa)

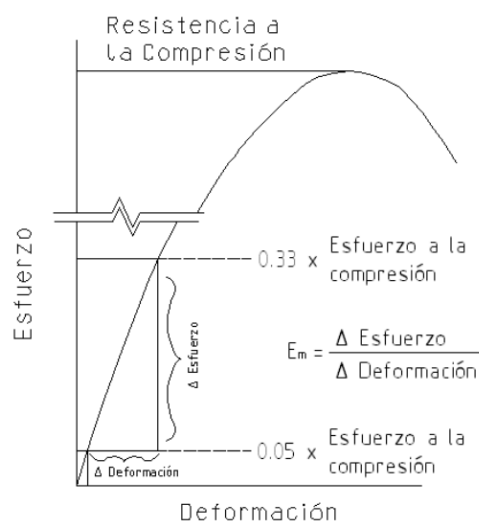
f'_m = resistencia especificada a la compresión de la mampostería (MPa)

2.13.2 Determinación experimental del módulo de elasticidad

Para obtener el módulo experimentalmente se utiliza el método de la secante que establece la norma ACI 530-05. En donde, es determinado por la pendiente de la recta de los puntos $0.05 f'_m$ y $0.33 f'_m$ de la curva esfuerzo versus deformación, como se puede observar en la figura 3. El $33\% f'_m$ es el punto de la curva del paso de la zona elástica a la plástica.

Figura 3

Módulo de elasticidad por el método de la secante



Fuente: (ACI 530-05, 2005)

2.14 Normativas técnicas aplicadas.

Tabla 11

Normas aplicadas

NORMAS ECUATORIANAS	
NTE - INEN 198: 1987	Norma Técnica Ecuatoriana Cementos. Determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión de morteros.
NTE - INEN 2 536: 2010	Norma Técnica Ecuatoriana: Áridos para uso en morteros para mampostería. Requisitos.
NTE - INEN 488: 2009	Norma Técnica Ecuatoriana: Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.
NTE - INEN 2 518: 2010	Norma Técnica Ecuatoriana: Morteros para unidades de mampostería. Requisitos.
NTE - INEN 856: 2010	Norma Técnica Ecuatoriana: Áridos - Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.
NTE - INEN 2380: 2010	Norma Técnica Ecuatoriana: Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos.
NTE - INEN 696: 2010	Norma Técnica Ecuatoriana: Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.
NTE - INEN 862: 2011	Norma Técnica Ecuatoriana: Áridos Para Hormigón. Determinación Del Contenido Total De Humedad.
NEC–SE–MP: 2015	Norma Ecuatoriana de la Construcción: Mampostería Estructural.
INEN GPE 021: 1987	Guía Práctica de Mampostería Reforzada.
NORMAS INTERNACIONALES	
NCh 167.Of2001	Norma Chilena Oficial: Construcción - Ladrillos cerámicos - Ensayos.
NCh 2123.Of1997	Norma Chilena Oficial: Albañilería confinada - Requisitos de diseño y cálculo.
RNE E.070: 2019	Reglamento nacional de edificaciones. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. Perú
Eurocódigo 6: 1996	Diseño de estructuras de mampostería.
ACI 530-05: 2005	Building Code Requirements for Masonry Structures (ACI 530-05/ASCE 5-05/TMS 402-05)
NSR-10	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Título D — Mampostería Estructural

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Proceso para la elaboración del mortero de pega con adición de fibras PET.

Para la obtención de los resultados del objetivo principal se planteó primero elaborar un mortero con una dosificación óptima y para ello, se deben determinar los materiales y cantidades suficientes de los componentes que forman la mezcla. Los ensayos realizados a los materiales son el análisis granulométrico, porcentaje de humedad, absorción y gravedad específica.

Para un mejor desempeño del PET en la elaboración de morteros reforzados, el volumen de fibras a ocupar es de 0.5%, 1%, y 1.5% de la masa del cemento y arena. Estos porcentajes serán añadidos al mortero base para proceder a comparar este mortero, con respecto al mortero para mampostería con fibras de PET.

Por cada dosificación para los ensayos a compresión de los cubos y flexión del mortero se realizaron tres especímenes según las normativas NTE INEN 488 y NTE INEN 198. Y para los ensayos de adherencia y prisma de ladrillos se realizaron cinco muestras por cada dosificación según el Eurocódigo 6 que establece como mínimo 3 especímenes. Por ello, se efectúan 72 muestras en total, de las cuales 12 son para analizar el desempeño a compresión de los cubos de 50mm de arista, 12 para ver el desempeño a flexión, 20 para estudiar la adherencia por corte y 20 para analizar los prismas de mampostería a compresión. Todas las muestras se rompieron a los 28 días, para ser comparadas con las muestras sin fibra de PET. La dosificación y el tiempo de rotura se cumplieron según las normas: NTE INEN 198, NTE INEN 488, NEC 2015 en la sección de mampostería estructural y la Norma Chilena Oficial NCh 167. Of 2001.

Las muestras finales, se ensayaron en el laboratorio mediante los ensayos mecánicos de compresión, flexión y adherencia, que servirán para certificar el cumplimiento del objetivo general. Realizados los respectivos ensayos se procederán analizar los resultados con las normas respectivas para finalmente evaluar el comportamiento del mortero con fibras PET y establecer la dosificación óptima.

3.2 Materiales empleados para la elaboración del mortero de pega con adición de fibras PET.

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca (UCACUE). Primero se procedió a realizar un estudio de la materia prima a emplear para la elaboración del mortero de pega como establece la norma NTE INEN 2518. Entonces, se detallan los materiales a ocupar que son la fibra de PET, arena, cemento y agua.

3.2.1 Fibras de botellas recicladas de plástico PET

a. Descripción del proceso de la obtención de las botellas recicladas de plástico PET.

Por la necesidad de establecer medidas de solución con respecto al volumen de los envases plásticos que existen hoy en día y que siguen incrementando, se han impulsado sistemas alternativos para su reciclado (Alesmar et al., 2008). Las medidas tomadas están a cargo de los municipios, empresas fabricantes de las botellas y consumidores, que cada vez muestran mayor interés en el cuidado ambiental (Alesmar et al., 2008). La adquisición de los envases plásticos fue por medio de la recicladora de la UCACUE que se encuentra ubicada en Ricaurte.

En la recolección de las botellas hay que tomar en consideración que no todo el material es PET. Las tapas y etiquetas constan de diferentes especies de plásticos clasificados como PEAD (polietileno de alta densidad) y PP (polipropileno) respectivamente (Cevallos Sigcho, 2019). En la figura 4 se detalla todos los tipos de plástico. Se escogió para su uso únicamente los envases de PET.

Figura 4

Elementos de las botellas plásticas de PET



Fuente: (Autores)

b. Equipo de transformación en fibras PET

Actualmente existen varios procesos para transformar las botellas recicladas en fibras PET como la coextrusión en estado sólido, calentamiento por microondas, entre otras. Pero uno de los más innovadores y que se va a ocupar en esta investigación es el sistema de centrifugado. Pero anteriormente el plástico debe ser recolectado, clasificado, triturado obteniendo hojuelas que posteriormente sean lavadas para ser fundidas (Guerra Vaca, 2021). Con este antecedente, las hojuelas de PET se obtuvieron triturando las botellas con la maquinaria de la UCACUE para luego ser fundidas a una temperatura de 250 ° C aproximadamente. De ahí, el material fundido se pasa a la máquina que tiene un sistema de centrifugado, dando como resultado las fibras de PET. La máquina consta de dos partes claves que son un taladro pedestal de ½ HP con una velocidad rotatoria de 3140 rpm y un cabezal rotativo.

El centrifugado es una alternativa para elaborar fibra desde una variedad de materiales a alta velocidad y poco precio. En este método se pueden obtener fibras prolongadas e intermitentes. Para la centrifugación el material derretido se lo coloca en el cabezal giratorio para formar fibras solidificadas. Este proceso es simple permitiendo el paso del líquido de poliéster a través de agujeros de 2 mm de diámetro. Donde al extruir el líquido se forman filamentos para la solidificación rápida de las fibras. Estas fibras se forman mediante el estiramiento por atenuación del aire (Guerra Vaca, 2021). El líquido tiene que alcanzar la velocidad crítica, y la fuerza de centrifugado sobrepasar la tensión superficial para que el material líquido salga de las aberturas del cabezal giratorio, para estirarse y posteriormente convertirse en fibra. En la formación de fibras solidificadas, la hebra es simple y se puede fabricar rápidamente para una variedad de aplicaciones como: relleno, envolver productos frágiles, y refuerzo en el hormigón. El hilado centrifugo en la fabricación de PET a fibras poliéster es algo reciente (Guerra Vaca, 2021). En la figura 5 se muestra la máquina para la fabricación.

Figura 5

Máquina para la fabricación de la fibra de PET.



Fuente: (Autores)

c. Tamaño óptimo

Como ya se estableció en el apartado 2.1 “Estado del arte” para mejorar las propiedades mecánicas según las investigaciones analizadas, las fibras con los tamaños de 45 mm de largo y 2 mm de ancho son los valores más utilizados y de fácil fabricación. Por esta razón se utilizó las fibras de 45 mm de largo. En la revisión bibliográfica ocupan tiras cortadas de botellas siendo adecuado el corte del ancho de un tamaño grueso. En las fibras de PET fabricadas a través del proceso de centrifugado al conseguir que el ancho tenga 2 mm las hizo muy quebradizas. Por lo tanto, el PET al ser un material muy duro es conveniente hacer una fibra delgada para una mejor resistencia, así estableciendo un diámetro de 10 micrómetros aproximadamente.

d. Corte de fibras y desmenuzado manualmente

Para el corte de las fibras se utilizó una regla y un estilete. El corte fue realizado manualmente, pero se lo podría industrializar. En el caso del desmenuzado de las fibras de PET se realizó separando sus multifilamentos. En la figura 6 se pudo observar el corte y desmenuzado.

Figura 6

Corte y desmenuzado de las fibras de PET en 45 mm de largo



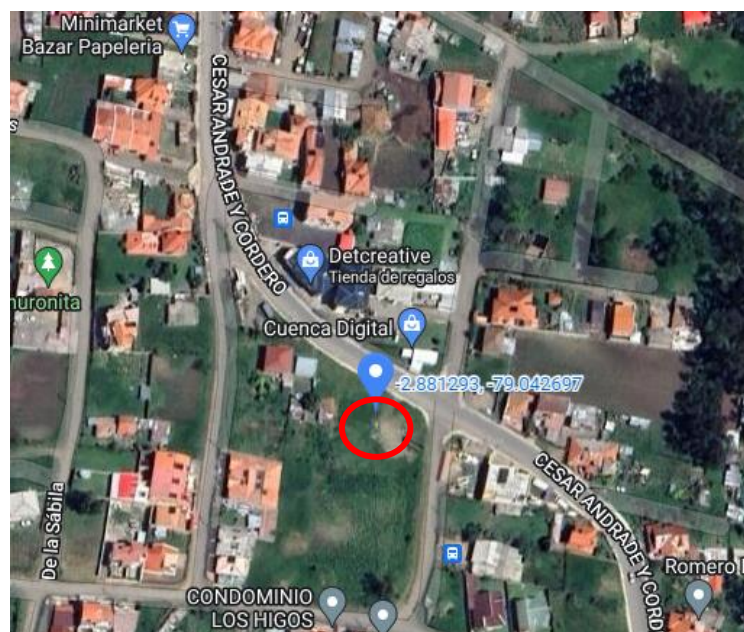
Fuente: (Autores)

3.2.2 Arena

La arena es un agregado fino que fue adquirida en un centro de acopio de materiales granulares en la ciudad de Cuenca en la parroquia de San José de Balzay ubicado en la calle Cesar Andrade y Cordero como se muestra en la figura 7. La arena es natural, por ello debe cumplir con la norma NTE INEN 2536. En consecuencia, se realizará ensayos del laboratorio para cumplir con la normativa.

Figura 7

Ubicación del centro de acopio para la obtención de la arena.



Fuente: Google Maps

3.2.3 Cemento

El cemento hidráulico utilizado para la elaboración del mortero de pega es de tipo GU de la empresa Atenas como se muestra en la figura 8. Este cemento cumple con la norma NTE INEN 2380, siendo resistente y durable. Se eligió el cemento tipo GU por su buen desempeño, además por su fácil adquisición y por su desarrollo para toda obra.

Figura 8

Cemento Atenas tipo GU



Fuente: (Autores)

3.2.4 Agua

Para la realización del mortero la norma NTE INEN 2518 establece que se necesita agua limpia para hacer mortero de calidad, cualquier metal en la pared se dañaría por cualquier contaminante en el agua. Además, el agua no debe contener aceites, álcalis, sales o cualquier otra sustancia tóxica. En otras palabras, el agua debe ser potable adecuada para la ingesta del ser humano.

3.3 Realización de los ensayos al árido fino.

3.3.1 Granulometría.

La arena que se emplea para la elaboración de morteros debe cumplir con los límites granulométricos especificados en la norma NTE INEN 2536. Para determinar el módulo de finura se utilizó la normativa NTE INEN 696. Inicialmente se pesó 500 gramos de arena húmeda y para un correcto ensayo debe ser previamente lavada como se presenta en la figura 9.

Figura 9

Peso y lavado de la arena



Fuente: (Autores)

Luego se coloca en el horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, después se pesa la muestra seca y este agregado sirve para tamizarlo. Seguidamente se procede a armar los tamices especificados en la norma para colocar la muestra seca. Consecutivamente se pasa a la tamizadora por un tiempo establecido de 3 minutos y finalmente se pesa el material retenido en cada tamiz en una balanza de precisión como se puede ver en la figura 9.

Figura 10

Tamizadora y peso retenido de la arena del tamiz N°50



Fuente: (Autores)

En la tabla 12 se presenta el ensayo de la granulometría de la arena, detallando los porcentajes retenidos y pasantes.

Tabla 12

Ensayo de la granulometría del árido fino

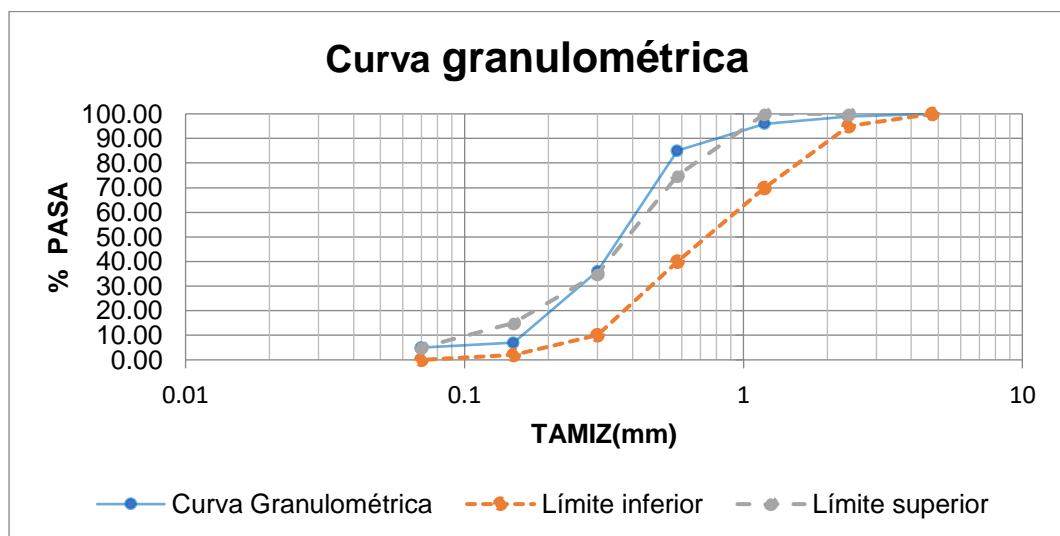
TAMIZ Nº	ABERTURA mm	PARCIAL GM.	ACUMULADO GM.	PORCENTAJE		NORMA 2536
				RETENIDO %	PASA %	Arena natural
Nº4	4.76	0.93	0.93	0.20	100.00	100
Nº8	2.38	4.94	5.87	1.28	99.00	95 a 100
Nº16	1.19	14.22	20.09	4.40	96.00	70 a 100
Nº30	0.580	49.22	69.31	15.17	85.00	40 a 75
Nº50	0.3	222.2	291.51	63.80	36.00	10 a 35
Nº100	0.15	132	423.51	92.69	7.00	2 a 15
Nº200	0.07	11	434.51	95.10	5.00	0 a 5
PASA Nº200		2.4	436.91			2.83-1.75
TOTAL			436.91			
Módulo de finura (MF)=		1.78	MF= $\frac{\sum (\% \text{ Retenido}) \text{ Serie Tyler}}{100}$			
Peso húmedo antes del lavado=			500 g.			
Peso seco antes del lavado =			456.91 g.			
Peso seco después del lavado=			437 g.			
% de humedad=			9.43 %			

Fuente: (Autores)

El módulo de finura obtenido es de 1.78 valor que cumple con la norma NTE INEN 2536 (rango 2.83-1.75). De modo que, la arena se puede utilizar en la elaboración de los morteros. En la figura 11 se presenta la curva granulométrica del árido fino.

Figura 11

Curva granulométrica del árido fino



Fuente: (Autores)

3.3.2 Ensayo del contenido de humedad de la arena

Este ensayo se realiza mediante la norma (NTE INEN 862, 2011), para así obtener el

porcentaje de agua retenida en la arena. Este valor es necesario para hacer la corrección de la humedad del árido cuando se diseña. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{PH-PS}{PS} * 100 \quad (7)$$

Donde:

% de humedad= Porcentaje de humedad de la arena

PH= Peso húmedo de la arena

PS= Peso seco de la arena

Primeramente, se tomó dos muestras de arena húmeda y se pesó en estado natural en una balanza de precisión como se observa en la figura 12. Posterior a ello se colocó en el horno a una temperatura de 110°C ±5°C. Para dejarle secar por 24 horas, luego se sacó la muestra para determinar su masa. Finalmente se calculó el porcentaje de humedad del árido fino.

Figura 12

Masa húmeda de la arena



Fuente: (Autores)

En la tabla 13 se muestra el contenido total de humedad del árido fino, así como también los valores de las muestras húmedas y secas.

Tabla 13

Porcentaje de humedad de la arena

DESCRIPCIÓN	PESO TARRO(g)	PESO DE LA ARENA HÚMEDA+ TARRO (g)	ARENA HÚMEDA (g)	PESO DE LA ARENA SECA+ TARRO (g)	ARENA SECA (g)	%	%PROMEDIO
MUESTRA N°1	52.83	87.019	34.189	84.08	31.25	9.405	9.431
MUESTRA N°2	52.38	99.83	47.45	95.73	43.35	9.458	

Fuente: (Autores)

El resultado es de 9.43%. Este valor servirá para realizar la corrección de la dosificación por humedad.

3.3.3 Densidad y absorción de agua del árido fino.

La densidad es fundamental para sacar la dosificación del mortero. Mientras que la absorción del agua sirve para corregir la humedad del agregado fino en la dosificación. Estos ensayos se establecen según la norma NTE INEN 856, comprende en tomar una cantidad de arena y calentarla a 110 °C. Se deja reposar en agua por 24 horas hasta que alcance el estado saturado superficialmente seco SSS, para colocar la arena en un cono compactando 25 veces, si al quitar el molde el agregado se derrumba, entonces ha alcanzado el estado SSS. De ahí se toma una muestra en estado SSS, se debe pesar antes y después que se haya secado en el horno. Para obtener el peso del picnómetro se llena con agua hasta la marca calibrada, agregando 500 g \pm 10 g de la arena en estado SSS, se debe rodar y sacudir el picnómetro para eliminar el aire. También se debe pesar el agua, más la arena y más el picnómetro. Se retira la arena del picnómetro, y se calienta en el horno a 110 grados centígrados, para pesarla nuevamente. Finalmente se determina el peso del picnómetro más el agua, para determinar así el porcentaje de absorción de la arena y su densidad como se presenta en la figura 13.

Figura 13

Ensayo de la densidad y absorción de la arena



Fuente: (Autores)

En la tabla 14 se muestra la densidad real y capacidad de absorción del árido fino.

Tabla 14

Ensayo de densidad y absorción del árido fino

PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA: MÉTODO DEL PIGNÓMETRO

Material Pasante en el Tamiz No. 4

A=	200.00	g.	Peso del material superficialmente seco y saturado
B=	776.70	g.	Peso del picnómetro + agua + muestra
C=	657.20	g.	Peso del picnómetro + agua
D=	191.20	g.	Peso del material seco

Peso específico seco	$\frac{D}{A - (B - C)}$	2.38 g/cm ³
Peso específico saturado superficialmente seco	$\frac{A}{A - (B - C)}$	2.48 g/cm ³
Peso específico aparente	$\frac{D}{D - (B - C)}$	2.67 g/cm ³
% de absorción	$\frac{100(A - D)}{D}$	4.60 %

Fuente: (Autores)

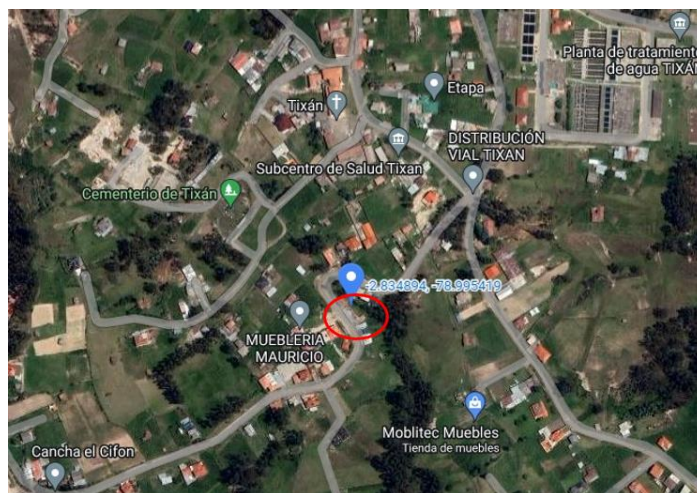
El porcentaje de humedad fue de 9.43% donde es mayor al porcentaje de absorción de 4.6% indicando que existe una excedencia de agua en la arena.

3.4 Realización del ensayo a los ladrillos.

Para la dosificación de materiales se requiere calcular el espesor y ancho del mortero. La norma INEN GPE 021 establece que la resistencia al aplastamiento de la junta del mortero sea superior a la resistencia del ladrillo. Por esta razón se eligió trabajar con los ladrillos de la Fabrica Pinduisaca ubicada en la parroquia de Sinincay como se muestra en la figura 14.

Figura 14

Ubicación fabrica Pinduisaca



Fuente: *Google Maps*

Los ladrillos fueron cortados en cubos de 5 mm sometidos a una carga a compresión para obtener su resistencia real máxima. Las dimensiones fueron tomadas de las dos caras correspondientes del cubo de ladrillo. Como resultado se obtuvo un promedio de la resistencia a compresión de 4.01 MPa de 5 cubos analizados como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15

Ensayo de los ladrillos

ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CUBOS DE LADRILLO							
No. Ensayo	Masa, [gr]	Dimensiones, [mm]		Carga máxima, [kgf]	Carga máxima, [N]	Resistencia a compresión	
		Largo	Ancho			[MPa]	[kgf/cm ²]
1	191.20	50	50	1,213.781	11,903	4.8	49
2	201.80	49	50	789.522	7,743	3.2	32
3	198.10	50	49	1,145.740	11,236	4.586	47
4	195.60	50	50	1,037.179	10,171	4.1	41
5	192.80	50	49	866.574	8,498	3.5	35
						4.01	40.9

Fuente: (Autores)

3.5 Diseño de mezclas para la elaboración de los morteros.

Como ya se estableció anteriormente en el apartado 2.9 “Selección del tipo de mortero” se va a diseñar un mortero con una resistencia de 10 MPa. Para el diseño se realizó según lo determinado por Gutiérrez de López (2003), en donde describe los pasos para su elaboración, en su libro “El concreto y otros materiales para la construcción”.

3.5.1 Dosificación

Con los valores de los ensayos de la arena, se determina las cantidades para la mezcla del mortero. La dosificación del mortero base se siguió del diseño por pesos establecido en el Libro de Gutiérrez de López (2003). La masa de las fibras PET que se debe de añadir, se calculó en base al porcentaje de 0.5%, 1% y 1.5% por metro cúbico.

a. Dosificación para el mortero base (cemento y arena)

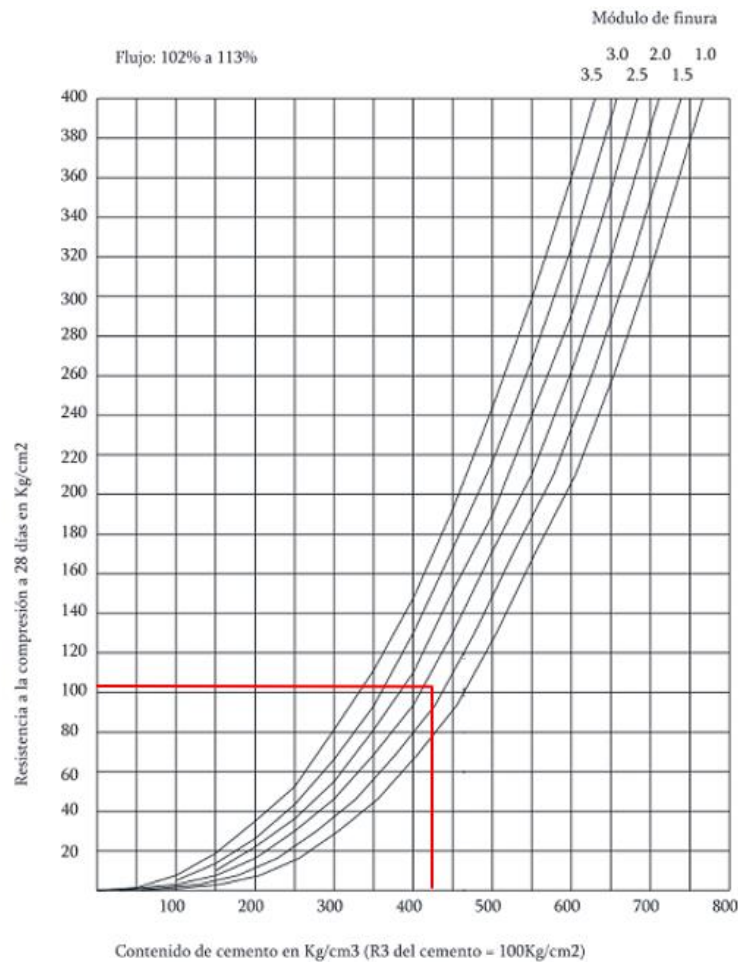
- Resistencia a la compresión: 10 MPa (101.97 kg/cm²) según la NEC 2015.
- Fluidéz de 102 a 113%, con una consistencia plástica recomendado para un mortero para pegar mampostería.
- Módulo de finura: 1.78
- Densidad del cemento (Dc): 2.9 g/cm³
- Densidad real del árido fino (Dra): 2.48 g/cm³
- Densidad aparente del árido fino (Daa): 2.67 g/cm³

- **Cálculo de cantidad de cemento:**

Conociendo la resistencia requerida del mortero de 101.97 kg/cm² y con un módulo de finura del árido de 1.78. Con estos datos, se obtiene la cantidad requerida de cemento en kilogramos. Como se puede observar en la figura 15.

Figura 15

Cantidad de cemento de acuerdo al módulo de finura



Fuente: (Gutiérrez de López, 2003)

Cemento (C) = 425 Kg / m³ de mortero

- **Volumen del cemento (V_c):**

$$V_c = \frac{C}{D_c} \quad (8)$$

Donde:

C= Cantidad de cemento(kg).

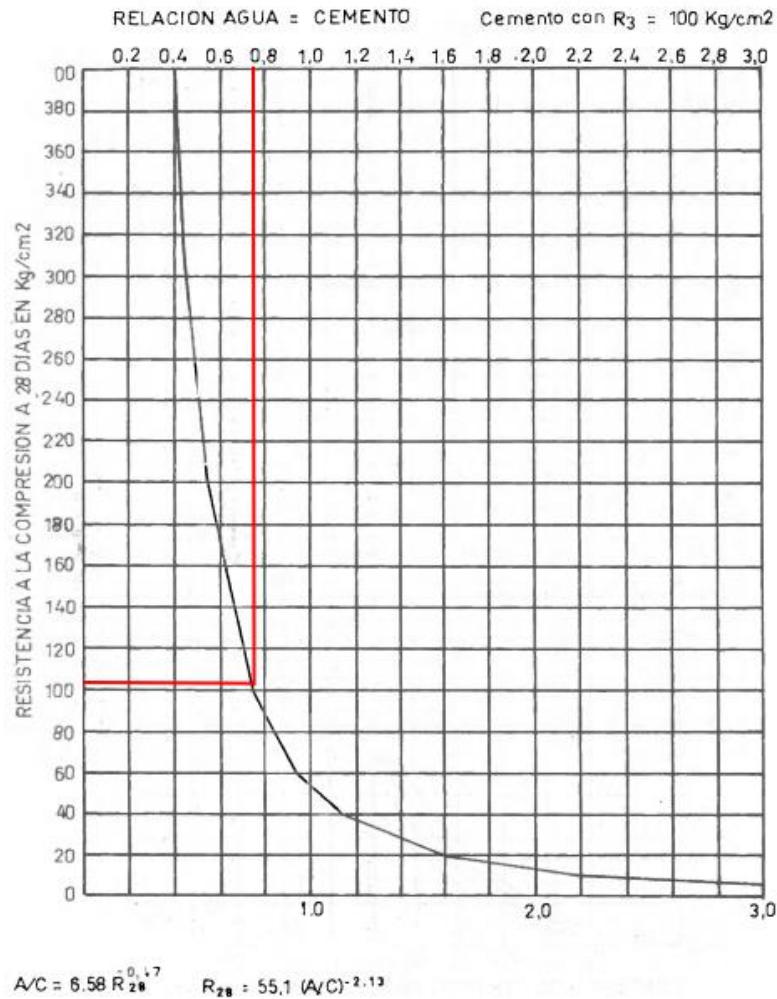
D_c= Densidad del cemento (2900 kg/m³).

$$V_c = \frac{425 \text{ kg}}{2900 \text{ kg/m}^3} = 0.147 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{ de mortero}$$

- **Cantidad de agua (W):**

Para la cantidad de agua de igual manera con la resistencia de 101.97 kg/cm² trazando una línea perpendicular hasta la curva del diagrama se encuentra la relación agua/cemento como se indica en la figura 16.

Figura 16
Relación Agua/cemento



Fuente: (Gutiérrez de López, 2003)

$$A/C = 0.75$$

Con esa relación se calcula la cantidad de agua

$$W = C * A/C \tag{9}$$

$$W = 425 \text{ kg} * 0.75 = 318.75 \text{ kg} / \text{m}^3 \text{ de mortero}$$

- **Volumen del agua (Vw):**

$$V_w = \frac{W}{D_w}$$

Donde: (10)

W= Volumen de agua (m3).

Dw= Densidad del agua (1000kg/m3).

$$V_w = \frac{318.75 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.3188 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{ de mortero}$$

- **Cálculo del contenido de arena:**

Primero se debe calcular el volumen del árido aplicando la siguiente ecuación:

$$(V_a) = 1 - (V_c + V_w + V_{aire}) \quad (11)$$

Donde:

Va= Volumen de la arena (m3).

Vc= Volumen del cemento (m3).

Vw= Volumen del agua (m3).

Vaire= Volumen del aire (m3).

$$V_a = 1 - (0.147 + 0.3188 + 0.035) = 0.499 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{ de mortero}$$

Para sacar la cantidad de masa del árido se realiza con la siguiente expresión:

$$W_{sarena} = V_a * D_{ra} \quad (12)$$

$$W_{sarena} = 0.499 \text{ m}^3 * 2480 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1239.25 \text{ kg} / \text{m}^3 \text{ de mortero}$$

- **Corrección de la dosificación por humedad:**

Para la corrección de la dosificación del mortero, se realiza con el valor del contenido de humedad del árido fino y la capacidad de absorción del mismo. Hay que tomar en cuenta que la humedad del árido cambia diariamente por lo cual se volvió a calcular el porcentaje dándonos un nuevo valor de 7.41%.

Datos:

%W= 7.41%.

%Absorción= 4.60%

$$W_w = \frac{(\%Absorción - \%W)}{100} \times W_{sarena} \quad (13)$$

$$W_w = \frac{(4.60-7.41)}{100} \times 1239.25 = -34.82 \text{ kg}$$

Al corregir por humedad cambia la masa de la arena:

$$W_{Harena} = W_{sarena} \times \left(1 + \frac{\%W}{100}\right) \quad (14)$$

$$W_{Harena} = 1239.25 \times \left(1 + \frac{7.41}{100}\right) = 1331.078 \text{ kg}$$

$$\text{Agua de mezcla} = \text{agua dosificada} - \text{aporte agua de mezclado} \quad (15)$$

$$\text{Agua de mezcla} = 318.75 - 34.82 = 283.92 \text{ kg}$$

- **Cantidades en kg para 1m3 de mortero**

En la tabla 16 se resume la masa corregida de los materiales del mortero.

Tabla 16

Cantidades del mortero base

Material	kg por m³
Agua	284
Cemento	425
Arena	1331.1

Fuente: (Autores)

b. Cálculo de concentración de las fibras

Para calcular la masa de la fibra en los morteros, con los porcentajes de 0.5%, 1% y 1.5% como se estableció en el apartado 2.1 “Estado del arte” se realizó en función del peso del cemento más la arena según Castro Aguirre (2016).

$$\text{Total} = \text{Cantidad de cemento} + \text{Masa de arena} \quad (16)$$

Datos:

Cantidad de cemento= 425 kg

Masa de la arena= 1239.25 kg

$$\text{Total} = 425 + 1239.25 = 1664.25 \text{ kg}$$

Con este resultado se relacionan los porcentajes de fibra para obtener las masas del PET por m³ añadidas al mortero patrón a continuación, en la tabla 17 se presentan los datos.

Tabla 17*Masa de fibras por m³ de mortero*

Concentración	Cantidad de fibras por m³ de mortero
0.50%	8.32 kg
1.00%	16.64 kg
1.50%	24.96 kg

*Fuente: (Autores)***c. Cantidades de material requeridas para cada tipo de ensayo**

Como ya se estableció anteriormente en el apartado 3.1 se requieren 72 muestras en total para los ensayos. Por lo cual, se calcula la cantidad de material para cada ensayo del mortero base y el reforzado con fibras PET.

- **Ensayo de resistencia a la compresión de cubos de mortero de 50 mm de arista**

Para la dosificación se requiere calcular el volumen de las muestras cúbicas de 50 mm de arista para el ensayo a compresión.

$$\text{Volumen Probetas} = 5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \quad (17)$$

$$\text{Volumen Probetas} = 125\text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen total} = 125\text{ cm}^3 \times 3 = 375\text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen total} = 0.000375\text{ m}^3$$

La tabla 18 presenta la suma total de la materia prima del mortero base para la elaboración de 3 especímenes.

Tabla 18*Cantidades de materiales para el mortero base*

Material	Masa (g)
Agua	106.5
Cemento	175.3125
Arena	499.125

Fuente: (Autores)

La tabla 19 presenta las cantidades de las fibras a adicionar para la fabricación de 3 especímenes de mortero, para cada porcentaje de fibra.

Tabla 19

Cantidades de fibras PET para 3 especímenes

Concentración	Masa de fibras PET (g)
0.50%	3.1
1.00%	6.2
1.50%	9.4

Fuente: (Autores)

- **Ensayo de resistencia a la flexión**

Para la dosificación se requiere calcular la cantidad de materiales en las muestras prismáticas de 40 mm x 40 mm x 160 mm de arista para el ensayo a flexión. Para eso se necesitan las siguientes ecuaciones.

$$\text{Volumen Prismas} = 4\text{cm} \times 4\text{cm} \times 16\text{cm} \quad (18)$$

$$\text{Volumen Prismas} = 256\text{cm}^3$$

$$\text{Volumen total} = 256\text{cm}^3 \times 3 = 768\text{cm}^3$$

$$\text{Volumen total} = 0.000768\text{m}^3$$

La tabla 20 presenta la suma total de la materia prima del mortero base para la elaboración de 3 especímenes.

Tabla 20

Cantidades de materiales para el mortero base

Material	Masa (g)
Agua	218.112
Cemento	359.04
Arena	1022.208

Fuente: (Autores)

La tabla 21 presenta las cantidades de las fibras a adicionar para la fabricación de 3 especímenes de mortero, para cada porcentaje de fibra.

Tabla 21*Cantidades de fibras PET para 3 especímenes*

Concentración	Masa de fibras PET (g)
0.50%	6.4
1.00%	12.8
1.50%	19.2

Fuente: (Autores)

- **Ensayo a adherencia de ladrillos a corte**

Para la dosificación del mortero en el ensayo de adherencia a corte es necesario conocer la dimensión promedio de los ladrillos. Para ello se requiere calcular el volumen del mortero, teniendo en cuenta que de los tres ladrillos unidos por el mortero de pega el ladrillo de la mitad esta con una separación de 5 cm de la cara delantera y posterior con respecto a los 2 ladrillos restantes. A continuación, se presentan las dimensiones promedio de los ladrillos y las ecuaciones que se necesitan para calcular la cantidad del mortero.

Datos

- Ancho: 131 mm
- Longitud: 254 mm
- Altura: 71 mm
- Espesor mortero: 15 mm

$$Volumen\ total = (Ancho) * (Longitud - 0.05m) * (Espesor\ mortero) * 2 \quad (19)$$

$$Volumen\ total = (0.131) * (0.254 - 0.05) * (0.015) * 2 = 0.00080172$$

$$Volumen\ total = 0.00080172\ m^3 \times 5 = 0.0040\ m^3$$

$$Volumen\ total = 0.0040\ m^3$$

La tabla 22 presenta la suma total de la materia prima del mortero base para la elaboración de 5 especímenes.

Tabla 22*Cantidades de materiales para el mortero base*

Material	Masa (g)
Agua	1138.4424
Cemento	1874.0205
Arena	5335.4466

Fuente: (Autores)

La tabla 23 presenta las cantidades de las fibras a adicionar para la fabricación de 5 especímenes de mortero, para cada porcentaje de fibra.

Tabla 23

Cantidades de fibras PET para 5 especímenes

Concentración	Masa de fibras PET (g)
0.50%	33.4
1.00%	66.7
1.50%	100.1

Fuente: (Autores)

- **Ensayo a compresión de prismas de ladrillos**

Para la dosificación de los materiales en la fabricación de prismas de ladrillos es necesario conocer la dimensión promedio de los ladrillos y el espesor del mortero o junta. Estos valores ya fueron mencionados anteriormente en el ensayo de adherencia.

$$Volumen\ total = (Ancho) * (Longitud) * (Espesor\ mortero) * 2 \quad (20)$$

$$Volumen\ total = (0.131) * (0.254) * (0.015) * 2 = 0.000998$$

$$Volumen\ total = 0.000998m^3 \times 5 = 0.0049911m^3$$

$$Volumen\ total = 0.0049911\ m^3$$

La tabla 24 presenta la suma total de la materia prima del mortero base para la elaboración de 5 especímenes.

Tabla 24

Cantidades del mortero base

Material	Masa (g)
Agua	1133.97792
Cemento	1866.6714
Arena	5314.52328

Fuente: (Autores)

La tabla 25 presenta las cantidades de las fibras a adicionar para la fabricación de 5 especímenes de mortero, para cada porcentaje de fibra.

Tabla 25*Cantidades de fibras PET para 5 especímenes*

Concentración	Masa de fibras PET (g)
0.50%	41.5
1.00%	83.1
1.50%	124.6

Fuente: (Autores)

3.6 Elaboración de muestras en estado endurecido.

Se elaboraron los especímenes para el mortero patrón y mortero con adición de fibras PET en porcentajes del 0.5 %, 1 % y 1.5 %, en estado seco. Entonces, se muestran los ensayos a los que fueron sometidas las muestras de los morteros.

- Resistencia a la compresión de cubos de mortero de 50 mm de arista
- Resistencia a la flexión
- Resistencia a la adherencia por corte
- Resistencia a la compresión de prismas de ladrillos

3.6.1 Resistencia a la compresión de cubos de mortero de 50 mm de arista

Los especímenes fueron diseñados según la norma NTE INEN 488 la cual determina hacer 3 especímenes por cada dosificación. Las muestras tuvieron un tiempo de rotura de 28 días con los diferentes porcentajes de PET a utilizar en el mortero para comparar con una muestra patrón sin fibras de PET. Las muestras se curaron en sus moldes durante 24 horas, después de lo cual se desencofraron y se colocaron en agua hasta ser ensayados como lo establece la norma antes mencionada. Este ensayo sirve para establecer la carga máxima que resiste el mortero por medio de una fuerza de aplastamiento. En la figura 17 se muestra los cubos de 50 mm de arista.

Figura 17

Cubos de 50 mm de arista



Fuente: *(Autores)*

3.6.2 Resistencia a la flexión

Los especímenes fueron diseñados según la norma NTE INEN 198 donde se establece hacer 3 especímenes por cada dosificación. Las muestras tuvieron un tiempo de rotura de 28 días con los diferentes porcentajes de PET a utilizar en el mortero para así comparar con una muestra patrón que no contiene fibras de PET. El curado de los especímenes se realizó por 24 horas en sus moldes, después fueron desencofrados y colocados en agua hasta ser ensayados como lo establece la norma antes mencionada. Este ensayo nos sirve para establecer la carga máxima que resiste el mortero por medio de tres puntos de una fuerza de aplastamiento. En la figura 18 se muestra los prismas para el ensayo a flexión.

Figura 18

Prismas para el ensayo a flexión



Fuente: *(Autores)*

3.6.3 Resistencia a la adherencia por corte

Los especímenes fueron diseñados según la Norma Chilena Oficial NCh 167. Of 2001 donde consta de tres ladrillos unidos por el mortero de pega con una separación del ladrillo de la mitad de 5 cm de la cara delantera y posterior con respecto a los 2 ladrillos restantes. Se elaboraron 5 especímenes que tuvieron un tiempo de rotura a los 28 días con los diferentes porcentajes de PET a utilizar en el mortero para comparar con una muestra patrón que no contiene fibra de PET. El curado de los especímenes se realizó por 7 días en bolsas bien cerradas y después se retiró para que las muestras permanezcan en el laboratorio hasta ser ensayadas como lo establece la norma antes mencionada. La junta de los ladrillos o espesor del mortero es de 1 a 1,5 cm según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE E. 070, 2019) de albañilería, por lo que se estableció de 1.5 cm aproximadamente. El refrentado fue con una capa de cemento y agua para igualar las caras de los ladrillos que van apoyadas en la prensa hidráulica con un espesor máximo de 10 mm y en un tiempo mínimo de 48 horas antes de realizar las muestras, como establece la norma. Este ensayo nos sirve para establecer la carga máxima que resiste el mortero por medio de una fuerza necesaria para separar el ladrillo del mortero de pega. En la figura 19 se muestra la adherencia entre el ladrillo y el mortero por corte.

Figura 19

Adherencia de ladrillos por corte



Fuente: *(Autores)*

3.6.4 Resistencia a la compresión de prismas de ladrillos

Los especímenes fueron diseñados según la sección 7 de la NEC donde consta como mínimo tres hiladas de ladrillos unidos por el mortero de pega, además la longitud del prisma debe ser mínimo el tamaño del espesor. Se elaboraron 5 especímenes que tuvieron un tiempo de rotura a los 28 días con los diferentes porcentajes de PET a utilizar en el mortero

para comparar con una muestra patrón que no contiene fibra de PET. El curado de los especímenes se realizó por 14 días en bolsas bien cerradas y después se retiró para que las muestras permanezcan en el laboratorio hasta ser ensayadas como lo establece la norma antes mencionada. El refrentado fue con una capa de cemento y agua para igualar las caras de los ladrillos que van apoyadas en la prensa hidráulica con un espesor máximo de 3.5 mm y en un tiempo mínimo de 24 horas antes de realizar las muestras, como establece la norma. La junta de los ladrillos o espesor del mortero es de 1 a 1,5 cm según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE E. 070, 2019) de albañilería, por lo que se estableció de 1,5 cm aproximadamente. En la figura 20 se muestra el prisma de ladrillos para el ensayo a compresión.

Figura 20

Prisma de ladrillos



Fuente: *(Autores)*

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Se detallan los resultados que se alcanzaron en la investigación experimental de las dosificaciones del mortero patrón y mortero con adición de fibras PET del 0.5 %, 1 % y 1.5 % con respecto al peso del cemento y arena. Se elaboraron las muestras según las normas establecidas en el apartado 2.12 y las cantidades de las muestras desarrolladas en el apartado 3.5.1. Después de elaborar todos los especímenes para el desarrollo del cumplimiento de los objetivos se procedió a realizar los ensayos mecánicos. A continuación, se muestran los resultados de las pruebas elaboradas.

4.1.1 Resultados de la resistencia a la compresión de cubos de mortero de 50 mm de arista.

Se muestra a continuación la tabla 26 que contiene los resultados del ensayo a compresión de cubos de todas las muestras teniendo como resultado la resistencia máxima promedio con respecto a cada porcentaje de fibra añadida.

Tabla 26

Resultados de la resistencia a la compresión

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUBOS				
Nombre de la muestra	Área (mm ²)	Carga Máxima (N)	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
MORTERO PATRÓN				
PA1	2500	36247.889	14.499	
PA2	2500	35270.695	14.108	14.25
PA3	2500	35378.613	14.151	
MORTERO PATRÓN+0.5% DE FIBRAS PET				
PB1	2500	30487.379	12.195	
PB2	2500	32356.895	12.943	12.28
PB3	2500	29282.569	11.713	
MORTERO PATRÓN+1% DE FIBRAS PET				
PC1	2500	26266.730	10.507	
PC2	2500	26734.987	10.694	10.66
PC3	2500	26962.276	10.785	
MORTERO PATRÓN+1.5% DE FIBRAS PET				
PD1	2500	20384.152	8.154	
PD2	2500	18591.084	7.436	7.44
PD3	2500	16819.003	6.728	

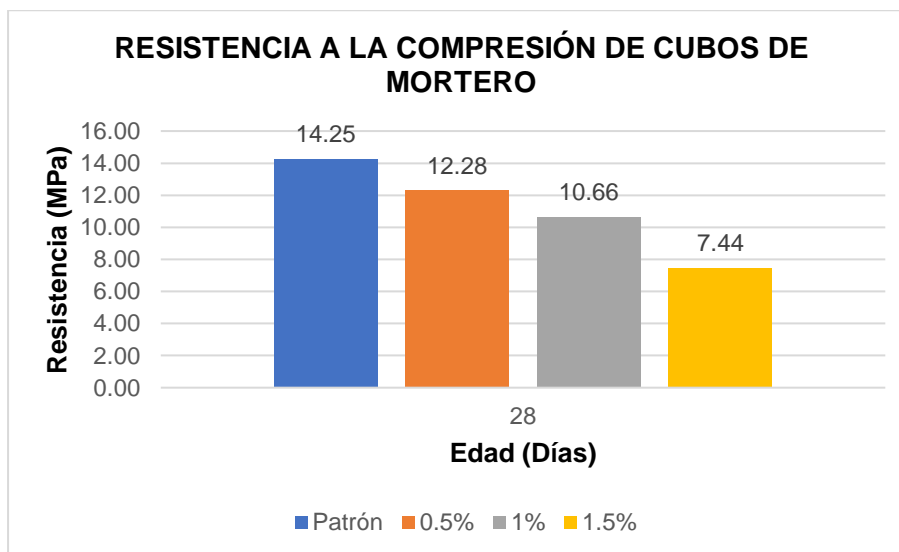
Fuente: (Autores)

En la figura 21 se observa que todos los cubos de mortero de 50 mm de arista realizados a los 28 días poseen una buena resistencia. Sin embargo, el porcentaje de 1.5% bajo considerablemente con respecto a los otros morteros, pero si se ubica dentro del rango

mínimo establecido por la NTE INEN 2518 de 5.2 MPa como se mencionó anteriormente en el apartado 2.9. Se puede observar los resultados más a detalle en el anexo 1.

Figura 21

Resultados de la resistencia a la compresión



Fuente: (Autores)

4.1.2 Resultados de la resistencia a la flexión.

Se muestra a continuación la tabla 27 que contiene los resultados del ensayo a flexión de todas las muestras teniendo como resultado la resistencia máxima promedio con respecto a cada porcentaje de fibra añadida.

Tabla 27

Resultados de la resistencia a la flexión

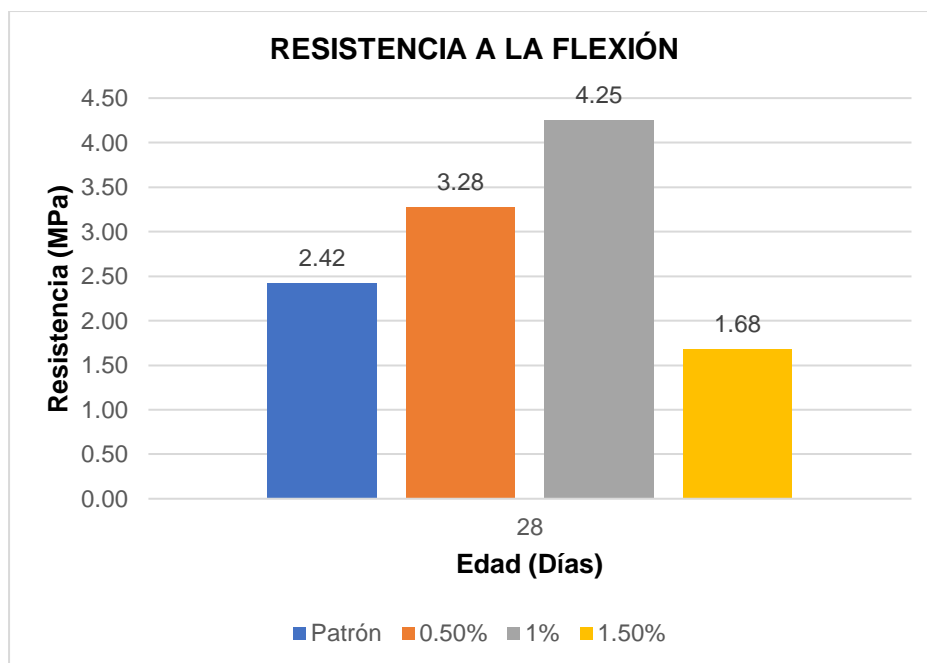
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Nombre de la muestra	Lado b (mm)	Longitud (mm)	Carga Máxima (N)	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
MORTERO PATRÓN					
PA1	40	120	851.817	2.396	
PA2	40	120	927.973	2.610	2.42
PA3	40	120	801.046	2.253	
MORTERO PATRÓN+0.5% DE FIBRAS PET					
PB1	40	120	1105.671	3.110	
PB2	40	120	1232.598	3.467	3.28
PB3	40	120	1156.442	3.252	
MORTERO PATRÓN+1% DE FIBRAS PET					
PC1	40	120	1435.682	4.038	
PC2	40	120	1562.609	4.395	4.25
PC3	40	120	1537.224	4.323	
MORTERO PATRÓN+1.5% DE FIBRAS PET					
PD1	40	120	521.806	1.468	
PD2	40	120	547.192	1.539	1.68
PD3	40	120	597.963	1.682	

Fuente: (Autores)

En la figura 22 se observa que el mortero patrón y morteros con el 0.5% y 1% de fibras PET a los 28 días poseen buena resistencia. El porcentaje de 1.5% bajo considerablemente con respecto a la muestra patrón. La norma NTE INEN 198 no establece ningún rango mínimo por lo que se compara con la muestra base. Se puede observar los resultados más a detalle en el anexo 2.

Figura 22

Resultados de la resistencia a la Flexión



Fuente: (Autores)

4.1.3 Resultados de la resistencia a la adherencia por corte.

Se muestra a continuación la tabla 28 que contiene los resultados del ensayo de la resistencia a la adherencia por corte teniendo como resultado la resistencia máxima promedio con respecto a cada porcentaje de fibra añadida.

Tabla 28

Resultados de la resistencia a la adherencia por corte

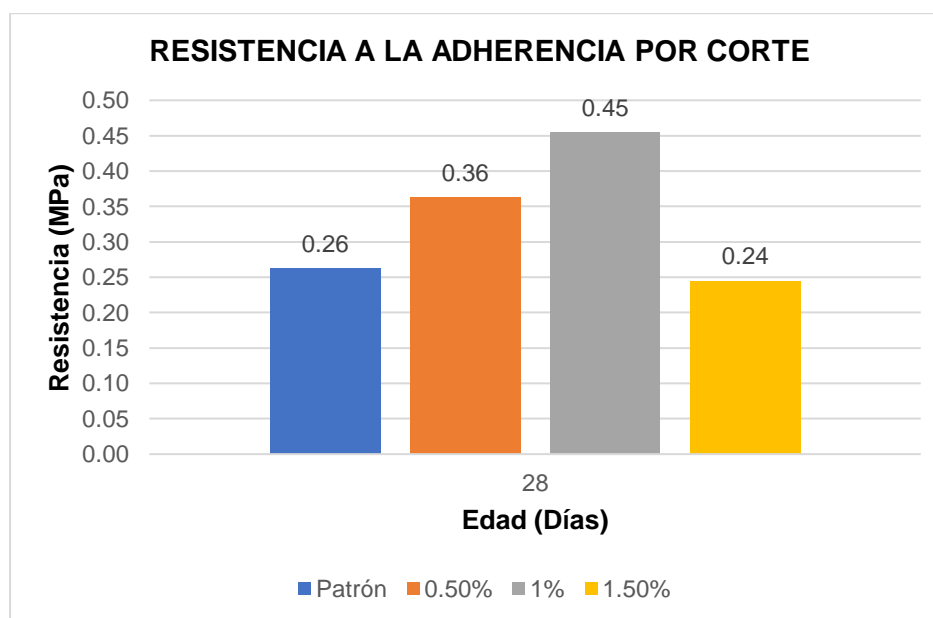
RESULTADOS DEL ENSAYO				
Nombre de la muestra	Área de pegado (mm ²)	Carga Máxima (N)	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
MORTERO PATRÓN				
PA1	50487.5	18907.870	0.375	
PA2	51756.25	11665.670	0.225	
PA3	52287.5	12563.390	0.240	0.262
PA4	52346.25	10984.100	0.210	
PA5	51361	13332.680	0.260	
MORTERO PATRÓN+0.5% DE FIBRAS PET				
PB1	49728.75	12083.060	0.243	
PB2	52852.5	17478.310	0.331	
PB3	52487.5	28440.200	0.542	0.362
PB4	52706.25	17979.940	0.341	
PB5	53875	19125.301	0.355	
MORTERO PATRÓN+1% DE FIBRAS PET				
PC1	51757	27570.700	0.533	
PC2	53056.5	16310.700	0.307	
PC3	52946.5	20571.400	0.389	0.454
PC4	51394.5	30174.900	0.587	
PC5	51740	17785.870	0.344	
MORTERO PATRÓN+1.5% DE FIBRAS PET				
PD1	53314.25	9951.906	0.187	
PD2	52165.5	19432.700	0.373	
PD3	53574.5	9509.720	0.178	0.245
PD4	52395	14273.962	0.272	
PD5	52912	11362.077	0.215	

Fuente: (Autores)

En la figura 23 se observa que todos los morteros ensayados a los 28 días poseen una buena adherencia. El porcentaje de 1.5% y el patrón bajaron considerablemente con respecto al 1% y 0.5%, pero si se ubican dentro del rango mínimo establecido por la NCh 2123 de 0.18 MPa. Se puede observar los resultados más a detalle en el anexo 3.

Figura 23

Resultados de la resistencia a la adherencia por corte



Fuente: (Autores)

4.1.4 Resultados de la resistencia a la compresión de prismas de ladrillos.

Se muestra a continuación la tabla 28 que contiene los resultados del ensayo a compresión de los prismas de ladrillos teniendo como resultado la resistencia máxima promedio con respecto a cada porcentaje de fibra añadida.

Tabla 29

Resultados de la resistencia a la compresión de prismas de ladrillos

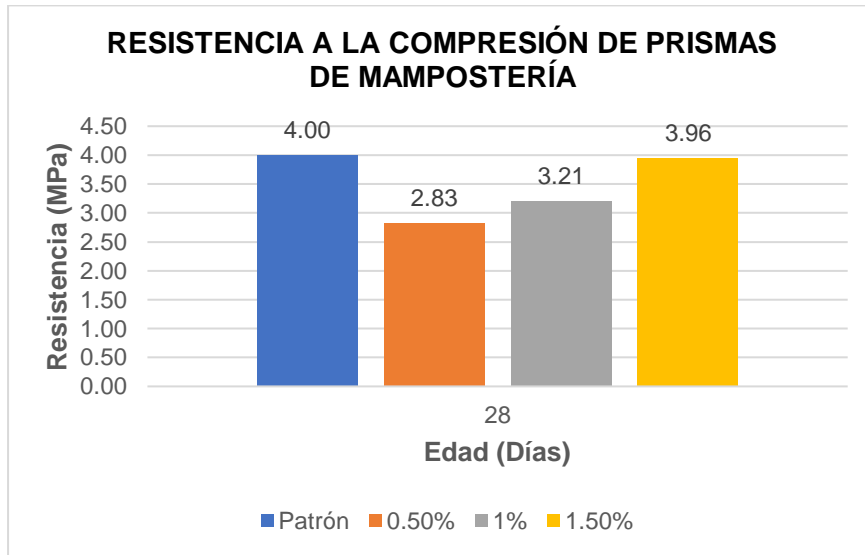
RESULTADO DEL ENSAYO				
Nombre de la muestra	Área (mm²)	Carga Máxima (N)	Resistencia (Mpa)	Resistencia promedio (Mpa)
MORTERO PATRÓN				
PA1	33020	146783.191	4.445	
PA2	32128	127344.744	3.964	
PA3	32320	128075.241	3.963	4.00
PA4	32449	133706.710	4.121	
PA5	33280	116658.830	3.505	
MORTERO PATRÓN+0.5% DE FIBRAS PET				
PB1	33087	92921.085	2.808	
PB2	34580	109687.184	3.172	
PB3	33726	87192.220	2.585	2.83
PB4	33411	96292.173	2.882	
PB5	33340	89603.420	2.688	
MORTERO PATRÓN+1% DE FIBRAS PET				
PC1	32370	105128.563	3.248	
PC2	33953	124240.547	3.659	
PC3	32057	85641.857	2.672	3.21
PC4	31987	102825.471	3.215	
PC5	33343	108406.549	3.251	
MORTERO PATRÓN+1.5% DE FIBRAS PET				
PD1	34190	136607.125	3.996	
PD2	32500	113887.765	3.504	
PD3	32890	124951.725	3.799	3.96
PD4	33215	133532.838	4.020	
PD5	33405	149011.949	4.461	

Fuente: (Autores)

En la figura 24 se observa que el mortero patrón y el de 1.5% a los 28 días poseen una mejor resistencia. Se puede observar los resultados más a detalle en el anexo 4.

Figura 24

Resultados de la resistencia a la compresión de prismas de ladrillos



Fuente: (Autores)

4.1.5 Resistencia final f'_m y módulo de elasticidad según NSR-10

Se utilizó las fórmulas especificadas en el apartado 3.5.1 y 3.6.1 para la resistencia y el módulo de elasticidad de los prismas de mampostería. Para la corrección de la resistencia se estableció que la relación altura/espesor del murete es de 2 por ende el factor de corrección es de 1 dando como resultado los siguientes datos:

Tabla 30

Resultado de las resistencias y módulo de elasticidad

Porcentaje de fibra	Resistencia a la compresión Normalizados f'_m (Mpa)	Módulo de elasticidad Em NSR (Mpa)		
0.0%	2.338	1753.500	< 20000	Cumple
0.5%	2.267	1700.250	< 20000	Cumple
1.0%	2.208	1656.000	< 20000	Cumple
1.5%	2.092	1569.000	< 20000	Cumple

Fuente: (Autores)

Todas las dosificaciones realizadas experimentalmente fueron superiores a la resistencia calculado con la norma NSR-10.

4.1.6 Curva esfuerzo-deformación

Para evaluar el desempeño de los prismas de ladrillos se realizó una evaluación de la curva esfuerzo deformación, para establecer el rango elástico y plástico. De esta manera

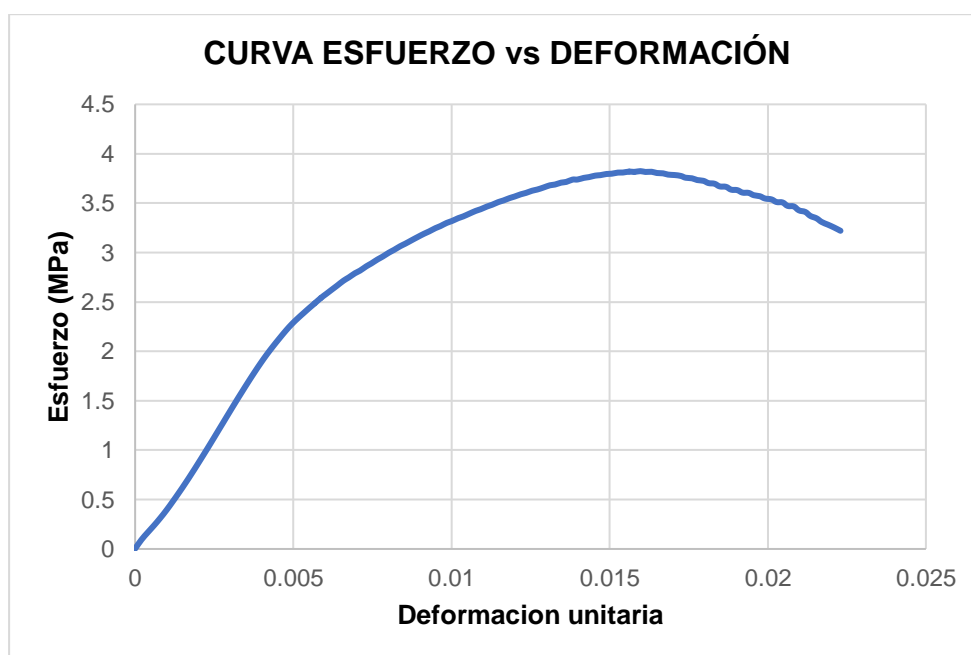
analizar el comportamiento de la fibra y determinar qué porcentaje es el óptimo mediante la comparación de las curvas. Para determinar el módulo de elasticidad se utilizó lo descrito en el apartado 3.6.2.

a. Curva esfuerzo-deformación del ensayo de prismas de ladrillos

En el ensayo de los muretes con la muestra patrón alcanzó una deformación elástica de 0.005875 y una deformación máxima de 0.0016. Con un módulo elástico de 468.567 MPa. En la figura 25 se puede apreciar un promedio de las 5 curvas de esfuerzo-deformación pertenecientes al ensayo realizado. En el anexo 5 se detallan todas las curvas.

Figura 25

Curva esfuerzo deformación del prisma con el mortero patrón

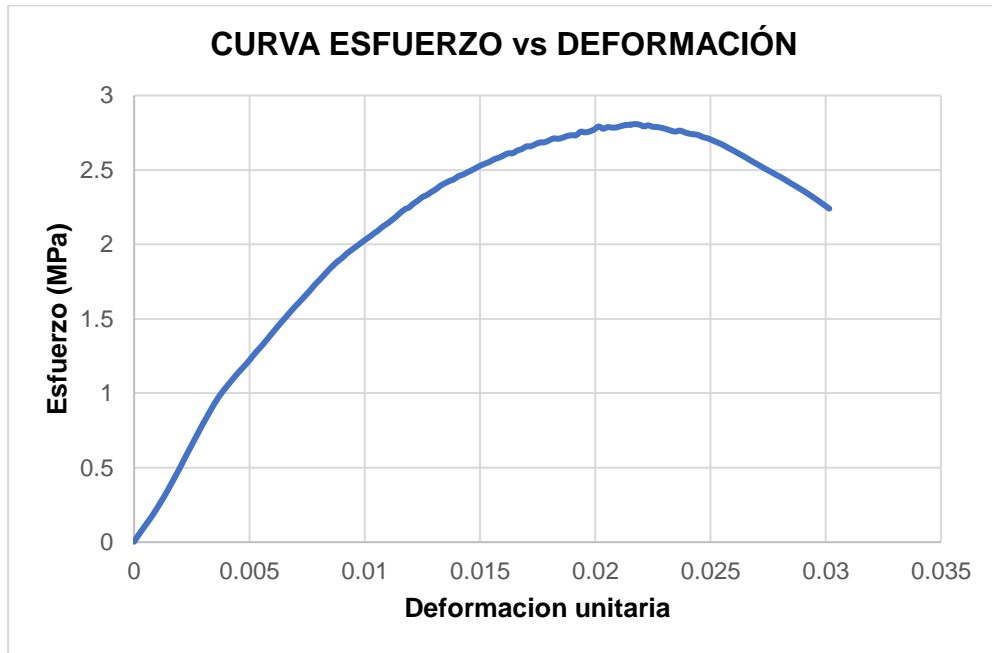


Fuente: (Autores)

En el ensayo de los muretes con el 0.5% de fibra alcanzó una deformación elástica de 0.008810 y una deformación máxima de 0.0217. Con un módulo elástico de 275.19 MPa. En la figura 26 se puede apreciar un promedio de las 5 curvas de esfuerzo-deformación pertenecientes al ensayo realizado. En el anexo 6 se detallan todas las curvas.

Figura 26

Curva esfuerzo deformación del prisma con mortero 0.5% de fibra

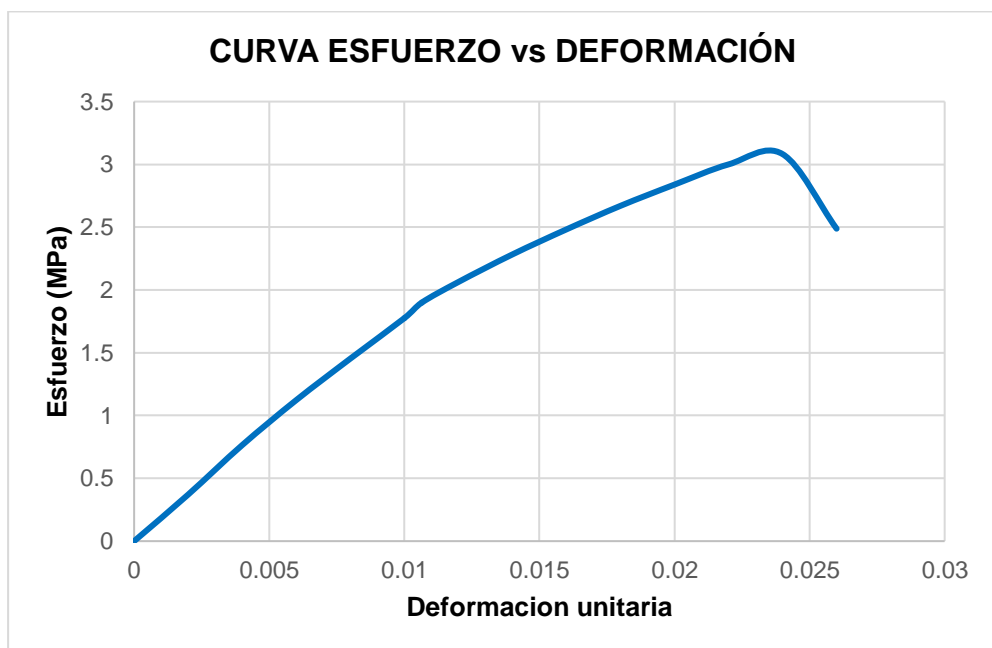


Fuente: (Autores)

En el ensayo de los muretes con el 1% de fibra alcanzó una deformación elástica de 0.01064 y una deformación máxima de 0.024. Además, con un módulo elástico de 190.116 MPa. En la figura 27 se puede apreciar un promedio de las 5 curvas de esfuerzo-deformación pertenecientes al ensayo realizado. En el anexo 7 se detallan todas las curvas.

Figura 27

Curva esfuerzo deformación del prisma con 1% de fibra en el mortero

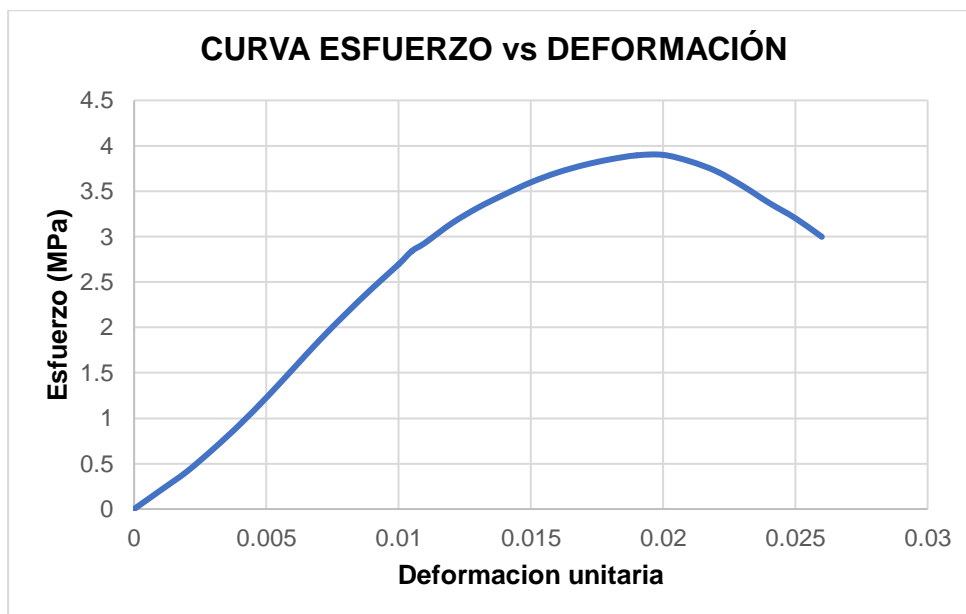


Fuente: (Autores)

En el ensayo de los muretes con el 1.5% de fibra alcanzó con una deformación elástica de 0.0105 y una deformación máxima de 0.02. Además, con un módulo elástico de 258.984 MPa. En la figura 28 se puede apreciar un promedio de las 5 curvas de esfuerzo-deformación pertenecientes al ensayo realizado. En el anexo 8 se detallan todas las curvas.

Figura 28

Curva esfuerzo deformación del prisma con 1.5% de fibra en el mortero



Fuente: (Autores)

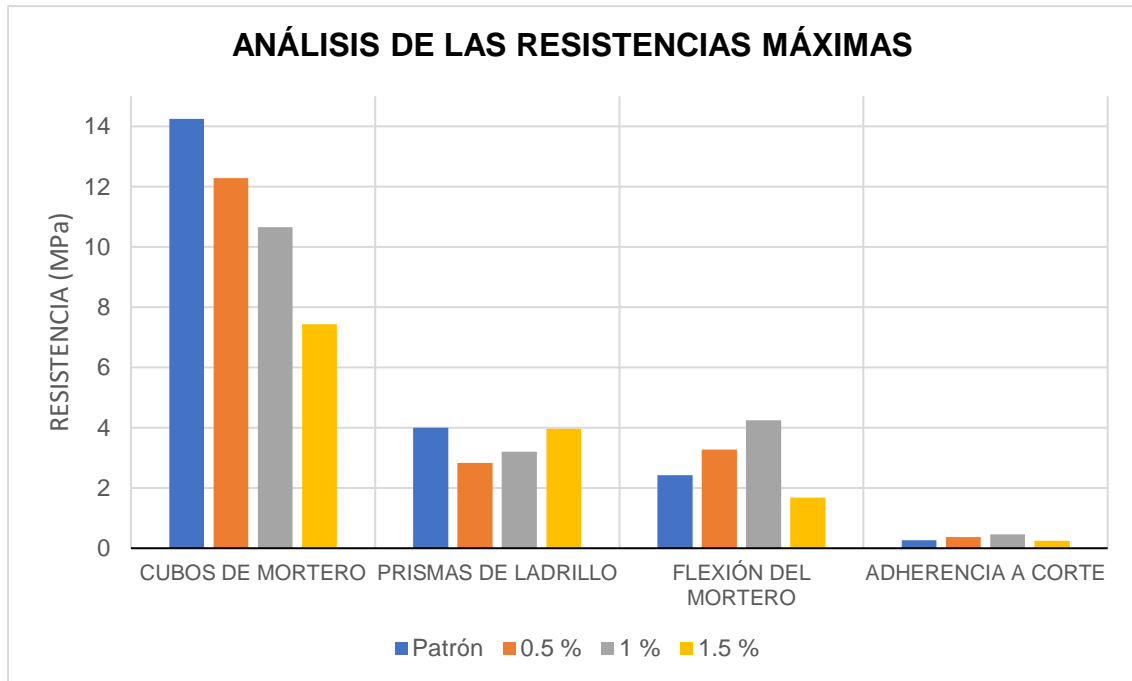
4.2 Discusión.

4.2.1 Discusión de resultados con respecto a la resistencia de cada porcentaje de fibra de PET analizado

A continuación, en la figura 29 se expone los resultados obtenidos en el ensayo a compresión de los cubos de mortero y prismas de ladrillos además de los resultados a flexión y adherencia del mortero con el 0%, 0.5%, 1% y 1.5% de fibras de PET. Se realizó una discusión para determinar cuál es el porcentaje con mejor resistencia para añadir al mortero.

Figura 29

Resistencias máximas de todos los ensayos realizados



Fuente: (Autores)

Para obtener una mejor comprensión del cambio en las propiedades mecánicas, se realizaron diferencias porcentuales con respecto al estándar y los resultados se presentan en la Tabla 31.

Tabla 31

Resultado porcentual de las resistencias con respecto al patrón

DIFERENCIA PORCENTUAL		
Nombre de la muestra	Resistencia promedio (MPa)	DIFERENCIA PORCENTUAL CON RESPECTO AL PATRÓN
ESFUERZO COMPRESIÓN		
PATRÓN	14.25	100
0.50%	12.28	86.18
1%	10.66	74.81
1.50%	7.44	52.21
ESFUERZO FLEXIÓN		
PATRÓN	2.42	100
0.50%	3.28	135.41
1%	4.25	175.74
1.50%	1.68	69.42
ESFUERZO ADHERENCIA POR CORTE		
PATRÓN	0.26	100
0.50%	0.36	138.34
1%	0.45	173.31
1.50%	0.24	92.31
ESFUERZO PRISMAS		
PATRÓN	4.00	100
0.50%	2.83	70.75
1%	3.21	80.25
1.50%	3.96	99.00

Fuente: (Autores)

En la tabla 31 se observa que en el ensayo a compresión de cubos de mortero disminuye su resistencia conforme va aumentado el porcentaje de las fibras de PET, existiendo una reducción proporcional de la resistencia con el aumento de la fibra. Donde el porcentaje del 1.5% disminuye su resistencia a compresión a 52.21% en comparación con el patrón.

A flexión existe un incremento de su resistencia hasta el 1% de fibra con 175.74% en comparación con el patrón, pero al aumentar el porcentaje de fibra a 1.5% disminuye su resistencia a 69.42% en comparación con el patrón. Demostrando que hasta con el 1% aumenta el esfuerzo y con el 1.5% disminuye por la problemática en la dispersión de la fibra al aumentar su volumen.

En el ensayo de adherencia a corte existe un aumento de su resistencia hasta el porcentaje de fibra de 1% con 173.31% en comparación con el patrón, pero al aumentar el porcentaje de fibra a 1.5% disminuye su resistencia a 92.31% en comparación con el patrón. Demostrando que hasta con el 1% aumenta la adherencia y con el 1.5% disminuye por la problemática en la dispersión de la fibra al aumentar su volumen.

En el ensayo a compresión de los prismas de mampostería existe un mejor resultado de su resistencia con el mayor porcentaje de fibra de 1.5% acercándose un 99% en comparación con el patrón, mientras que con el 0.5% y 1%, si bien baja la resistencia va aumentando conforme se incrementa la fibra. Demostrando que a más PET mejor resistencia a la compresión de prismas de mampostería.

Y para comparar las resistencias de los prismas de mampostería obtenidos experimentalmente con lo establecido por la norma NSR-10, se detalla la diferencia porcentual obtenida en la tabla 32.

Tabla 32

Resultado porcentual de la resistencia de los prismas de ladrillos

Comparación de f'm			
Porcentaje de fibra	Resistencia a la compresión experimental f'm (Mpa)	Resistencia a la compresión Normalizados f'm (Mpa)	Diferencia porcentual con respecto a la norma
0.0%	4.00	2.338	171.08%
0.5%	2.83	2.267	124.83%
1.0%	3.21	2.208	145.38%
1.5%	3.96	2.092	189.29%

Fuente: (Autores)

Los datos obtenidos experimentalmente sobrepasaron a los de la normativa, estableciendo que el 1.5% fue el valor más alto experimentalmente con respecto a la normativa superando el resultado en un 89.29%

4.3 Discusión de resultados con respecto a la curva esfuerzo-deformación de los prismas de ladrillos

a. Comparación del módulo de elasticidad

Se comparó el módulo de elasticidad calculado por la norma NSR-10 para los prismas de mampostería de arcilla con los valores de los ensayos realizados. Se detalla la diferencia porcentual en la tabla 33. En el anexo 9, 10,11 y 12 se detalla el módulo de elasticidad según la NSR-10.

Tabla 33

Comparación del módulo de elasticidad

Comparación de E_m			
Porcentaje de fibra	Módulo de elasticidad real E_m (Mpa)	Módulo de elasticidad E_m según NRS (Mpa)	Diferencia porcentual con respecto a la norma
0.0%	468.57	1753.50	26.72%
0.5%	275.19	1700.25	16.19%
1.0%	190.12	1656.00	11.48%
1.5%	258.98	1569.00	16.51%

Fuente: (Autores)

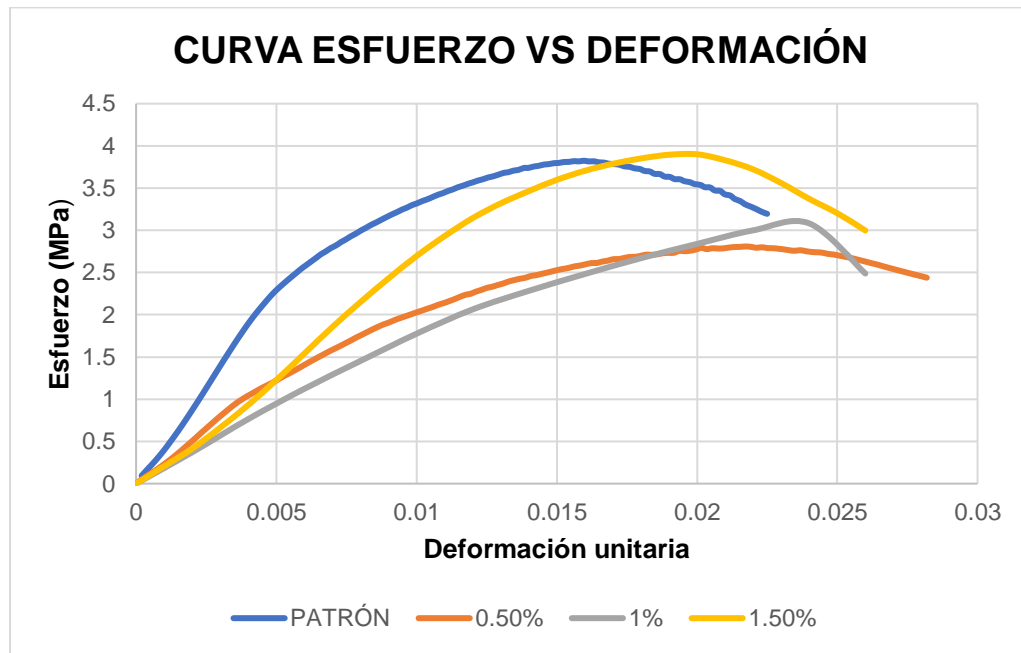
Se observa en la tabla 33 que los valores obtenidos son menores a los establecidos por la norma técnica colombiana.

4.3.1 Comparación de curvas esfuerzo vs deformación

Se presentan todas las curvas en la gráfica 30 con los diferentes porcentajes tras el ensayo de resistencia a la compresión de los prismas. Los prismas que contienen fibra de PET aumentan la zona elástica con respecto al prisma convencional. Es decir, con el uso de las fibras es más elástica la mampostería porque le permite entrar en la zona plástica con mayores deformaciones.

Figura 30

Comparación de las curvas esfuerzo deformación



Fuente: (Autores)

Finalmente, las curvas de los prismas indican una variación descendente en su esfuerzo, pero aumenta en su deformación unitaria. Como consecuencia, se puede decir que cuando se añade la fibra de PET es inicialmente menos resistente, pero más elástico con respecto a la muestra con 0% de fibra. A continuación, en la tabla 34 se muestra la comparación de las deformaciones.

Tabla 34

Comparación de las zonas elásticas y plásticas

COMPARACIONES DE LAS DEFORMACIONES UNITARIAS						
Porcentaje de fibra	ϵ_e	ϵ_u máximo	Zona elástica		Zona plástica	
			$\epsilon_0 - \epsilon_e$	Diferencia porcentual	ϵ_u máximo - ϵ_e	Diferencia porcentual
0%	0.005875	0.015973	0.005875	100%	0.010098	100%
0.50%	0.008810	0.021719	0.008810	149.96%	0.012909	127.84%
1%	0.01064	0.024	0.010640	181.11%	0.013360	132.30%
1.50%	0.0105	0.02	0.010500	178.73%	0.009500	94.08%

ϵ_0 = Inicio de la curva

ϵ_e = Limite elástico

ϵ_u = Limite último

Fuente: (Autores)

Después de haber analizado los valores obtenidos en las curvas se puede observar en la tabla 34 la diferencia porcentual de las deformaciones unitarias con respecto al patrón, obteniendo con todos los porcentajes mejores deformaciones. Con el 0.5% de fibras de PET

presenta una zona elástica de 0.008810 y zona plástica de 0.012909. Con el 1% de fibra tiene una zona elástica de 0.01064 y zona plástica de 0.013360y con el 1.5% de fibra tiene una zona elástica de 0.0105 y plástica de 0.0095. Demostrando que tiene una mayor deformación las muestras con PET en comparación con la muestra sin porcentaje de fibra presentando una zona elástica de 0.005875 y zona plástica de 0.010098. El espécimen con el 1% de fibra posee mejor deformación elástica y plástica en comparación con el patrón en un 81.11% y 32.30%% respectivamente. Las muestras con fibra no se rompieron de una manera abrupta demostrado que brinda una mayor seguridad en la mampostería.

Partiendo de este estudio se manifiesta que el porcentaje óptimo para el aprovechamiento de las fibras de PET en el mortero para mampostería es con la dosificación del 1% por tener los mejores resultados de resistencia a flexión, adherencia, mayor deformación en la zona elástica y plástica en los prismas de mampostería. La dosificación del 1.5% no sería óptima por que se ha observado que disminuye su trabajabilidad y tiene los peores datos de la resistencia a la compresión de cubos del mortero, flexión y adherencia por corte. El 0.5% queda descartado por usar una cantidad menor de fibra y por tener la menor resistencia en los prismas de mampostería.

5. CONCLUSIONES

Con el propósito de incorporar las fibras plásticas en la construcción y de reutilizar este material que existe en cantidad excesiva. Se realizó una investigación adicionando al mortero en donde se obtuvieron los siguientes resultados:

- Se puede decir que con la creación de la máquina prototipo para elaborar fibras de botellas plásticas recicladas, ofrece beneficios y ventajas para la gestión de los desechos que estos generan. De modo que se está dando un nuevo uso a las botellas e implementado en la construcción, y también dando un aporte al cuidado del planeta y disminuyendo la contaminación. Por ello, se puede decir que es posible la inclusión de nuevas tecnologías innovadoras que sean amigables con el medio ambiente y viables económicamente.
- Tras el análisis del mortero tradicional para la dosificación del mortero base se siguió la metodología establecida en el libro de Gutiérrez de López por su facilidad de diseño el cual fue óptimo para alcanzar los resultados planteados.
- Por las investigaciones mencionadas y según lo realizado se determinó que, al aumentar notoriamente la cantidad del PET, disminuye la resistencia a compresión y la trabajabilidad en los morteros, siendo lo más factible la utilización de máximo 1.5% de PET. Por lo tanto, para tener un mejor aprovechamiento de las fibras PET en el mortero reforzado se utilizó los porcentajes de 0.5%, 1% y 1.5% de la suma del cemento más la arena.
- La investigación experimental en el ensayo a compresión del mortero en cubos de 50 mm de arista demostró que mientras más porcentaje de fibra (1.5%) menor será la resistencia a compresión disminuyendo hasta un 52.21% con respecto al patrón. Sin embargo, el esfuerzo mínimo de 5.2 MPa que exige la normativa NTE INEN 2518 para el mortero de pega en mampostería cumple con todos los porcentajes.
- En el ensayo a flexión se concluye que al añadir fibras contribuye al mortero de pega para una buena resistencia. El mortero que contiene el porcentaje de 1% de fibras tuvo mejor resistencia con respecto al mortero base superándolo en un 75.4%.
- Un factor de suma importancia es el ensayo de adherencia a corte, donde todos los porcentajes cumplieron con el valor mínimo establecido por la norma NCh 2123. Of2003 de 0.18 MPa. Pero el porcentaje de 1% obtuvo la mejor resistencia de 0.45 MPa superando en un 73.31% al patrón.

- La normativa colombiana NSR-10 da preferencia a la resistencia del ladrillo y no a la del mortero en su fórmula del parámetro R_m . En este caso de estudio existe un muy buen mortero, pero muy baja resistencia del ladrillo siendo la principal causa por la que en la norma sale valores altos del módulo elástico, pero al realizar los ensayos con los ladrillos macizos artesanales da un menor porcentaje.
- Finalmente, la investigación realizada evidenció que en el ensayo de prismas de mampostería de ladrillo artesanal macizo todos los porcentajes cumplieron con lo establecido por la norma. Además, en el análisis de las curvas esfuerzo deformación en los prismas se obtuvo que el 1% presenta una mayor zona elástica en 81.11% y 32.30% en la zona plástica con respecto al patrón. Por ende, se concluye que el mejor resultado es el porcentaje del 1% tanto en la trabajabilidad, resistencia y deformación.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda industrializar la fabricación de las fibras plásticas. Así como, también realizar un análisis de costos con el mortero reforzado para poder determinar la economía y así poder incorporar como un nuevo material en la construcción.
- Se debería realizar los ensayos con menor tamaño de fibra con la finalidad de mejorar la trabajabilidad y tener una masa más homogénea con una adecuada dispersión del PET
- Es necesario que los ladrillos artesanales macizos utilizados para los ensayos no se encuentren agrietados ni porosos para evitar un plano de falla, y que no influya en su resistencia final.
- Es necesario calibrar el tiempo de rotura de la prensa del laboratorio porque puede influir en los prismas al obtener el módulo de elasticidad, dando un resultado erróneo.
- Por último, se recomienda analizar la fibra de PET en morteros para recubrimiento ya que probablemente estas fibras evitan o disminuyen las fisuras. Además, que también se puede utilizar como aislante acústico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACI 530-05. (2005). Building Code Requirements for Masonry Structures (ACI 530-05/ASCE 5-05/TMS 402-05). *Masonry Standards Joint Committee (MSJC)*.
- Alesmar, L., Rendón, N., & Korody, M. E. (2008). Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (PET) – cemento. *Revista de La Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 23(1), 77–86.
http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_fiucv/article/view/5048
- Araya-Letelier, G., Maturana, P., Gómez, M. S., Carrasco, M., Antico, F. C., & Burbano-García, C. (2019). Desempeño fracto-mecánico de morteros reforzados con fibras plásticas recicladas. *Sustainability (Switzerland)*, 1–17.
<https://doi.org/10.3390/su11082200>
- Cabrera Rodríguez, J. S. (2017). *Elaboración de morteros con adición de polímeros (PET)* [Universidad Católica de Cuenca]. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/1533>
- Cajamarca Cajamarca, E. S., Bueno Sagaicela, W. R., & Jimbo Dias, J. S. (2019). De cero a dinero: La basura como fuente principal para un negocio inclusivo de reciclaje en Cuenca (Ecuador). *Retos Revista de Ciencias de La Administración y Economía*, 9(17), 71–87.
<https://doi.org/https://revistas.ups.edu.ec/index.php/retos/article/view/17.2019.05>
- Caovas Tejada, A., & Segrera Leòn, V. del C. (2020). *Estudio del comportamiento mecánico del concreto con adición de fibras de politeraftalato de etileno (PET)* [Universidad de Cartagena].
[https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/14951/INFORME_FINAL_FIBRAS_PET_Coavas_Segrera .pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/14951/INFORME_FINAL_FIBRAS_PET_Coavas_Segrera.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cárdenas Pulido, J., Rodríguez Loaiza, S., & Higuera Flórez, C. (2020). Evaluación del comportamiento a compresión y propiedades físicas de morteros de cemento reforzados con fibras recicladas PET. *Scientia et Technica*, 25(2), 269–279.
<https://doi.org/10.22517/23447214.23771>
- Castro Aguirre, J. C. (2016). *Las fibras de vidrio, acero y polipropileno en forma de hilachas, aplicadas como fibras de refuerzo en la elaboración de morteros de cemento* [Universidad Técnica de Ambato].
[http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23307/1/Tesis 1019 - Castro Aguirre Julio César.pdf](http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23307/1/Tesis%201019%20-%20Castro%20Aguirre%20Julio%20César.pdf)
- Cevallos Sigcho, J. L. (2019). *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%* [Universidad Internacional del Ecuador-Loja].
<https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/3905>
- EMAC EP. (2019). *Recolección y Reciclaje - Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca EMAC EP*. <https://emac.gob.ec/servicios/recoleccion/>
- González de la Cadena, J. F. (2016). *Estudio Del Mortero De Pega Usado En El Cantón Cuenca. Propuesta De Mejora, Utilizando Adiciones De Cal*. Universidad de Cuenca.
- Guerra Vaca, L. O. (2021). *Diseño y construcción de un prototipo de procesadora de botellas plásticas PET recicladas para la obtención de fibra de poliéster* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14661>

- Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>
- INEN GPE 021. (1987). Guía Práctica de mampostería reforzada. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Quito - Ecuador.
- Morillo Morocho, D. L., & Parión Tandayamo, J. N. (2022). *Influencia de fibras naturales y sintéticas en la permeabilidad de morteros de cemento - arena, y cemento, cal y arena* [Universidad Central del Ecuador Carrera]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/26835>
- NCh 167. Of. (2001). Construcción - Ladrillos cerámicos - Ensayos. *Norma Chilena Oficial Del Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile)*. <https://www.cesmec.cl/medios/DIC/normas/NCh167Of2001.pdf>
- NCh 2123. Of. (1997). Modificada en 2003: Albañilería confinada - Requisitos de diseño y cálculo. *Norma Chilena Oficial Del Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile)*. http://www.confinedmasonry.org/wp-content/uploads/2009/09/Chile_NCh2123-2003.pdf
- NEC-SE-MP. (2015). Mampostería Estructural. *Norma Ecuatoriana de La Construcción*., 72.
- NSR-10. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Título D — Mampostería Estructural. *Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS*.
- NTE INEN 198. (1987). *Cementos. Determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión de morteros*. NTE INEN 198. (1987). *Cementos. Determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión de morteros*. 15., 15.
- NTE INEN 2 518. (2010). Morteros para unidades de mampostería. Requisitos. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Quito - Ecuador.
- NTE INEN 2 536. (2010). Áridos Para Uso En Morteros Para Mampostería. Requisitos. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Quito - Ecuador. [http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/149/3/03 AGP 63 NTE INEN 1340.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/149/3/03%20AGP%2063%20NTE%20INEN%201340.pdf)
- NTE INEN 2380. (2011). Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Quito - Ecuador.
- NTE INEN 696. (2011). Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Quito - Ecuador.
- NTE INEN 862. (2011). Áridos Para Hormigón. Determinación Del Contenido Total De Humedad. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Quito - Ecuador.
- Ojeda, J. P., Mercante, I. T., & Fajardo, N. H. (2020). Diseño y ensayo de fibras plásticas recicladas para refuerzo de mortero. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(1), 55–62. <https://doi.org/10.20937/RICA.2020.36.53423>
- Porrás Gil, M. S., & Guzmán Beltrán, S. (2020). Uso De Materiales Alternativos Para Mejorar La Resistencia Del Mortero De Pega De Mampostería Estructural (Fibra De Fique) [Universidad la Gran Colombia]. In *Journal of Chemical Information and Modeling*. <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/5733>
- Quintero Mazo, J. E. (2020). *Simulación numérica del comportamiento mecánico en morteros de cemento hidráulico adicionados con fibras PET* [Universidad Católica de

- Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/25851>
- Riaño Bolaños, M. A., & Ayala Granados, C. C. (2019). Influencia de fibras tipo pet en las características de resistencia y durabilidad del mortero de cemento hidráulico. [Universidad Católica de Colombia]. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23897/1/Trabajo de Grado Cristian Ayala Alejandra Riaño.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23897/1/Trabajo%20de%20Grado%20Cristian%20Ayala%20Alejandra%20Ria%C3%B1o.pdf)
- Rivera, G. (2013). *Libro de tecnología del concreto y mortero* [Universidad del Cauca, Colombia]. <https://civilgeeks.com/2013/08/28/libro-de-tecnologia-del-concreto-y-mortero-ing-gerardo-a-rivera-l/>
- RNE E. 070. (2019). Reglamento Nacional de Edificaciones. *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Perú*. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-legislativo-que-aprueba-el-codigo-de-responsabilidad-decreto-legislativo-n-1348-1471548-8/>
- Salamanca Correa, R. (2001). La tecnología de los morteros. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 11, 41–48. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101107>
- Sanabria Chioino, S. A. (2016). *Hormigón fibro-reforzado. fibras obtenidas de envases post-consumo vs fibras sintéticas comerciales. estudio preliminar* [Universidad de la República Uruguay]. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/17232>
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero* (B. Editores (ed.); Biblioteca). <https://www.ingenieriaayconstruccioncolombia.com/descargas/>
- Valbuena Porras, S. G., Mena Serna, M., & García-Ubaque, C. A. (2016). Evaluación de la resistencia a la compresión en morteros de pega de acuerdo con la dosificación establecida por el código Sismo Resistente Colombiano. Estudio de caso. *Tecnura*, 20(48), 115–121. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.2.a08>
- Zambrano Loayza, E. G. (2015). *Diseño de elementos constitutivos para el espacio interior mediante el reciclaje de plástico PET* [Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4717>
- Zaruma, L. A. (2018). *Mortero impermeable a base de plástico reciclado PET para revestimientos de edificaciones de la ciudad de Zamora* [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30238>

ANEXOS

Anexo 1. Detalle del ensayo a compresión de cubos de mortero

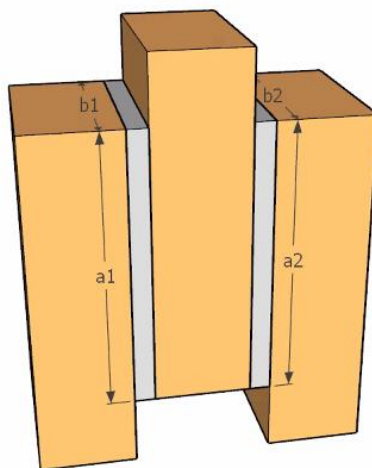
ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 28 DÍAS AIRE							
INFORME DE ENSAYO							
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA							
NTE INEN 488:2009							
ELABORADO POR:		Diana Andrade y Marcelo Morocho					
FECHA DE FABRICACIÓN:		8/9/2022					
FECHA DE ENSAYO:		6/10/2022					
Nombre de la muestra	Peso (gr)	a (mm)	b (mm)	Área (mm ²)	Carga Máxima (N)	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
MORTERO PATRÓN							
PA1	273.8	50	50	2500	36247.8889	14.49915556	14.25
PA2	275	50	50	2500	35270.6954	14.10827816	
PA3	272.9	50	50	2500	35378.6127	14.15144508	
MORTERO PATRÓN+0.5% DE FIBRAS PET							
PB1	264	50	50	2500	30487.3793	12.19495172	12.28
PB2	263	50	50	2500	32356.8945	12.9427578	
PB3	263.9	50	50	2500	29282.5686	11.71302744	
MORTERO PATRÓN+1% DE FIBRAS PET							
PC1	263.7	50	50	2500	26266.7295	10.5066918	10.66
PC2	261.8	50	50	2500	26734.9872	10.69399488	
PC3	261.3	50	50	2500	26962.276	10.7849104	
MORTERO PATRÓN+1.5% DE FIBRAS PET							
PD1	265.9	50	50	2500	20384.1517	8.15366068	7.44
PD2	266.5	50	50	2500	18591.0842	7.43643368	
PD3	267.5	50	50	2500	16819.0029	6.72760116	

Anexo 2. Detalle del ensayo a flexión

ENSAYO RESISTENCIA A FLEXIÓN 28 DÍAS AIRE									
INFORME DE ENSAYO									
DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION									
NTE INEN 488:1987									
ELABORADO POR:		Diana Andrade y Marcelo Morocho							
FECHA DE FABRICACIÓN:		12/9/2022							
FECHA DE ENSAYO:		10/10/2022							
Nombre de la muestra	Peso (gr)	Lado b (mm)	Longitud (mm)	Líneas	Ecuación	Carga Máxima (lb)	Carga Máxima (N)	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
MORTERO PATRÓN									
PA1	511.5	40	120	30	191.497	191.497	851.8169554	2.395735	2.42
PA2	522.5	40	120	33	208.6177	208.6177	927.9732531	2.609925	
PA3	527	40	120	28	180.0832	180.0832	801.0460902	2.252942	
MORTERO PATRÓN+0.5% DE FIBRAS PET									
PB1	504.9	40	120	40	248.566	248.566	1105.671281	3.109700	3.28
PB2	501.7	40	120	45	277.1005	277.1005	1232.598444	3.466683	
PB3	507.3	40	120	42	259.9798	259.9798	1156.442146	3.252494	
MORTERO PATRÓN+1% DE FIBRAS PET									
PC1	502.1	40	120	53	322.7557	322.7557	1435.681905	4.037855	4.25
PC2	493.5	40	120	58	351.2902	351.2902	1562.609068	4.394838	
PC3	486.3	40	120	57	345.5833	345.5833	1537.223635	4.323441	
MORTERO PATRÓN+1.5% DE FIBRAS PET									
PD1	497.5	40	120	17	117.3073	117.3073	521.8063319	1.467580	1.68
PD2	512.2	40	120	18	123.0142	123.0142	547.1917644	1.538977	
PD3	504	40	120	20	134.428	134.428	597.9626296	1.681770	

Anexo 3. Detalle del ensayo de adherencia por corte

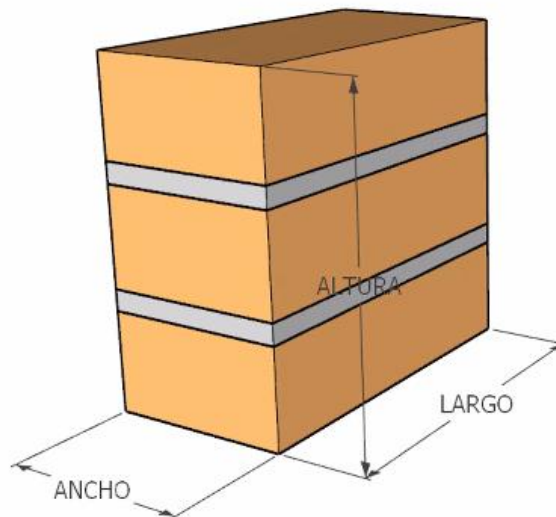
ENSAYO DE MEUSTRAS TIPO "TRÍOS" PARA DETERMINAR LA FUERZA ADHESIVA DEL LADRILLO Y MORTERO									
INFORME DE ENSAYO									
ENSAYO DE ADHERENCIA POR CORTE									
NCh 167.Of2001									
ELABORADO POR: Diana Andrade y Marcelo Morocho									
FECHA DE FABRICACIÓN: 13/9/2022									
FECHA DE ENSAYO: 11/10/2022									
Nombre de la muestra	Peso (gr)	Dimensiones de la superficie de contacto (mm)				Área de pegado (mm ²)	Carga Máxima (N)	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
		a1	b1	a2	b2				
MORTERO PATRÓN									
PA1	13925.0	197.5	125	200	129	50487.5	18907.87	0.37450597	0.262
PA2	13601.5	200	126.5	207.5	127.5	51756.25	11665.67	0.22539635	
PA3	14229.5	202.5	125	207.5	130	52287.5	12563.39	0.24027521	
PA4	14593.5	202.5	129.5	202.5	129	52346.25	10984.1	0.20983547	
PA5	13205.0	201	126	205	127	51361	13332.68	0.25958762	
MORTERO PATRÓN+0.5% DE FIBRAS PET									
PB1	13573.5	203.5	122.5	200	124	49728.75	12083.06	0.24297936	0.362
PB2	14407.5	205	127.5	205.5	130	52852.5	17478.31	0.33069978	
PB3	13437.0	212.5	124	212.5	123	52487.5	28440.2	0.54184711	
PB4	14577.5	210	125	207.5	127.5	52706.25	17979.94	0.34113487	
PB5	13710.5	212.5	130	210	125	53875	19125.301	0.35499399	
MORTERO PATRÓN+1% DE FIBRAS PET									
PC1	14236.5	204.5	130	203	124	51757	27570.7	0.53269509	0.454
PC2	13955.0	204	129.5	206.5	129	53056.5	16310.7	0.30742133	
PC3	14040.0	211	129	205	125.5	52946.5	20571.4	0.38853182	
PC4	13389.5	207	126	202.5	125	51394.5	30174.9	0.58712314	
PC5	13670.0	206	127	203	126	51740	17785.87	0.34375474	
MORTERO PATRÓN+1.5% DE FIBRAS PET									
PD1	13693.0	207.5	126.5	209	129.5	53314.25	9951.906	0.18666503	0.245
PD2	14273.5	209	124.5	207.5	126	52165.5	19432.7	0.37252015	
PD3	14192.0	217	123.5	210	127.5	53574.5	9509.72	0.1775046	
PD4	13745.0	210	126.5	205	126	52395	14273.9615	0.27242984	
PD5	13800.0	208	127	207	128	52912	11362.0774	0.21473536	



Dimensiones de la superficie de contacto del ensayo de adherencia por corte

Anexo 4. Detalle del ensayo a compresión de prismas de mampostería

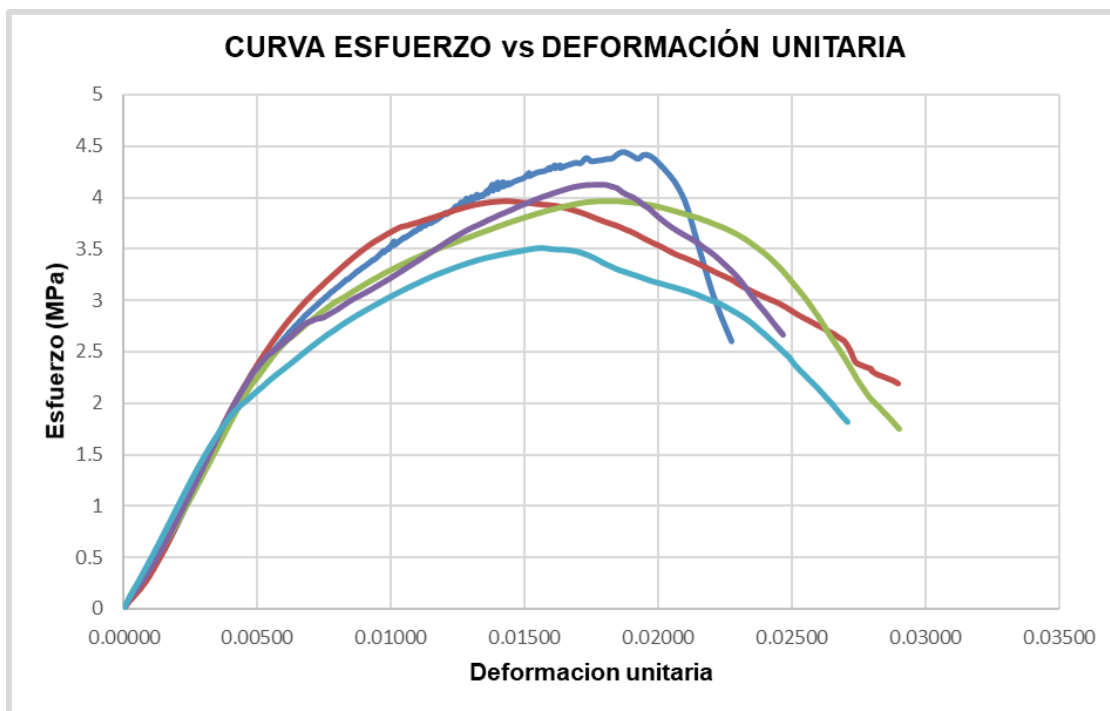
ENSAYO RESISTENCIA A LA MURETE 28 DÍAS AIRE								
INFORME DE ENSAYO								
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PRISMAS DE LADRILLOS								
NEC:2015								
ELABORADO POR:			Diana Andrade y Marcelo Morocho					
FECHA DE FABRICACIÓN:			19/9/2022					
FECHA DE ENSAYO:			17/10/2022					
Nombre de la muestra	Peso (gr)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Área (mm ²)	Altura (mm)	Carga Máxima (N)	Resistencia (Mpa)	Resistencia promedio (Mpa)
MORTERO PATRÓN								
PA1	15014	254	130	33020	257	146783.1913	4.445281384	4.00
PA2	14389	251	128	32128	250	127344.7439	3.963668573	
PA3	14569	252.5	128	32320	251.3	128075.2412	3.962724047	
PA4	14735	254.5	127.5	32448.75	249	133706.71	4.120550406	
PA5	14763	256	130	33280	252.75	116658.8296	3.505373486	
MORTERO PATRÓN+0.5% DE FIBRAS PET								
PB1	14284	255.5	129.5	33087.25	257.5	92921.0849	2.808365304	2.83
PB2	14866	260	133	34580	251	109687.1841	3.171983346	
PB3	14792	255.5	132	33726	257.5	87192.2196	2.585311617	
PB4	14943	258	129.5	33411	261.5	96292.173	2.882050013	
PB5	14068	254.5	131	33339.5	250	89603.4198	2.687605387	
MORTERO PATRÓN+1% DE FIBRAS PET								
PC1	15336	249	130	32370	265	105128.5628	3.247715873	3.21
PC2	14574	251.5	135	33952.5	255	124240.5469	3.659245914	
PC3	15068	248.5	129	32056.5	263	85641.8569	2.671591	
PC4	14586	247	129.5	31986.5	254	102825.4711	3.214652153	
PC5	14197	255.5	130.5	33342.75	255.5	108406.5494	3.251277996	
MORTERO PATRÓN+1.5% DE FIBRAS PET								
PD1	14800	260	131.5	34190	250.5	136607.1248	3.995528658	3.96
PD2	15066	250	130	32500	253.5	113887.7645	3.504238908	
PD3	14855	253	130	32890	250.5	124951.7251	3.79907951	
PD4	14982	255.5	130	33215	254.5	133532.8381	4.020257056	
PD5	14883	255	131	33405	252.5	149011.9486	4.460767807	



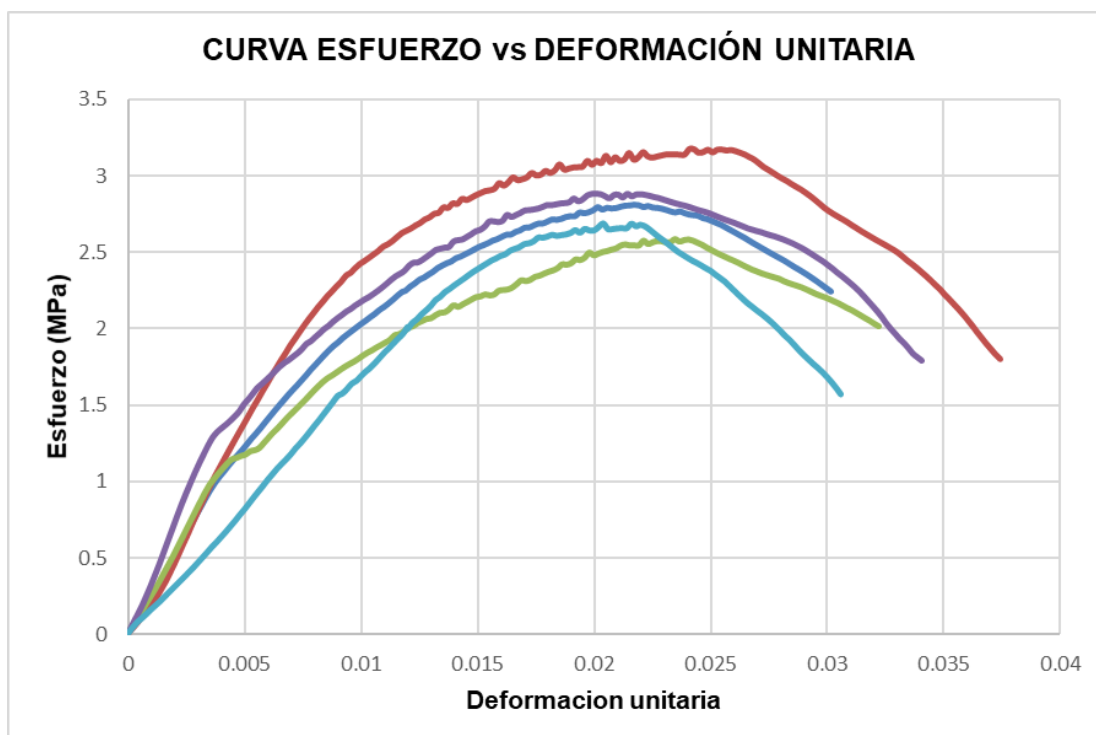
Dimensiones del prisma de mampostería

GRAFICOS DE LAS CURVAS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN DE LOS PRISMAS DE MAMPOSTERIA

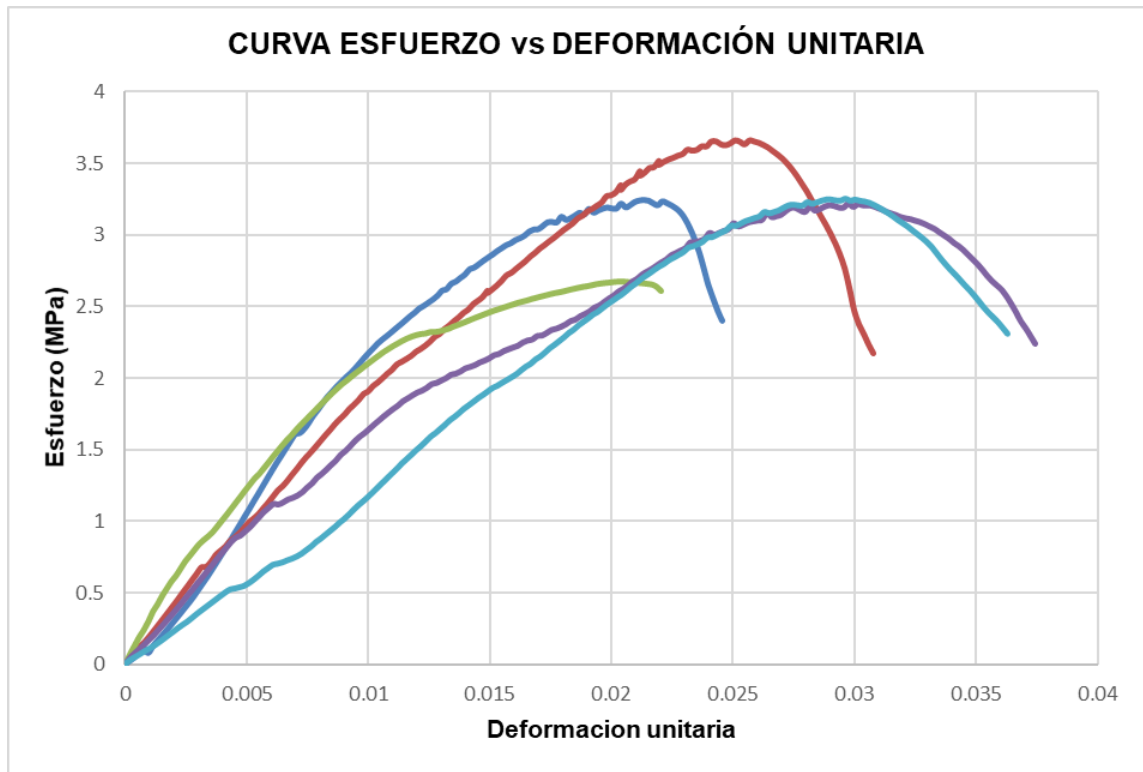
Anexo 5. Curvas de las 5 muestras con mortero patrón en prismas



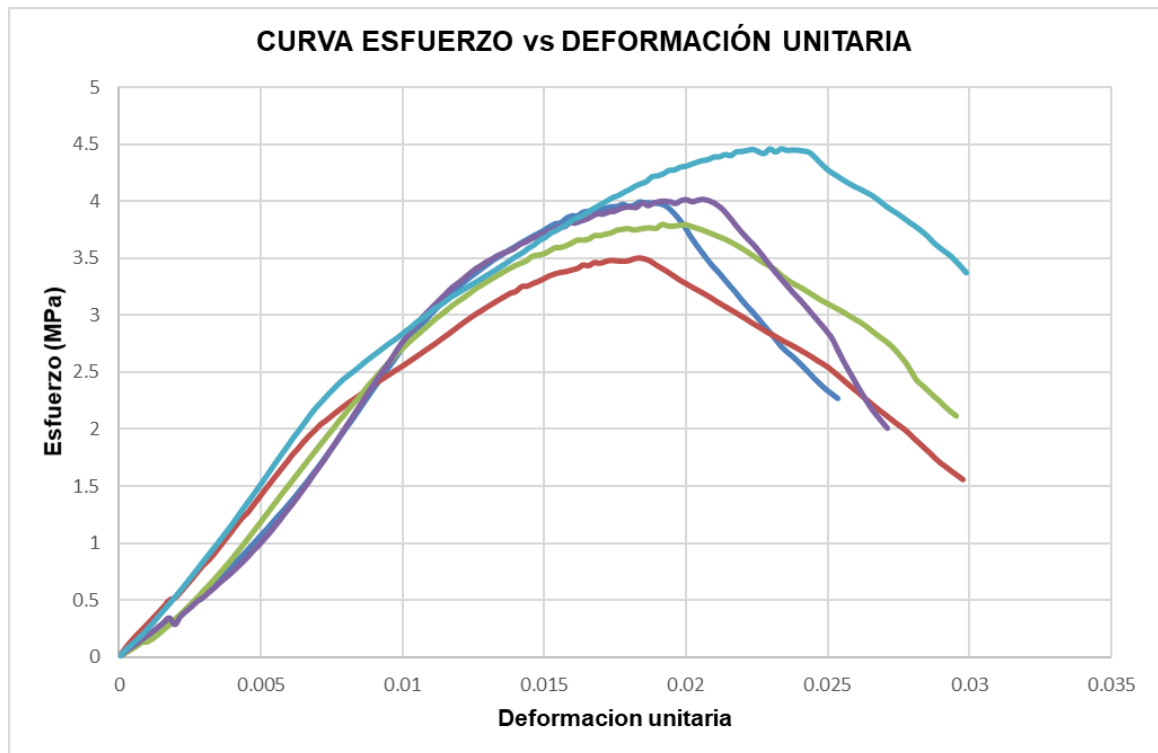
Anexo 6. Curvas de las 5 muestras con mortero patrón más el 0.5% de fibra PET en prismas



Anexo 7. Curvas de las 5 muestras con mortero patrón más el 1% de fibra PET en prismas

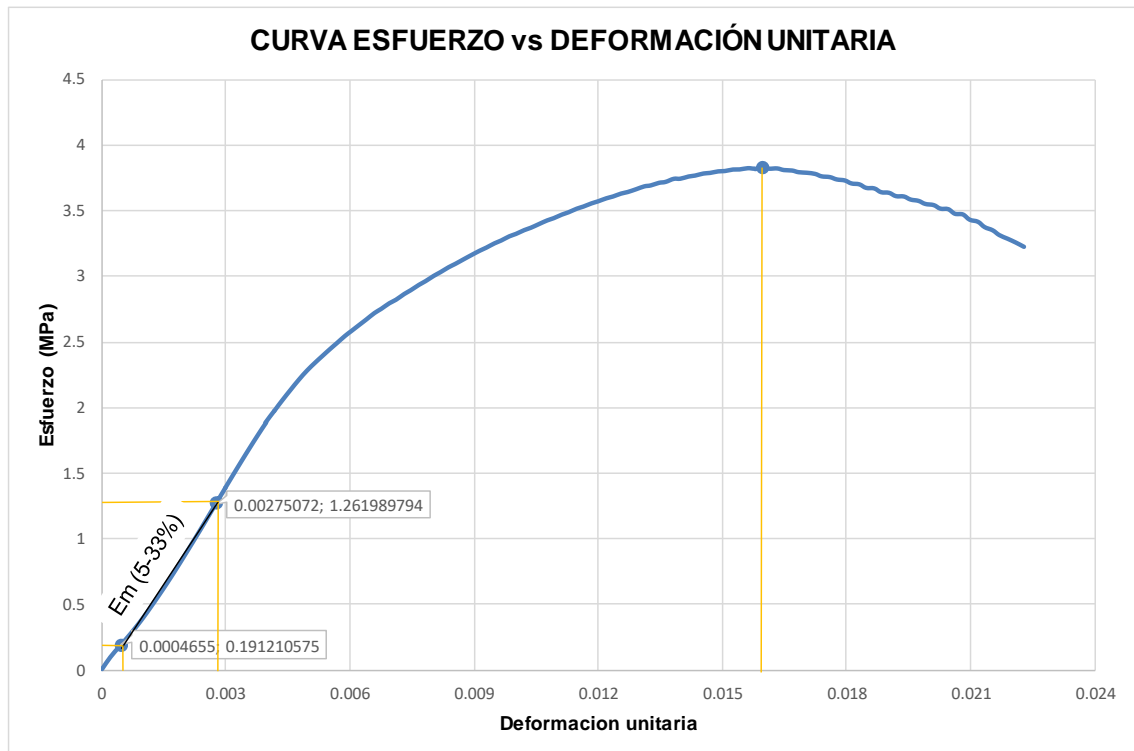


Anexo 8. Curvas de las 5 muestras con mortero patrón más el 1.5% de fibra PET en prismas

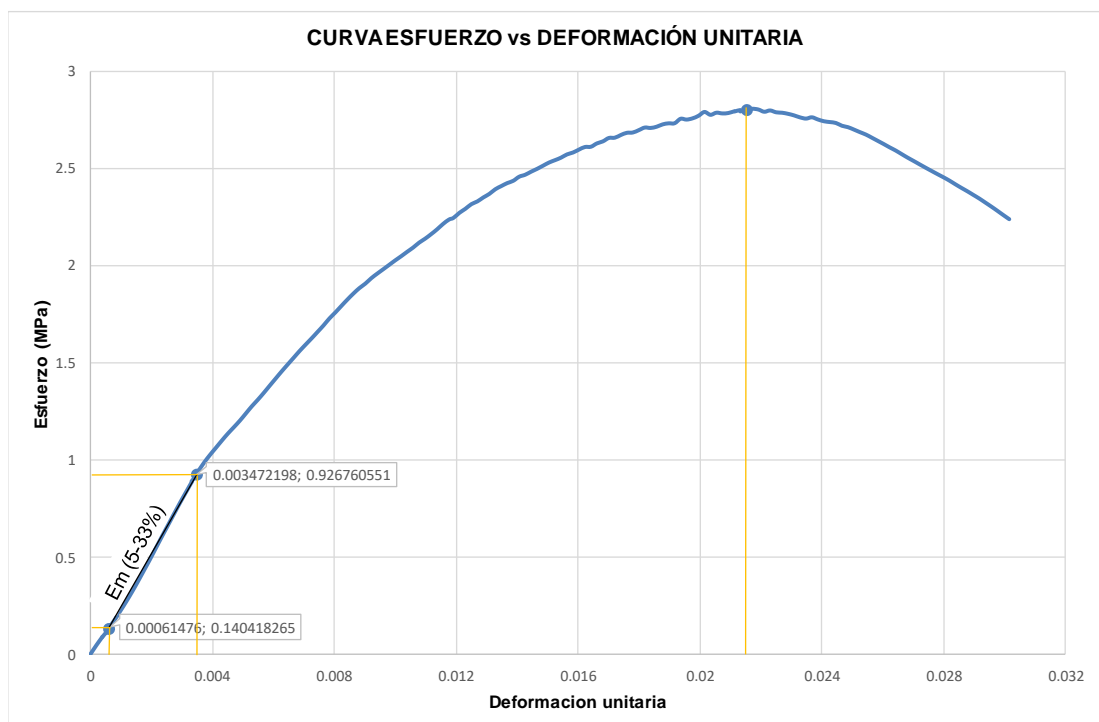


CURVAS PROMEDIO DEL ENSAYO DE LOS PRISMAS DE MAMPOSTERIA

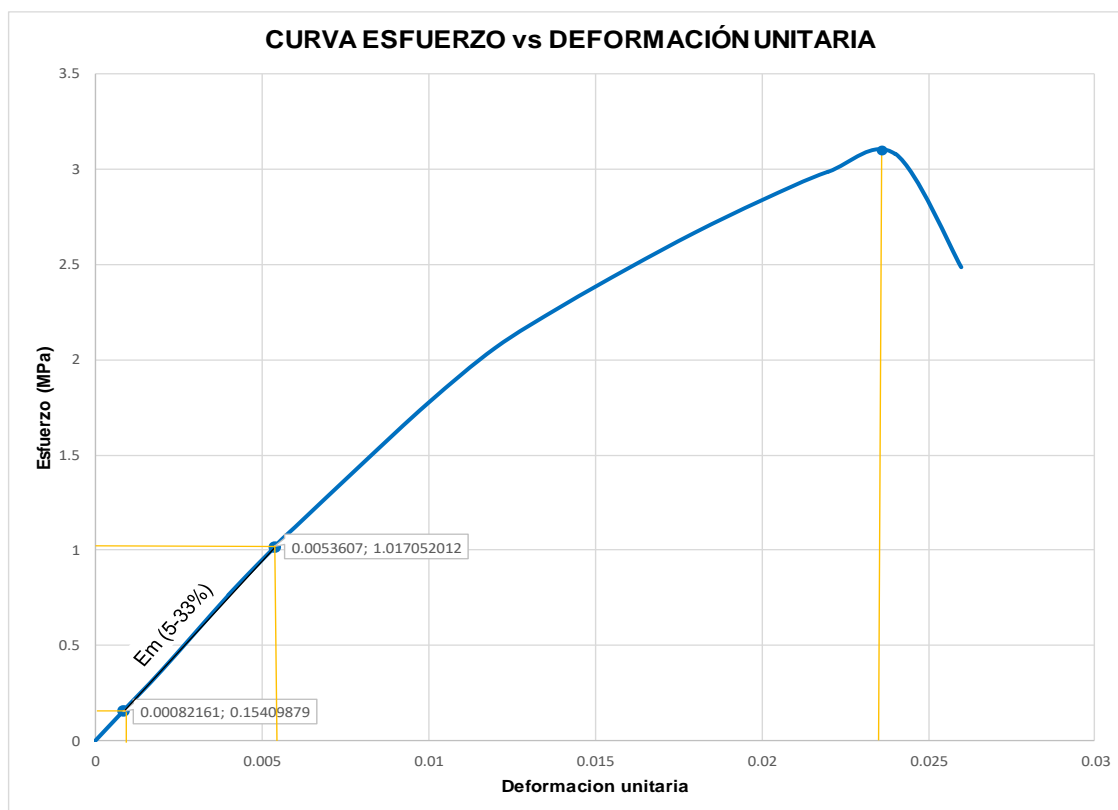
Anexo 9. Curva promedio del mortero patrón en prismas detallada la deformación unitaria



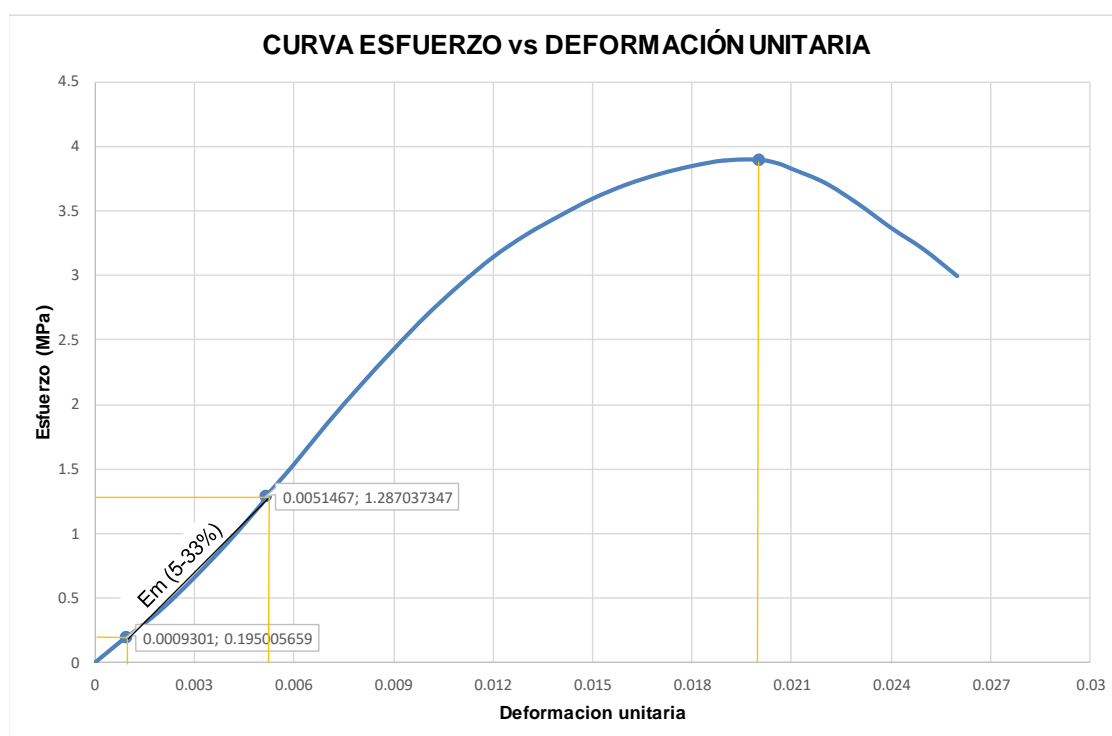
Anexo 10. Curva promedio del mortero patrón más el 0.5% de fibras PET en prismas detallada la deformación unitaria



Anexo 11. Curva promedio del mortero patrón más el 1% de fibras PET en prismas detallada la deformación unitaria



Anexo 12. Curva promedio del mortero patrón más el 1.5% de fibras PET en prismas detallada la deformación unitaria



PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA FIBRA DE PET

Anexo 13. Máquina prototipo de la fabricación de la fibra del PET



Anexo 14. Cabezal giratorio



Anexo 15. PET triturado



Anexo 16. Medidor de temperatura, 250 °C y fundición del PET



Anexo 17. Salida de las fibras



Anexo 18. *Fibra de PET final*



ELABORACIÓN DE LOS ENSAYOS

Anexo 19. *Peso del cubo de un ladrillo*



Anexo 20. *Plano de falla en un ladrillo*



Anexo 21. Refrendado de las muestras del ensayo de prismas de mampostería



Anexo 22. Curado de las muestras del ensayo de adherencia por corte



MORTERO PATRÓN

Anexo 23. Rotura de muestra a compresión del mortero patrón



Anexo 24. Rotura de la muestra patrón a flexión



Anexo 25. Rotura y falla del mortero patrón de la muestra de adherencia por corte

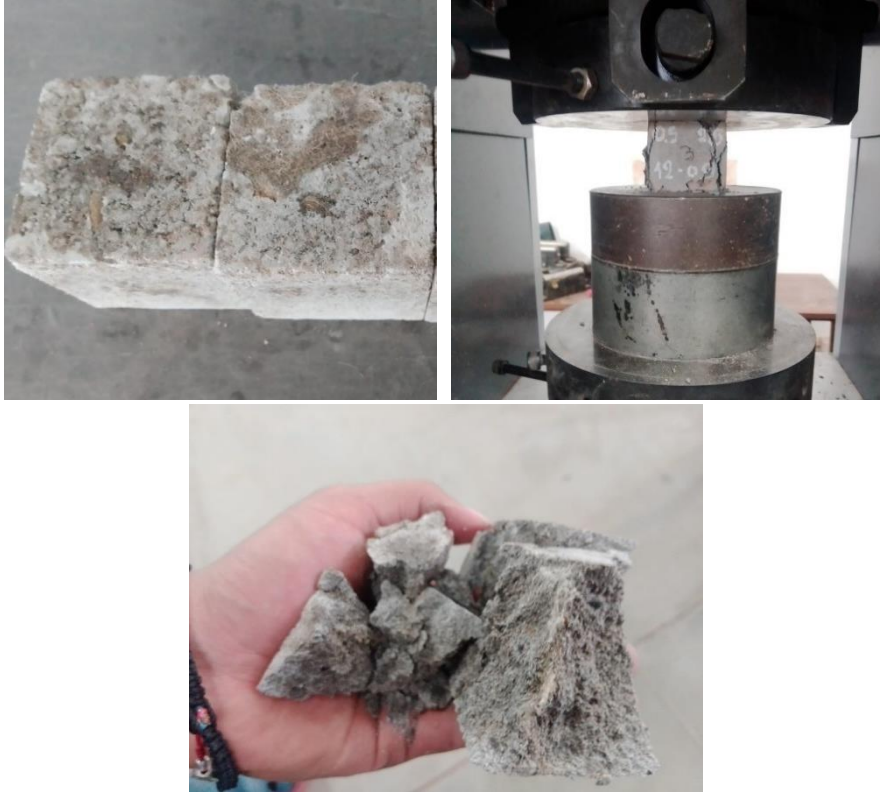


Anexo 26. Rotura de prismas de mampostería con *mortero patrón*



MORTERO PATRÓN MÁS 0.5% DE FIBRA PET

Anexo 27. Rotura de muestra a compresión del mortero con 0.5% de fibra



Anexo 28. Rotura de muestra a flexión con 0.5% de fibra



Anexo 29. Rotura y falla del mortero de la muestra de adherencia por corte con 0.5% de fibra



Anexo 30. Elaboración y rotura de prismas de mampostería con 0.5% de fibra



MORTERO PATRÓN MÁS 1% DE FIBRA PET

Anexo 31. Rotura de muestra a compresión del mortero con 1% de fibra



Anexo 32. Rotura de muestra a flexión con 1% de fibra



Anexo 33. Rotura y falla del mortero de la muestra de adherencia por corte con 1% de fibra



Anexo 34. Elaboración y rotura de prismas de mampostería con 1% de fibra



MORTERO PATRÓN MÁS 1.5% DE FIBRA PET

Anexo 35. Rotura de muestra a compresión del mortero con 1.5% de fibra



Anexo 36. Rotura de muestra a flexión con 1.5% de fibra



Anexo 37. Rotura y falla del mortero de la muestra de adherencia por corte con 1.5% de fibra




Anexo 38. Rotura de prismas de mampostería con 1.5% de fibra




AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Diana Cristina Andrade Cabrera** y **Wilmer Marcelo Morocho Castro** portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0106817356 y 0106227531. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Mortero con adición de fibra de PET aplicada como refuerzo en paredes de mampostería de ladrillo”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **11 de enero de 2023**

F: 

Diana Cristina Andrade Cabrera
0106817356

F: 

Wilmer Marcelo Morocho Castro
0106227531

www.ucacue.edu.ec