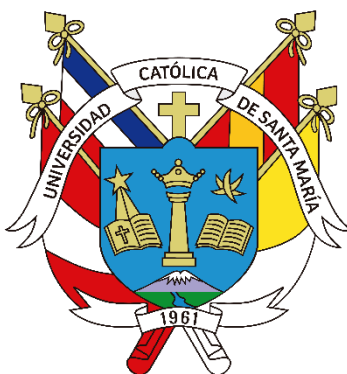


**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**



**Elaboración y evaluación de las propiedades de ecoladrillos al reemplazar  
de forma total el agregado grueso por HDPE-PET**

Tesis presentada por los Bachilleres:

**Romaña Vilca, Bryan Oscar**

**ORCID: 0009-0000-9059-6925**

**Pinto Bolivar, Milenka Camila**

**ORCID: 0009-0006-7762-0568**

para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

**Dr. Díaz Galdós, Miguel Renato**

**ORCID: 0000-0002-3948-2065**

Arequipa - Perú

2024

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

**INGENIERIA CIVIL**

**TITULACIÓN CON TESIS**

**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 05 de Noviembre del 2024

**Dictamen: 010092-C-EPIC-2024**

Visto el borrador del expediente 010092, presentado por:

**2018205181 - ROMAÑA VILCA BRYAN OSCAR**

**2018801942 - PINTO BOLIVAR MILENKA CAMILA**

Titulado:

**ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE ECOLADRILLOS AL REEMPLAZAR DE  
FORMA TOTAL EL AGREGADO GRUESO POR HDPE-PET**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

**INGENIERO CIVIL**

**72476554 - BUSTAMANTE MORA BORIS ANDRE  
DICTAMINADOR**



**46735424 - LOAYZA RODRIGUEZ JOSE GERMAN  
DICTAMINADOR**



**71256920 - TORRES ALMIRON JENIFFER CARLA  
DICTAMINADOR**



# Elaboración y evaluación de las propiedades de ecoladrillos al reemplazar de forma total el agregado grueso por HDPE-PET

## INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	6%
2	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	5%
3	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	1%
4	<a href="http://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
6	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="http://repositorio.uandina.edu.pe">repositorio.uandina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%

## DEDICATORIA

Para mi madre Lourdes y mi padre Alejandro, que son los pilares más importantes de mi vida, desde pequeño siempre me apoyaron en los momentos más difíciles de mi vida, yo no hubiera podido lograr nada de mis objetivos sin su amor y sostén.

A mis hermanos Alexander y Ana que siempre me aconsejaron y me apoyaron que han sido mi motivación para nunca rendirme en los estudios y llegar a ser un ejemplo.

**Romaña Vilca, Bryan Oscar**

A Dios por ser mi guía en todo este proceso y mi compañía en cada paso de mi vida

Trabajo dedicado a mi familia quienes me inspiran a ser mejor cada día y seguir alcanzando mis metas. Este logro es nuestro.

Para todos los amigos que hicimos en este proceso, por sus consejos y los buenos momentos que quedarán en mi memoria para siempre

**Pinto Bolivar, Milenka Camila**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios quien me ha guiado y me ha dado fortaleza para cumplir mis metas

A mi familia por la comprensión y apoyo constante a lo largo de mis estudios

Al Dr. Miguel Renato Diaz Galdós por su paciencia y disponibilidad para escuchar mis ideas en el desarrollo de mi tesis.

Al Ing. Boris Bustamante, Ing. Germán Loayza e Ing. Jennifer Torres por sus consejos y disponibilidad en el transcurso de la tesis

**Romaña Vilca, Bryan Oscar**

A mi querido papá, gracias a su dedicación y su apoyo he podido culminar esta tesis.

Agradezco a mi mamá por su amor y apoyo incondicional.

Agradezco a nuestros docentes por su paciencia y disposición para formarnos profesionalmente.

A nuestro asesor de tesis el Dr. Renato Diaz por su paciencia, apoyo y orientación

**Pinto Bolivar, Milenka Camila**

## RESUMEN

En la actualidad, el reciclaje y la búsqueda de soluciones sostenibles han ganado gran relevancia debido al avanzado deterioro ambiental, el cual ha provocado problemas como el cambio climático y la debilitación de la capa ozono lo que provoca desastres naturales en el mundo. Diversas investigaciones han encontrado la forma de aprovechar los residuos y transformarlos en materiales útiles para el sector de la construcción mediante procesos que permiten su reutilización adecuada.

Un ejemplo de ellos es el uso de plásticos como materia prima en bloques de plástico reciclado, conocidos como ecoladrillos, los cuales ofrecen ventajas tanto en la reducción de costos como en el ahorro de energía, sin afectar las propiedades del ecoladrillo. La gran cantidad de desechos plásticos generados anualmente por las botellas y envases que contienen Polietilentereftalato (PET) y Polietileno de alta densidad (HDPE), facilita la disponibilidad de material para continuar con estas investigaciones y realizar pruebas en laboratorio.

Por lo tanto, el impacto ambiental generado por la construcción que aprovecha generalmente los recursos de origen natural se podría reducir significativamente mediante el aumento en el uso de materiales sostenibles, utilizando eficientemente el reciclaje en beneficio del mundo.

En esta investigación se reutilizó el Polietileno –Tereftalato (PET) y High Density Polyethylene (HDPE) como materia prima de los ecoladrillos, evaluando, analizando y determinando sus propiedades físicas y mecánicas para que cumplan con los requerimientos establecidos según la norma E-0.70.

**Palabras Claves:** PET, HDPE , albañilería

## ABSTRACT

Currently, recycling and the search for sustainable solutions have gained great relevance due to advanced environmental deterioration, which has caused problems such as climate change and the weakening of the ozone layer, which causes natural disasters in the world. Various investigations have found a way to take advantage of waste and transform it into useful materials for the construction sector through processes that allow their appropriate reuse.

An example of these is the use of plastics as raw materials in recycled plastic blocks, known as ecobricks, which offer advantages in both cost reduction and energy savings, without affecting the properties of the ecobricks. The large amount of plastic waste generated annually by bottles and containers containing Polyethylene Terephthalate (PET) and High Density Polyethylene (HDPE), facilitates the availability of material to continue these investigations and perform laboratory tests.

Therefore, the environmental impact generated by construction that generally takes advantage of resources of natural origin could be significantly reduced by increasing the use of sustainable materials, efficiently using recycling for the benefit of the world.

In this research, Polyethylene-Terephthalate (PET) and High-Density Polyethylene (HDPE) are reused as raw materials for eco-bricks, evaluating, analyzing and determining their physical and mechanical properties so that they meet the requirements established according to the E-0.70 standard.

**Keywords:** PET, HDPE , masonry

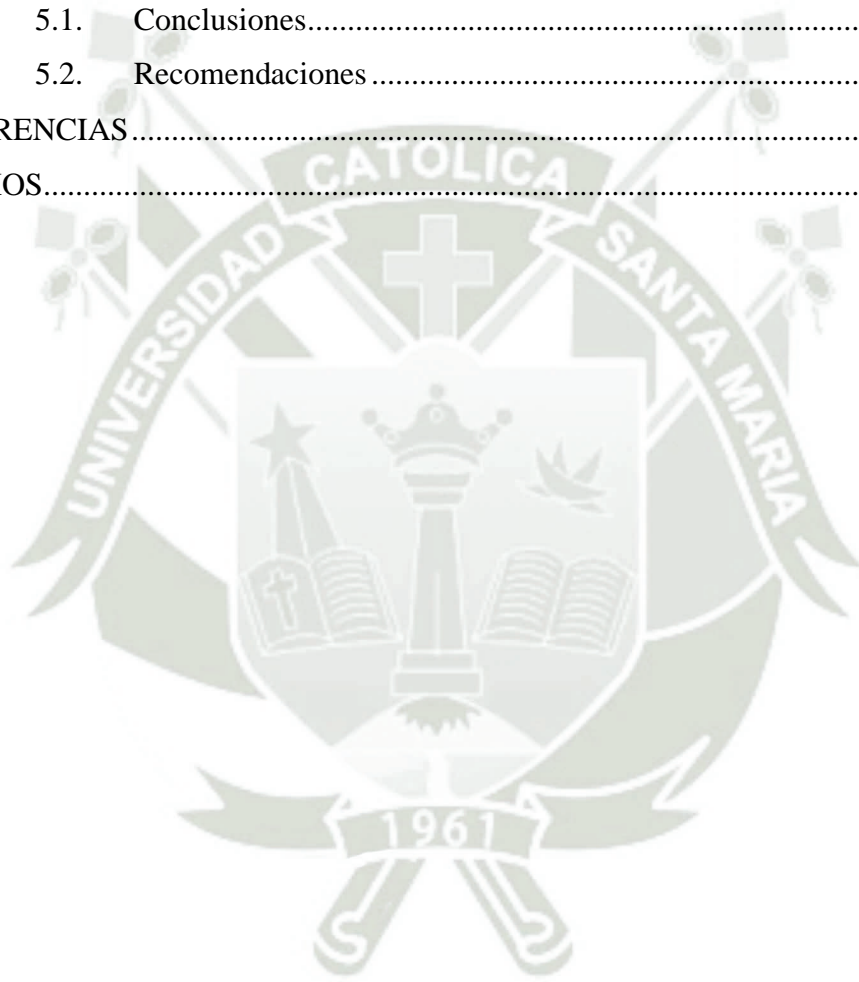
## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	2
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Planteamiento del problema y su relevancia .....	3
1.1.1. Relevancia a nivel regional .....	4
1.1.2. Relevancia a nivel nacional .....	5
1.1.3. Alcances .....	5
1.2. Justificación de la investigación .....	8
1.2.1. Ambiental .....	8
1.2.2. Social .....	9
1.2.3. Económica .....	9
1.2.4. Tecnológico .....	10
1.2.5. Político / Institucional .....	11
1.3. Hipótesis .....	11
1.3.1. Hipótesis General .....	11
1.3.2. Hipótesis Específicas.....	11
1.4. Objetivos de la investigación.....	12
1.4.1. Objetivo General .....	12
1.4.2. Objetivos Específicos .....	12
1.5. Variables e indicadores.....	13
1.5.1. Indicadores y análisis de variables independientes y dependientes ....	13
CAPÍTULO II .....	14
2. FUNDAMENTO TEÓRICO .....	15
2.1. Estado del arte .....	15
2.1.1. Internacionales.....	15
2.1.2. Nacionales .....	17
2.1.3. Locales.....	19
2.2. Marco teórico.....	20

2.2.1. Unidades de albañilería .....	20
2.2.2. Propiedades físicas .....	24
2.2.3. Propiedades Mecánicas .....	25
2.2.4. Repercusión ecológica en la elaboración de ladrillos de arcilla.....	26
2.2.5. Plástico .....	26
2.2.6. Reciclaje de plástico .....	27
2.2.7. Componentes de ecoladrillos.....	28
2.3. Marco Legal.....	32
2.3.1. Norma E.070 .....	32
2.3.2. Norma técnica peruana-NTP 339.601. Unidades de albañilería. Metodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto .....	33
2.3.3. Ensayos de laboratorio .....	33
CAPÍTULO III.....	42
3. METODOLOGÍA .....	43
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	43
3.1.1. Tipo de investigación .....	43
3.1.2. Nivel de investigación .....	43
3.1.3. Enfoque .....	43
3.2. Métodos de investigación.....	44
3.2.1. Área de estudio.....	44
3.2.2. Materiales y equipos.....	49
3.2.3. Recolección de datos .....	49
3.2.4. Análisis económico .....	52
CAPÍTULO IV.....	53
4. RESULTADOS.....	54
4.1. Propiedades de los agregados .....	54
4.1.1. Cemento IP .....	54
4.1.2. Agregado Fino.....	54
4.1.3. Densidad Aparente .....	54
4.1.4. Plástico Polietileno- Tereftalato (PET) .....	55
4.1.5. Polietileno de alta densidad (HDPE).....	56
4.2. Etapa 1-Primera dosificación.....	56
4.2.1. Número total de la muestra .....	57

4.2.2.	Ensayo de variación de dimensiones a los 7 días .....	61
4.2.3.	Ensayo de alabeo .....	71
4.2.4.	Ensayo de resistencia a compresión simple a los 7 días (136 kg/cm <sup>2</sup> )	74
4.2.5.	Ensayo de variación de dimensiones a los 28 días .....	79
4.2.6.	Ensayo de alabeo a los 28 días .....	89
4.2.7.	Ensayo de resistencia a compresión simple a los 28 días (180 kg/cm <sup>2</sup> )	92
4.3.	Etapa 2-Optimización de dosificaciones .....	97
4.3.1.	Ensayo de variación de dimensiones a los 7 días .....	99
4.3.2.	Ensayo de alabeo .....	106
4.3.3.	Ensayo de resistencia a compresión simple a los 7 días (136 kg/cm <sup>2</sup> )	108
4.3.4.	Ensayo de variación de dimensiones a los 28 días .....	111
4.3.5.	Ensayo de alabeo .....	118
4.3.6.	Ensayo de resistencia a compresión simple a los 28 días (180 kg/cm <sup>2</sup> )	120
4.4.	Etapa 3. Pilas y Muretes .....	123
4.4.1.	Fabricación y ensayo de pilas.....	123
4.4.2.	Dosificación A´ .....	123
4.4.3.	Dosificación B´ .....	127
4.4.4.	Fabricación y ensayo de muretes.....	130
4.4.5.	Dosificación A.....	130
4.4.6.	Dosificación B.....	132
4.5.	Etapa 3. Ensayo de absorción y succión de los ladrillos .....	133
4.5.1.	Ensayo de succión .....	133
4.5.2.	Ensayo de absorción .....	134
4.6.	Análisis de Costos Unitarios.....	135
4.7.	Elaboración de un ecoladrillo de PET Y HDPE.....	135
4.7.1.	Materiales .....	135
4.7.2.	Mano de obra y rendimientos .....	135
4.7.3.	Equipos y herramientas .....	135
4.7.4.	Análisis de precios unitarios.....	135
4.8.	Análisis comparativo de costos .....	137

4.8.1. Muro con Ecoladrillo PET y HDPE .....	137
4.8.2. Muro con Ladrillo de Arcilla Artesanal .....	138
4.8.3. 5.2.3 Muro de bloqueta de concreto .....	139
4.8.4. Muro King Kong 18 huecos .....	141
4.8.5. Resumen de Análisis de Precios Unitarios.....	142
CAPÍTULO V .....	143
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	144
5.1. Conclusiones.....	144
5.2. Recomendaciones .....	147
REFERENCIAS.....	148
ANEXOS.....	154



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Norma E070 Clase de unidad albañilería para fines estructurales .....	7
<b>Tabla 2.</b> Cuadro de variables .....	13
<b>Tabla 3.</b> Factores de corrección de esbeltez de NTP E.070.....	39
<b>Tabla 4.</b> Porcentajes y factores de confianza.....	46
<b>Tabla 5.</b> Propiedades del Cemento Yura Tipo IP .....	54
<b>Tabla 6.</b> Cuadro de Resultados de la Densidad utilizando la NTP 400.021 .....	55
<b>Tabla 7.</b> Cuadro de propiedades del PET .....	55
<b>Tabla 8.</b> Cuadro de propiedades del HDPE.....	56
<b>Tabla 9.</b> Cuadro de porcentajes de dosificación .....	58
<b>Tabla 10.</b> Volumen .....	59
<b>Tabla 11.</b> Volumen de mezcla en m <sup>3</sup> .....	59
<b>Tabla 12.</b> Densidad .....	59
<b>Tabla 13.</b> Dosificaciones de la mezcla .....	60
<b>Tabla 14.</b> Variación de dimensiones (altura) a los 7 días primera dosificación añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%- 30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.....	61
<b>Tabla 15.</b> Variación de dimensiones (Largo) a los 7 días primera dosificación añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%- 30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.....	64
<b>Tabla 16.</b> Variación de dimensiones (ancho) a los 7 días primera dosificación añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%- 30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.....	67
<b>Tabla 17.</b> Resumen y clasificación de muestras .....	70
<b>Tabla 18.</b> Ensayo de alabeo .....	71

<b>Tabla 19.</b> Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%-30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.....	74
<b>Tabla 20.</b> Variación de dimensiones (altura ) a los 28 días primera dosificación añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%-30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.....	79
<b>Tabla 21.</b> Variación de dimensiones (largo) a los 28 días primera dosificación añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%-30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.....	82
<b>Tabla 22.</b> Variación de dimensiones (ancho) a los 28 días primera dosificación añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%-30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.....	85
<b>Tabla 23.</b> Resumen y clasificación de muestras .....	88
<b>Tabla 24.</b> Ensayo de alabeo .....	89
<b>Tabla 25.</b> Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%-30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.....	92
<b>Tabla 26.</b> Cuadro de porcentajes de dosificación .....	97
<b>Tabla 27.</b> Volumen de mezcla en m <sup>3</sup> .....	97
<b>Tabla 28.</b> Dosificaciones de mezcla en Kg.....	98
<b>Tabla 29.</b> Variación de dimensiones (altura) a los 7 días primera dosificación con 25% de cemento, 15% de arena gruesa añadiendo PET (20%-50%) y HDPE (5%-30%) variando cada 2.5%.....	99
<b>Tabla 30.</b> Variación de dimensiones (largo) a los 7 días segunda dosificación con 25% de cemento, 15% de arena gruesa añadiendo PET (20%-50%) y HDPE (5%-30%) variando cada 2.5%.....	101
<b>Tabla 31.</b> Variación de dimensiones (ancho) a los 7 días segunda dosificación con 25% de cemento, 15% de arena gruesa añadiendo PET (20%-50%) y HDPE (5%-30%) variando cada 2.5%.....	103

<b>Tabla 32.</b> Resumen y clasificación de muestras .....	105
<b>Tabla 33.</b> Ensayo de alabeo .....	106
<b>Tabla 34.</b> Resultados del ensayo de resistencia a compresión simple a los 7 días con cemento de 25%, arena gruesa de 15% añadiendo PET (20%-50%) y HDPE (5%-30%) variando cada 2.5% .....	108
<b>Tabla 35.</b> Variación de dimensiones (altura) a los 28 días segunda dosificación variando la dosificación del PET Y HDPE cada 2.5% con 25% de Cemento y 15% de Arena Gruesa.....	111
<b>Tabla 36.</b> Variación de dimensiones (largo) a los 28 días segunda dosificación variando la dosificación del PET Y HDPE cada 2.5% con 25% de Cemento y 15% de Arena Gruesa.....	113
<b>Tabla 37.</b> Variación de dimensiones (ancho) a los 28 días segunda dosificación variando la dosificación del PET Y HDPE cada 2.5% con 25% de Cemento y 15% de Arena Gruesa.....	115
<b>Tabla 38.</b> Resumen y clasificación de muestras .....	117
<b>Tabla 39.</b> Ensayo de alabeo .....	118
<b>Tabla 40.</b> Resultados del ensayo de resistencia a compresión simple a los 28 días con cemento de 25%, arena gruesa de 15% añadiendo PET (20%-50%) y HDPE (5%-30%) variando cada 2.5% .....	120
<b>Tabla 41.</b> Tablas del factor de incremento $f'm$ .....	124
<b>Tabla 42.</b> Resultados del ensayo de compresión de pilas con mortero (1:5) de la dosificación A' teniendo como resistencia requerida según norma E.070 85 kg/cm <sup>2</sup> .....	125
<b>Tabla 43.</b> Resultados del ensayo de compresión de pilas con mortero (1:4) de la dosificación A' teniendo como resistencia requerida según norma E.070 85 kg/cm <sup>2</sup> .....	126
<b>Tabla 44.</b> Resultados del ensayo de compresión de pilas con mortero (1:5) de la dosificación B' teniendo como resistencia requerida según norma E.070 85 kg/cm <sup>2</sup> .....	128

<b>Tabla 45.</b> Resultados del ensayo de compresión de pilas con mortero (1:4) de la dosificación B' teniendo como resistencia requerida según norma E.070 85kg/cm <sup>2</sup> .....	129
<b>Tabla 46.</b> Tabla de los factores .....	130
<b>Tabla 47.</b> Resultados del ensayo de compresión diagonal de muretes con mortero (1:5) de la dosificación A' teniendo como resistencia requerida según norma E.070 9.2 kgf/cm <sup>2</sup> .....	131
<b>Tabla 48.</b> Resultados del ensayo de compresión diagonal de muretes con mortero (1:4) de la dosificación A' teniendo como resistencia requerida según norma E.070 9.2 kgf/cm <sup>2</sup> .....	131
<b>Tabla 49.</b> Resultados del ensayo de compresión diagonal de muretes con mortero (1:5) de la dosificación B' teniendo como resistencia requerida según norma E.070 9.2 kgf/cm <sup>2</sup> .....	132
<b>Tabla 50.</b> Resultados del ensayo de compresión diagonal de muretes con mortero (1:4) de la dosificación B' teniendo como resistencia requerida según norma E.070 9.2 kgf/cm <sup>2</sup> .....	132
<b>Tabla 51</b> <i>Resultados del ensayo de succión</i> .....	133
<b>Tabla 52.</b> Resultados del ensayo de Absorción .....	134
<b>Tabla 53.</b> Segunda dosificación .....	135
<b>Tabla 54.</b> Fabricación del ecoladrillo PET-HDPE con las dosificaciones del diseño A' .....	136
<b>Tabla 55.</b> Muro De Ecoladrillo PET -HDPE Soga Con Mezcla 1:4 E=1.5 Cm ...	138
<b>Tabla 56.</b> Muro Ladrillo Artesanal Soga Con Mezcla 1:4 E=1 Cm .....	139
<b>Tabla 57.</b> Muro De Bloqueta De Concreto Soga Mezcla 1:4 E=1 Cm .....	140
<b>Tabla 58.</b> Muro De Ladrillo Kk Tipo V Soga 1:4 E=1.5 Cm .....	141
<b>Tabla 59.</b> Resumen de Análisis de Precios Unitarios .....	142

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Ilustración 1</b> Norma E070 Clase de unidad albañilería para fines estructurales.....	7
<b>Ilustración 2.</b> Ensayo de tracción por flexión .....	34
<b>Ilustración 3.</b> Bloque sometido a ensayo de compresión.....	36
<b>Ilustración 5.</b> Flujograma de producción de ladrillos ecológicos .....	48
<b>Ilustración 6.</b> Propiedades del Cemento Yura Tipo IP.....	54
<b>Ilustración 7.</b> Tabla de relación a/c .....	56
<b>Ilustración 8.</b> Curvas de resistencia a la compresión y la resistencia a/c.....	57
<b>Ilustración 9.</b> Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días .....	77
<b>Ilustración 10.</b> Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%-30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.....	95
<b>Ilustración 11.</b> Resultados del ensayo de resistencia a compresión simple a los 7 días con cemento de 25%, arena gruesa de 15% añadiendo PET (20%-50%) y HDPE (5%-30%) variando cada 2.5%.....	110
<b>Ilustración 12.</b> Resultados del ensayo de resistencia a compresión simple a los 28 días con cemento de 25%, arena gruesa de 15% añadiendo PET (20%-50%) y HDPE (5%-30%) variando cada 2.5%.....	122
<b>Ilustración 13.</b> Pilas dosificación A' .....	123
<b>Ilustración 15.</b> Ensayo de compresión de pilas .....	127
<b>Ilustración 17.</b> Polietileno de alta densidad (HDPE) peletizado.....	156
<b>Ilustración 18.</b> Tereflalato de polietileno .....	156
<b>Ilustración 19.</b> Mezcla de concreto adicionando HDPE Y PET .....	157
<b>Ilustración 20.</b> Preparación de las dosificaciones.....	157
<b>Ilustración 21.</b> Rotura de ecoladrillos Primera dosificación, diseños 14-11 a 7 días. ....	158
<b>Ilustración 22.</b> Ecoladrillos después del ensayo de resistencia a 28 días.....	158
<b>Ilustración 23.</b> Ecoladrillos a 7 días, después del fraguado (Primera dosificación 1,2,3,4,8,12,13,15 y 16).....	159
<b>Ilustración 24.</b> Ecoladrillos después del ensayo de resistencia a 7 días (Segunda dosificación 5).....	159
<b>Ilustración 25.</b> Ecoladrillos después del ensayo de resistencia a 7 días (Segunda dosificación dosificación 3) .....	160

<b>Ilustración 26.</b> Ecoladrillo diseño 2 Segunda dosificación. Cemento 25%, HDPE 7.5%, PET 47.5%, A gruesa 15% .....	160
<b>Ilustración 27.</b> Ecoladrillo diseño 3 Segunda dosificación. Cemento 25%, HDPE 10%, PET 45%, A gruesa 15% .....	161
<b>Ilustración 28.</b> Ensayo de succión en muestra 1 .....	161
<b>Ilustración 29.</b> Ensayo de succión en muestra 2 .....	162
<b>Ilustración 30.</b> Ensayo de variación de dimensiones en muestra 1 .....	162
<b>Ilustración 31 .</b> Ensayo de variación de dimensiones en muestra 1 .....	163
<b>Ilustración 33.</b> Ensayo de alabeo en muestra 1 .....	163
<b>Ilustración 33.</b> Ensayo de compresión de pilas .Dosificación Tipo 1 .....	164
<b>Ilustración 34.</b> Ensayo de compresión de pilas. Dosificación Tipo 2 .....	164
<b>Ilustración 35.</b> Elaboración de muretes.....	165
<b>Ilustración 36.</b> Elaboración de muretes y pilas .....	165
<b>Ilustración 37.</b> Ensayo de compresión de muretes. Dosificación 1, Mortero 1:4 .....	166
<b>Ilustración 38.</b> Ensayo de compresión de muretes. Dosificación 1, Mortero 1:4 .....	166

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia .....	154
Anexo 2. Panel fotográfico.....	156



## INTRODUCCIÓN

El objetivo de la presente tesis es usar el HDPE-PET como reemplazo del agregado fino para el diseño viable de un nuevo eco ladrillo para albañilería que cumpla con la normativa, a través de su evaluación estructural buscando opciones que mejoren la resistencia sin aumentar significativamente los costos.

El uso de PET y HDPE se está explorando debido a que mejora las propiedades mecánicas (resistencia a la tracción y la tenacidad) lo que puede resultar en una mayor durabilidad y capacidad de carga de las estructuras de concreto.

Otro beneficio del PET y el HDPE son materiales livianos en comparación con otros refuerzos tradicionales como el acero, lo que puede facilitar el manejo y la instalación en el sitio de construcción.

También tienen resistencia a la corrosión a diferencia del acero, el PET y el HDPE no se corroen, lo que puede ser beneficioso en entornos corrosivos como áreas costeras o donde el concreto esté expuesto a productos químicos agresivos.

Se llevará a cabo una investigación de tipo cuantitativa, ya que se emplearán medidas numéricas para analizar las variables, a su vez descriptiva, se describirán las propiedades de cada tipo de muestra.

Este análisis debería ofrecer orientación práctica para el uso de PET y HDPE en ecoladrillos, teniendo en cuenta tanto la mejora de la resistencia como la viabilidad económica.



## CAPÍTULO I

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del problema y su relevancia

El inadecuado manejo de los residuos sólidos inorgánicos actualmente provoca daños serios en el medio ambiente, sobre todo el sector de la construcción que, de los más contaminantes en el mundo, por eso se está buscando alternativas para reutilizar estos residuos sólidos inorgánicos.

En el Perú, según las cifras del Ministerio del Ambiente se generaron casi 8 millones de toneladas en residuos sólidos, de los cuales el 76.4% tenía potencial para ser reutilizables, pero solo se aprovechó el 1% de residuos sólidos inorgánicos y orgánicos (Echevarría Garro, 2017). El plástico es un material inorgánico con el que nos encontramos a menudo y que suele encontrarse en envoltorios de alimentos o herramientas que suelen desecharse después de su uso.

El principal motivo es que no hay un óptimo manejo de los mismos por lo que se busca reducir y reutilizar estos residuos para así disminuir la polución del ambiente, en especial los plásticos que son uno de los residuos inorgánicos que más se consumen globalmente y que se biodegradan de manera lenta ya que, una botella de plástico compuesta por tereftalato de polietileno (PET) se descompone aproximadamente en unos 150 años y el plástico polietileno de alta densidad (HDPE) tiene una degradación más lenta que superan los 150 años.

Debido al gran aumento de residuos plásticos en el mundo, el uso de plásticos triturados ha conocido un interés creciente como materiales reciclados en la construcción de ingeniería civil.

Su incorporación de residuos proporciona ventajas adicionales en términos ambientales y potenciales consideraciones económicas.

Si se vierten plásticos en el suelo, dañarán la fertilidad del suelo y bloquearán la tasa de agua en el suelo, mientras que, si se queman los desechos plásticos, los gases tóxicos resultantes de la quema serán dañinos para los seres vivos.

Cuando se vierten plásticos en las aguas, las sustancias químicas presentes en los plásticos dañarán el ecosistema marino.

Se ha investigado el desarrollo de concreto con agregados no convencionales, como poliestireno, tereftalato de polietileno y otros materiales plásticos que mejoren y eleven las propiedades mecánicas del concreto y reducir costos.

El plástico de un ecoladrillo es muy duradero y nunca se descompondrá, lo cual significa que es un material a tomar en cuenta. Producimos un exceso de plástico y lo desechamos de manera insostenible (Vargas Saire, 2021).

Los ecos ladrillos también evitan que el plástico sea incinerado, cuando el plástico se quema, libera CO<sub>2</sub>, generando emisiones de carbono y contribuyendo al calentamiento global. El uso de estos residuos plásticos en el hormigón contribuirá a la sostenibilidad del diseño del hormigón y del entorno natural.

A día de hoy, la fabricación de ladrillos de arcilla cocida genera un gran impacto ambiental ya que al fabricarlos se utilizan llantas, madera, leña entre otros y al quemarlos expulsan gases a la atmósfera dañando el medio ambiente por ese motivo se propone reciclar el PET Y HDPE al momento de fabricar ladrillos.

Pero recientemente, la construcción en el Perú está creciendo rápidamente, por lo que la demanda de materiales está aumentando. Como resultado, también aumenta la necesidad de materiales innovadores en sustitución del ladrillo rojo.

El ladrillo hecho con hormigón es un material que se usa en muros no estructurales. El cemento es el material esencial en los ladrillos de hormigón, sin embargo, el costo del cemento va incrementando por lo que se busca alternativas para sustituirlos como el tereftalato de polietileno (PET) o polietileno de alta densidad (HDPE) para así fabricar un ladrillo óptimo y más barato.

### ***1.1.1. Relevancia a nivel regional***

La importancia de los eco ladrillos a nivel de la región de Arequipa es que se pueden usar en todo tipo de proyectos de construcción sostenibles, lo que los convierte en una excelente manera de deshacerse de los desechos plásticos que, de lo contrario, terminarían en un vertedero y, potencialmente, en el mar.

Las características que hacen que el plástico sea tan difícil de desechar (su durabilidad, longevidad y resistencia al agua) también lo convierten en un excelente material de construcción.

A medida que se ve la cantidad de basura que se echa en un ecoladrillo, se ve la cantidad que se está tirando.

Esto puede ayudar a reducir lo que se está comprando y, en última instancia, producir menos desperdicio.

La mayor ventaja del eco ladrillo a nivel regional es que toman algo que de otro modo tendría un impacto nocivo para el ambiente, y lo convierten en algo que beneficia a las comunidades Arequipeñas.

### ***1.1.2. Relevancia a nivel nacional***

Entre la gran cantidad de retos que afronta el Perú, además del cambio climático, está el manejo de la basura, en especial de los plásticos. En pocas palabras, Perú produce mucha basura y no tiene la infraestructura en la mayoría de los lugares para desecharla adecuadamente o darle un rehusó.

Un ladrillo ecológico abarca una gran cantidad de plásticos como el PET y el HDPE que son los plásticos más usados internacionalmente. A menudo se habla de esto como una solución única que ayuda a abordar la contaminación y las botellas de plástico PET uso único. Las botellas recolectadas (PET) y productos de limpieza (HDPE) pueden ser usados en la construcción, por ejemplo, eco ladrillo como alternativa a la contaminación plástica y hacer un ecoladrillo es simple y no requiere ninguna habilidad avanzada.

Sin embargo, hay algunas consideraciones importantes a tener en cuenta. Por ejemplo, solo pueden entrar plásticos limpios, secos y no reciclables. Sin embargo, si se usan en la construcción, pueden ser parte de un muro de hormigón que tiene emisiones de carbono significativamente más altas que los materiales comparables.

Además, muchos plásticos son sensibles a la luz ultravioleta y se descomponen cuando se exponen al sol. Por lo tanto, el uso de plástico podría no ser una estructura de construcción ideal para modelos al aire libre. Entonces, los ladrillos ecológicos son una gran idea para abordar la contaminación plástica.

### ***1.1.3. Alcances***

El ámbito de este estudio abarca desde la creación y validación de combinaciones de diseño mediante la incorporación de residuos de plástico HDPE -PET en sustitución del

agregado grueso, en diferentes proporciones, con el fin de producir un concreto de alta resistencia, sostenibilidad ambiental, viabilidad técnica y económica. El estudio se extiende hasta lograr la formulación óptima del concreto.

Para asegurar que los ecoladrillos y el plástico que contienen sean seguros y protegidos, existen pautas, estándares y principios de construcción.

Al seguir estas mejores prácticas, se puede asegurar que las aplicaciones de ecoladrillo mantienen el plástico y cumplen con las exigencias estructurales de una edificación multifamiliar

El peso frente al volumen de un ladrillo de botella es un buen indicador de su calidad; así que siempre se debe pesar calculando la densidad del ecoladrillo, este proceso agregará una gran contribución al esfuerzo global de reutilización de plástico.

Como conclusión, se determinarán tanto las ventajas como las posibles desventajas asociadas con la utilización de PET-HDPE en la elaboración de concreto.

Basándonos en el diseño de mezcla que ofrece el ACI, no significa que los datos obtenidos sean los adecuados para la construcción de ladrillos. Esto se debe a que el método del ACI está concebido para dosificar materiales en muestras de concreto y no para ladrillos de concreto. Por lo tanto, se aconseja realizar un análisis de la relación a/c y su correspondiente evaluación para poder construir los ladrillos basándose en estos datos.

Por lo tanto, hemos utilizado también de referencia otras dosificaciones y artículos científicos donde nos detallan las posibles óptimas opciones de dosificaciones para los ladrillos de concreto.

El ladrillo a realizar será Tipo V. Según la Norma NTP 399.613 - 331.040 - 331.041 y la Norma E.070 este ladrillo tiene: Resistencia y durabilidad muy altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio particularmente rigurosas.

**Tabla 1.** Norma E070 Clase de unidad albañilería para fines estructurales

<b>TABLA 1 CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERIA PARA FINES ESTRUCTURALES</b>					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f'b mínimo en Mpa (kg/cm <sup>2</sup> ) SOBRE ÁREA BRUTA
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6.9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9.3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12.7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17.6 (180)
Bloque P	± 4	± 3	± 2	4	4.9 (50)
Bloque NP	± 7	± 6	± 4	8	2.0 (20)

Las limitaciones son que la foto degradación hace que el plástico sea frágil y vulnerable a la rotura, liberando microplásticos en el área. Se cree que esto es perjudicial para la salud animal y humana. Hay quienes consideran que los ladrillos ecológicos son simplemente un medio para retrasar el problema unos años más.

## 1.2. Justificación de la investigación

Las investigaciones sobre adiciones de PET y HDPE en la ciudad de Arequipa es necesaria ya que estos estudios abordan desafíos importantes en la industria de la construcción, como la necesidad de reducir el uso de recursos naturales y la generación de residuos, al mismo tiempo que se busca aumentar el rendimiento y la confiabilidad de las estructuras.

Se pueden realizar combinaciones de preparación de ladrillos utilizando residuos plásticos. Los polímeros más populares utilizados en la producción de ladrillos incluyen HDPE, PET y LDPE.

Los residuos plásticos desechados se pueden utilizar como material aglutinante durante el proceso de elaboración de los ecoladrillos.

### 1.2.1. Ambiental

En un mundo donde las prácticas sostenibles son necesarias, es crucial desarrollar nuevas tecnologías y prácticas que sean más sostenibles y resistentes a los desafíos ambientales y sociales futuros. En Arequipa existe un problema grave con la eliminación de basura plástica ya que generalmente termina acumulándose en vertederos o los incineran dañando así al medio ambiente.

Se calcula que un año se vierten al océano alrededor de 8 millones de toneladas de plástico afectando así a la fauna y flora marina.

Por lo tanto, la gestión de los residuos plásticos para generar artículos nuevos y útiles es fundamental.

Una de las formas más prácticas para reutilizar el plástico y el salvaguardar el medio ambiente es fabricar eco ladrillo, como no hay combustión involucrada en la producción de este eco-ladrillo; no daña el medio ambiente.

Los ecoladrillos presentan varias ventajas, como la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> y por lo tanto menor impacto ambiental, entre otros.

### ***1.2.2. Social***

Estos estudios tienen un impacto directo en la sociedad al promover prácticas sostenibles en la construcción, lo que puede beneficiar a comunidades enteras alrededor del mundo.

Además, según es urgente la necesidad de proponer nuevas estrategias en el sector de la construcción que cumplan la demanda de viviendas en las ciudades del país.

Según las proyecciones del INEI (2023), se estima que cerca del 82.6% de la población peruana reside en ciudades. Esta proyección tiende a crecer con el paso de los años.

Actualmente también se sabe según CAPECO (2023) que cerca del 80% de las construcciones en el país son informales, es decir son autoconstruidas por las personas y no tienen un respaldo técnico que respalde su seguridad. La misma fuente indica que la mitad son vulnerables a un sismo de alta intensidad. Ante tanta demanda de vivienda y, por ende, de materiales de construcción, es necesario buscar alternativas mucho más accesibles y seguras para la población, de tal manera que se logre un aporte en la masificación de nuevos materiales de construcción.

Por otro lado, la urbanización creciente ya mencionada, genera bastantes desechos sólidos que deberían tratarse y renovar su ciclo de vida.

Los ladrillos ecológicos buscan transformarse en una elección ventajosa en la edificación de viviendas, con el propósito de ofrecer viviendas que se construyan de manera rápida y a un costo accesible de manera sostenible.

### ***1.2.3. Económica***

En cuanto a los costos que genera construir una vivienda a través de sistemas convencionales, se sabe que en el Perú esto no es accesible para la población que tiene más necesidad de acceder a una vivienda al existir una gran demanda, de materiales por el creciente sector de la construcción, el valor de estos productos aumenta y no es asequible para muchas personas.

Según el INEI (2021) para el 2021 la pobreza extrema afectó a un porcentaje de 12.1% de la población rural y creció 2.3 puntos con respecto al 2019 y la pobreza monetaria afectó al 25.9% del país.

"Para satisfacer la creciente demanda de nuevos hogares en las áreas urbanas, Perú debe construir aproximadamente 150,000 viviendas cada año hasta el 2037. La mayoría de estas viviendas, el 80%, se destinarán al sector urbano y se sumarán al menos 30,000 unidades en áreas rurales. Sin contar con suficientes subsidios para alcanzar estos niveles de producción, la tendencia hacia la informalidad en la provisión de vivienda continuará en aumento."

Como se ve en los datos un sector de la población se encuentra dentro de este sector pobre. Y por ende esta población no le es viable poder adquirir una vivienda por los elevados costos que esta demanda y esto trae como consecuencia el no tener un lugar donde poder vivir, frente a esa necesidad nace la idea de la fabricación de ladrillos en base a residuos de plástico.

Además, actualmente en el Perú la mayoría de las cadenas económicas relacionadas al sector de la construcción son de tipo lineal. Es decir, los materiales y productos tienen un ciclo de vida con un punto de inicio, en su creación y un punto de fin, al terminar como desechos. En el caso del plástico, cada vez es más factible reemplazar dicha cadena lineal por nuevas economías circulares que renueven los ciclos de vida de estos materiales y les den un nuevo valor al introducirlos nuevamente en el mercado.

Ya que los plásticos son una parte indispensable en la sociedad, y sirve como una solución sostenible a la vista para poder reducir la contaminación plástica y maximizar su reciclaje y reutilización.

Y con ello se ayuda a reducir la basura, pero también el poder adquirir mediante estos ecoladrillos que son más económicos viviendas a un menor costo para ese sector de la población que carece de recursos.

#### ***1.2.4. Tecnológico***

Considerando que la tecnología busca proponer nuevas soluciones más eficientes ante los problemas de una sociedad. Proponer un sistema constructivo en base a ecoladrillos que sea viable y rentable daría solución a los retos ambientales, sociales y económicos ya mencionados en la justificación.

No obstante, una nueva tecnología constructiva, ecológica y viable resultaría un gran avance tecnológico en la industria de la construcción en el Perú, pues diversificará el

mercado y permitiría alternativas a los métodos convencionales de construcción. Asimismo, tecnológicamente supondría para el Perú un avance en cuanto a la mitigación de daños al ambiente y la gestión de sus residuos.

La tecnología de materiales de construcción usando plásticos reciclables es una alternativa viable y posible ya que son más ecológicos, más livianos, sus propiedades físico-mecánicas cumplen con el reglamento y ofrecen mejores características a las tradicionales como una mejor aislación térmica y acústica.

### ***1.2.5. Político / Institucional***

La gestión de los desechos plásticos reclama el actuar de las autoridades para poder promover legislaciones a favor de una mejor gestión de estos residuos.

Las políticas de prohibición de plástico y la conciencia pública son probablemente las principales intervenciones de mitigación. La ley N° 30884 regula el uso del plástico, prohíbe aquellos que no se pueden reciclar o que presentan un riesgo para la salud, prohíbe el uso de bolsas de plástico y con la finalidad de impulsar el reciclaje, obliga la incorporación de un 15% de material reciclado en la producción de botellas de plástico

Según la Ley General de Residuos Sólidos, los gobiernos municipales están obligados a guiar a los pobladores hacia las buenas prácticas del manejo de residuos a través de proyectos integrales, que permitan reciclar y reducir el uso de desechos.

## **1.3. Hipótesis**

### ***1.3.1. Hipótesis General***

El uso viable del HDPE-PET como reemplazo total del agregado grueso para la elaboración de ecoladrillos de albañilería que cumpla con las exigencias requeridas por la normativa peruana, permitiría una alternativa sostenible en la construcción de viviendas en el Perú.

### ***1.3.2. Hipótesis Específicas***

1. Es posible elaborar ecoladrillos a base de tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) que cumplan las propiedades físicas y mecánicas de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 0.70

2. Es posible determinar la influencia del reemplazo porcentual total de HDPE Y PET que determinará cuál es el porcentaje más óptimo y factible para nuestro ecoladrillo.
3. La realización de Análisis de Precios Unitarios de la fabricación de los ecoladrillos a base de PET y HDPE, permitirá conocer los beneficios económicos del uso de los mismos.

#### **1.4. Objetivos de la investigación**

##### ***1.4.1. Objetivo General***

Usar el HDPE-PET como reemplazo de manera total en el agregado grueso para el diseño viable de un nuevo ecoladrillo para albañilería que cumpla con las exigencias de la Norma Técnica Peruana E.070.

##### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

4. Determinar la influencia del reemplazo total entre el 30%,35%,40%,45% y 50% del agregado grueso por (PET) y (HDPE) en el diseño de mezcla de un ecoladrillo para albañilería.
5. Evaluar las propiedades físicas y mecánicas del ecoladrillo a base de tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad reciclado peletizado (HDPE) de acuerdo con la Norma Técnica Peruana E 0.70.
6. Realizar un Análisis de Precios Unitarios de la fabricación de los ecoladrillos a base de PET y HDPE, que permita conocer las ventajas o desventajas económicas del uso de los mismos.

## 1.5. Variables e indicadores

### 1.5.1. Indicadores y análisis de variables independientes y dependientes

- **Variable independiente**
  - Polietileno de alta densidad
  - Tereftalato de polietileno
  - Porcentaje de reemplazo de residuos HDPE -PET
- **Variable dependiente**
  - Fabricación de ladrillos ecológicos

**Tabla 2.** Cuadro de variables

Variable	Descripción de la variable	Dimensiones	Indicadores
<b>Independiente</b>	Plástico polietileno tereftalato (PET)	Propiedades físicas y mecánicas del plástico	Granulometría
	Polietileno de alta densidad (HDPE)		Peso unitario suelto y compactado
	Porcentaje de reemplazo de residuos HDPE -PET	Diseño de mezclas con diferentes porcentajes de reemplazo de agregado por residuos plásticos	Densidad
<b>Dependiente</b>	Fabricación de ladrillos ecológicos	Cemento Portland tipo IP	Proporción del HDPE y PET
		Propiedades físicas	Proporción de cemento
<b>Dependiente</b>	Fabricación de ladrillos ecológicos	Propiedades mecánicas	Absorción Succión
			Resistencia a la compresión

Fuente: *Elaboración propia*



## 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1. Estado del arte

#### 2.1.1. Internacionales

Álzate Villamil (2022) concluyó que la factibilidad y viabilidad de este material han sido comprobadas y resaltadas no sólo porque cumplen con las normas nacionales sino también por su proceso innovador y por sus aportaciones económicas al ser un material de bajo costo.

Garzón Castro & Guzmán Serrano (2019), concluyeron que el ladrillo plástico es un material que posee los determinantes que lo ubican por encima de otros materiales utilizados en construcción, en cuanto a flexión, a física, a química, fundición y otros ítems que son fundamentales.

Aparte de las ventajas mencionadas también otro importante a resaltar es que se alivianan las cargas muertas, esto es muy importante por ser un material de menor peso que aligera también el peso de la edificación.

Piñeros Moreno & Herrera Muriel (2018) concluyeron que por medio de esta tesis se presenta un buen material novedoso para construir que requiere haber hecho la revisión de la literatura correspondiente y llevar esos conocimientos al nivel práctico para obtener los mejores resultados. Asimismo, que el material presentado en esta investigación reduce sustancialmente aquellos costos en los que se incurre utilizando otro material, motivo por el cual podría usarse tanto para fines públicos como particulares.

Contreras & Andrés (2019) explica la evaluación del desempeño de las unidades de albañilería mediante pruebas de compresión, que incluyeron ensayos de compresión axial y diagonal. Estos ensayos fueron realizados para determinar las propiedades de soporte de los dos tipos de ecoladrillos disponibles, es decir, los eco-ladrillos dispuestos horizontalmente y los ecoladrillos dispuestos verticalmente. Se fabricaron muretes y prismas utilizando ambas soluciones constructivas. En lo que respecta a los ensayos de mortero empleados en la construcción de muros y columnas con ladrillos ecológicos en disposición vertical y horizontal, donde concluye lo siguiente:

El mortero de un fabricante llamado Topex demostró una notable resistencia a la compresión, alcanzando un promedio de 191,52 kg/cm<sup>2</sup> en total. Adicionalmente los

ecoladrillos dispuestos verticalmente es un material viable para la construcción de viviendas. (Contreras & Andrés, 2019)

Molina (2007) analizó el ladrillo con una mezcla de 70% de PET y 30% de PEA, aliviando su peso, por su alto contenido de PET, siguiendo las Normas Técnicas Colombianas, además este tiene un porcentaje de absorción de agua que ronda el 0.29%. Sometido a fuerzas de flexión, el ladrillo exhibe una notable resistencia al rompimiento, con una capacidad de soportar una presión promedio de 0,83 MPa. Adicionalmente, muestra una resistencia significativa a la compresión, alcanzando valores de 212,6 Kg/cm<sup>2</sup> en dirección horizontal y 239 Kg/cm<sup>2</sup> en dirección vertical. Su caracterización como material frágil se confirma mediante el análisis de esfuerzo-deformación.

Gaggino (2008) examinó el uso de residuos plásticos, como el tereftalato de polietileno y plásticos variados, para fabricar elementos constructivos y reducir costos. Estos residuos fueron triturados y mezclados con cemento, agua y aditivos químicos para crear ladrillos, bloques y placas de ladrillos destinados a cerramientos no estructurales. La investigación concluye que esta tecnología con plásticos reciclados es una alternativa viable para construir viviendas, ya que los elementos resultantes son más ecológicos, ligeros, y ofrecen mejor aislamiento térmico que los métodos tradicionales, manteniendo una resistencia mecánica adecuada para cerramientos no portantes.

Alzate,(2022) trata del estudio y análisis de varias fuentes bibliográficas que se centran en los materiales empleados en la producción de ladrillos ecológicos y su aplicación en la construcción de viviendas sustentables. Además, se especifica el proceso de elaboración de estos ladrillos, así como los materiales, características físicas y químicas, y las cantidades necesarias para el relleno de botellas plásticas PET reciclables. El estudio también presenta los resultados obtenidos al utilizar el ladrillo ecológico como sistema de construcción de paredes para viviendas, cumpliendo con los estándares exigidos por la normativa colombiana NSR-10 para construcciones resistentes a sismos. Asimismo, se incluye una propuesta económica que compara los gastos de una edificación entre el modelo tradicional y el uso de ladrillos ecológicos. El análisis del proyecto señala que la aplicación efectiva del PET en el modelo de vivienda unifamiliar favorece al medio ambiente y contribuye a reducir la contaminación ambiental en el campo de la ingeniería civil.

### 2.1.2. Nacionales

Huayama & Ruesta (2021) concluyó que la resistencia máxima de los ecoladrillos en el periodo de 28 días fue que al agregar un porcentaje de 0.75 del material Fibra de Polipropileno se obtuvo una mayor resistencia, no obstante, con los porcentajes 0.25 y 0.50 del material de Fibra de Polipropileno se conseguía una mayor fuerza en comparación al patrón de muestra, caso contrario sucede al añadir un porcentaje de 1.5 del material de Fibra de Polipropileno ya que en este caso se obtenía un valor menor al 0.

Asimismo, la Fibra de Polipropileno presenta unas características físicas determinadas las cuales son: Presenta una absorción con un valor de un 0%, de ahí se tiene una longitud equivalente a 12mm y del mismo modo un diámetro que fluctúa entre 0.03mm y 0.05mm y por último una densidad equivalente a 0.91 g/cm<sup>3</sup>.

Por otro lado, la Fibra de Polipropileno presenta unas características mecánicas las cuales son: con respecto a su resistencia a la ruptura específica es de 165 MPa, con respecto a su rigidez de la materia es de 1.4 GPa y con respecto al alargamiento de rotura es mayor a 250%. Y por último la Fibra de Polipropileno presenta unas características químicas que son las siguientes: con respecto a la alcalinidad presenta esta una resistencia alta, con respecto a la capacidad de dejar pasar electricidad esta es baja y la temperatura por la cual este pasa de sólido a líquido es de 162 °C.

En relación con los resultados logrados en términos de resistencia en el periodo después de los 28 días se obtuvo una resistencia a la compresión de 77.52 kg/cm<sup>2</sup> al agregar un porcentaje de 0.75 del material de Fibra de Polipropileno en contraste a la muestra patrón que obtuvo una resistencia a la compresión de 64.55 kg/cm<sup>2</sup> y esto quiere decir que la Fibra de Polipropileno contribuye a mejorar la resistencia de compresión en los ecoladrillos.

Mathios Castro (2020) concluyó que por medio del tratamiento de los plásticos PET se obtiene un ladrillo de mejor calidad a los ladrillos conocidos porque poseen mejor homogeneidad y porque la estructura del mismo no es alterada en ningún momento. Del mismo modo concluyó que cuando el tratamiento de los plásticos PET se da en menor porcentaje el ecoladrillo sube la resistencia que tiene a la compresión, por el contrario, cuando el tratamiento de los plásticos PET se da en mayor porcentaje el ecoladrillo baja esta misma resistencia que tiene a la compresión.

Núñez Crisanto (2020) concluyó que el uso de PET como material estructural disminuye notablemente los costos de construcción, determinando esa disminución en

57.15%, además de concluir cuál es el procedimiento estándar que se debe seguir al momento de hacer las tareas de construcción por parte de cualquier persona que quiera utilizar este material.

Valdivia Huamán (2019) determina que las muestras, que poseen proporciones variadas de PET (67%, 100% y 87%) y arena gruesa satisfacen los criterios de la norma NTP E 0.70. Las muestras que contienen un 100% de PET y un 0% de arena gruesa fueron categorizadas como ladrillos de tipo III, en cambio, las que contienen un 80% y 67% de PET, así como un 20% y 33% de arena gruesa, respectivamente, fueron clasificadas como ladrillos de tipo IV. Todas las muestras cumplieron con los requisitos de alabeo establecidos por la norma. Los ladrillos resultantes tienen una densidad menor en comparación con los ladrillos comerciales.

El ladrillo que presentó la mayor absorción se fabricó utilizando un 100% de PET y un 20% de arena gruesa. La muestra con mayor resistencia a la compresión fue el ladrillo de tipo III, compuesto por un 80% de PET y un 20% de arena gruesa, mientras que la menor resistencia se observó en el ladrillo de tipo I, con una proporción de 100% de PET y 0% de arena gruesa. El ladrillo que destacó por sus características fue el de tipo III, con un 80% de PET y un 20% de arena gruesa.

Ruiz & Linda Almendra (2020) concluye que la proporción más apropiada para la fabricación del ladrillo ecológico PET - Aserrín es la variante T4, que contiene un 96% de plástico PET y un 6% de aserrín. Se estableció que en el caso de los ladrillos ecológicos de PET-Aserrín, el Tratamiento 4 (T4) exhibió una resistencia a la compresión de 54 kg/cm<sup>2</sup>. Este resultado sugiere que a medida que se incrementa el porcentaje de PET al 100%, la resistencia disminuye.

Ayrtor Pastor (2015) destaca la inclusión de materiales reciclados en los adoquines destinados al tránsito peatonal y vehicular. Para lograr esto, se empleó una proporción de 1 parte de cemento, 1.5 partes de arena y 0.5 partes de PET. El proceso de fabricación se llevó a cabo en una máquina compactadora de adoquines.

Los hallazgos de los ensayos de laboratorio señalaron que los adoquines de plástico satisfacen los estándares fijados por la normativa peruana en cuanto a resistencia y absorción, lo que los convierte en idóneos para su uso en la edificación de carreteras públicas. Además, tienen una densidad inferior a la de los producidos exclusivamente con

cemento, lo que se debe a la reducción del peso del plástico. Esta reducción de peso impacta un poco en la resistencia, pero continúa siendo apropiada.

Par (2016) propone el uso de residuos como plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar como constituyente en la elaboración de hormigón ecológico para la edificación de viviendas a un costo reducido. Los componentes esenciales comprendieron cemento Portland Extra-Forte, grava de 1/2", arena de gran grosor, y los citados residuos, que sustituyeron a la arena de gran grosor en porcentajes del 5%, 10% y 20% en peso.

Se determinó que el concreto con un 5% de plástico PET mostró la mejor resistencia a la compresión. Conforme se aumenta la cantidad de residuos en el concreto, se detectó una reducción en su resistencia a la compresión. Además, se identificó un ahorro en el costo unitario del concreto al incorporar plástico PET.

Benavidez Rubio (2023) concluye que los ladrillos de concreto que utilizan 9% de plástico PET y 9% de cal hidratada exhiben una mayor resistencia tanto como en pilas (180.32) como en unidad (188.75 kg/cm<sup>2</sup>) y en el corte en muretes (58.79) en comparación con el ladrillo de concreto estándar que se encuentra especificado en la NTP 399.604 y la RNE E.070.

Ampuero Antazu & Romero Bueno (2020) concluye que entre los estándares que existen para cumplir con respecto a la resistencia de la compresión en el caso de los ladrillos agregados de PET debe existir un porcentaje adecuado que este oscila entre los 5 % a 15 % debido a que este a un mayor porcentaje su resistencia disminuiría además que en una comparación con respecto a los ladrillos convencionales el agregar PET aumentó la resistencia del ladrillo en comparación a los ya mencionados.

### **2.1.3. Locales**

Del Carpio Bellido Guillén (2021) concluyó que existen diferentes clases de riesgos a la seguridad que se deben tomar en cuenta para llevar el proyecto a buen término. Asimismo, que año tras año se puede aumentar la demanda de este material, ya que es un proceso que no solo se está conociendo en Arequipa, sino también en muchas otras ciudades.

Patiño Ortiz (2020) concluyó que esta investigación se puede llevar a cabo desde diferentes puntos de vista, es decir socialmente, también ambiental y arquitectónicamente, así también demostraron una serie de factores que permiten analizar la correcta producción del material y el dimensionamiento de las construcciones posteriores.

Calcina Paredes (2019) examinó los efectos de reemplazar parcialmente residuos plásticos HDPE como agregado fino y grueso en concretos con resistencias de  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f'c = 280$  kg/cm<sup>2</sup>, tanto en su estado fresco como endurecido. Se emplearon varios porcentajes de sustitución, lo que resultó en modificaciones en propiedades clave como la resistencia a la compresión, tracción y abrasión, de acuerdo al grado de sustitución utilizado. Se observaron cambios en las propiedades del concreto fresco, excepto en aspectos como la temperatura, que no se vieron afectados por las sustituciones parciales de agregados.

Romaña Alexander (2021), con base en los hallazgos logrados, se obtuvo que el ecoladrillo PET se puede utilizar con propósitos estructurales en la construcción de viviendas, satisfaciendo con las expectativas de este estudio. Los ensayos realizados permitieron establecer que la dosificación que proporcionó los mejores resultados es la siguiente: 50% de cemento, 45% de PET y 5% de arena gruesa.

Se verificó que la inclusión de arena en la mezcla mejora significativamente la cohesión y manejabilidad, contribuyendo a obtener resultados superiores en la clasificación de las unidades. Los ecoladrillos PET exhiben una resistencia a la compresión notablemente superior a las unidades de ladrillo de arcilla cocida disponibles en el mercado. Presentan un  $f'c$  de 208.66 kg/cm<sup>2</sup> y un  $f'm$  de 99.44 kg/cm<sup>2</sup>, en comparación con el  $f'b$  de 180 kg/cm<sup>2</sup> y el  $f'm$  de 65 kg/cm<sup>2</sup> que, en promedio, muestran los ladrillos de arcilla industrial.

## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1. Unidades de albañilería

“Define como unidad de albañilería a ladrillos y bloques de arcilla cocida, de concreto o de sílice cal. Puede ser sólida, hueca, alveolar o tubular” (Norma Técnica Peruana E.070, 2020)

#### 2.2.1.1. Ladrillo

Los ladrillos son piezas cerámicas con forma de paralelepípedo que se fabrican a partir de tierras arcillosas. Estas tierras se moldean, comprimen y someten a un proceso de cocción. Debido a su forma regular y de fácil manejo, los ladrillos pueden utilizarse en todo tipo de construcciones. (Barranzuela Lescano, 2014)

En términos técnicos, se define al ladrillo como una unidad de albañilería fabricada con arcilla u otras sustancias terrosas similares, que se

moldean, presan o extruyen y luego se someten a un tratamiento térmico a altas temperaturas. (Norma Técnica Peruana 331.017, 2003)

Se considera ladrillo a la unidad de albañilería en la cual su dimensión y peso puedan ser manejados por una sola mano. (Norma Técnica Peruana E.070, 2020)

- ***Ladrillo de arcilla***

“Es un ladrillo que se crea a partir de arcilla moldeada la cual es prensada en seco o extruida y luego se seca o cose en horno” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021)

El ladrillo también es considerado una unidad de albañilería y se fabrica utilizando materiales como arcilla, esquisto arcilloso y sustancias similares de origen natural. Su proceso de fabricación implica prensado, extrusión o moldeo, seguido de un tratamiento térmico a altas temperaturas para asegurar la resistencia y durabilidad del producto, mediante la formación de enlaces térmicos entre las partículas constituyentes. (Norma Técnica Peruana 331.017, 2003)

Existen diversas clasificaciones la Norma Técnica Peruana 331.017 hace la siguiente:

De acuerdo con su tipo:

Tipo 21: Se utiliza en situaciones que requieren alta resistencia a la compresión, penetración de la humedad y condiciones severas de frío.

Tipo 17: Adecuado para usos generales con moderada resistencia a la compresión, acción del frío y penetración de la humedad.

Tipo 14: Utilizado en aplicaciones generales con moderada resistencia a la compresión.

Tipo 10: Empleado en usos generales con moderada resistencia a la compresión.

- ***Ladrillo de concreto***

La elaboración de estos requiere materiales comunes como piedra partida, cemento, arena y agua, y se puede realizar en el lugar de la obra, lo cual es ventajoso para la autoconstrucción, evitando así la necesidad de transporte de unidades prefabricadas. (Norma Técnica Peruana 399.601, 2015)

Son elementos premoldeados y modulares que se manipulan a mano en la obra, diseñados especialmente para la albañilería confinada y armada. (Echevarría Garro, 2017)

Existen diversas clasificaciones la Norma Técnica Peruana 399.601 hace la siguiente:

De acuerdo con su tipo:

Tipo 24: Se utilizan como enchapes arquitectónicos y en muros exteriores sin revestimiento, con alta resistencia a la compresión, penetración de humedad y condiciones severas de frío.

Tipo 17: Son de uso general, con moderada resistencia a la compresión y resistencia al frío y penetración de humedad.

Tipo 14: También de uso general, con moderada resistencia a la compresión.

Tipo 10: Son de uso general y presentan moderada resistencia a la compresión

Existe otra clasificación que la hace San Bartolomé:

Tipo I: Son de baja resistencia y durabilidad, aptos para construcciones con exigencias mínimas como viviendas de 1 o 2 pisos, evitando el contacto directo con lluvia o suelo.

Tipo II: Son de baja resistencia y durabilidad, adecuados para condiciones de servicio moderadas, evitando el contacto directo con lluvia, suelo o agua.

Tipo III: Tienen resistencia y durabilidad media, apropiados para construcciones expuestas a condiciones de intemperismo.

Tipo IV: Son de alta resistencia y durabilidad, aptos para situaciones rigurosas, incluso en lluvias intensas, suelo y agua.

Tipo V: Resistencia y durabilidad elevada, diseñados para situaciones rigurosas, similares al Tipo IV en términos de intemperismo. (San Bartolomé, 1994)

- ***Ladrillos ecológicos***

Los ladrillos PET son elementos de construcción hechos a partir de envases de PET y otros desechos plásticos. Estos ladrillos pueden tener cemento, agregados pétreos o arena, o ser simplemente de plástico. Por lo general, se fabrican con materiales reciclados. Los ladrillos PET se distinguen por su menor peso específico en comparación con los ladrillos convencionales. (Echevarría Garro, 2017)

#### **2.2.1.2. Muros**

- ***Muro Portante***

Estos tipos de muros tienen la característica que deben tener una continuidad vertical y son los componentes en la estructura de un edificio de albañilería. Además, estos muros fueron construidos y diseñados con la finalidad de que puedan transferir cargas tanto horizontales como verticales de un nivel al nivel inferior o a la cimentación. (Norma Técnica Peruana E.070, 2020)

Son muros diseñados y construidos con el objetivo de que lleve las cargas horizontales y verticales adicionales a las provenientes de su propio peso. (Gallegos & Casabonne, 2005)

- ***Muro No Portante***

Estos muros fueron construidos y diseñados con la finalidad que solo lleven cargas que solo provengan de su propio peso, pero también cargas transversales a su plano. Como por ejemplo los parapetos y los cercos” (Norma Técnica Peruana E.070, 2020)

Son muros diseñados y construidos con el objetivo que lleven las cargas que provienen de su propio peso como el caso de los parapetos, tabiques, cierres y cercos” (gallegos & Casabonne, 2005)

### 2.2.2. *Propiedades físicas*

#### 2.2.2.1. Dimensiones del ladrillo

- ***Ladrillo Pandereta***

Peso promedio: 2.2 kg

Dimensiones: las panderetas industriales son de 12 cm (ancho) x 10 cm (alto) x 23 cm (largo).

- ***Ladrillo King Kong***

Peso: mínimo 2.610 kg / máximo 2.800 kg.

Dimensiones: Alto 9 cm (dimensión que más 1 cm de junta da 10 cm). Ancho: 13 cm (dimensión que más 2 cm de tarrajeo da 15 cm).

Largo: 24 cm (dimensión que más 1 cm de junta da 25 cm).

#### 2.2.2.2. Variación dimensional

También se indica que esta es expresada de la siguiente forma: largo x ancho x altura y esta debe ser en centímetros. Con respecto al largo y ancho esta expresa lo que es la superficie de asiento y las dimensiones nominales es decir las comerciales que habitualmente incorporan 1 cm de junta. (San Bartolomé 1994)

La variación dimensional o variación de la dimensión son las que determinan el espesor de las juntas de la albañilería. (San Bartolomé. Quiun, & Silva, 2018)

#### 2.2.2.3. Alabeo

Cuando se habla de alabeo esta se está vinculado con el espesor del mortero que es utilizado en la construcción, pero si la unidad es cóncava o convexa en la cara del asiento creará una desigualdad en el espesor del material adherente y como consecuencia un incremento en el material usado. (Cornejo Cueva, 2019)

Esto quiere decir que a mayor alabeo ya sea concavidad o convexidad por parte del ladrillo llevará a un mayor espesor de la junta esto puede ocasionar la disminución de la

adherencia con el mortero al formarse con vacíos en las zonas con mayor alabeo asimismo puede ocasionar fallas de tracción por flexión en la unidad. (San Bartolomé, 1994)

#### **2.2.2.4. Succión**

Es la variable que determina el potencial de adhesión de la unidad. La succión no está asociada al contenido de poros de la muestra, sino que se mide con relación del agua libre y no del agua de los poros del mortero. (Gallegos & Casabonne, 2005)

La succión se define como la dimensión de la rapidez en la que absorbe un ladrillo agua del mortero además se considera un rasgo distintivo principal para conceptualizar adherencia mortero- ladrillo. (Guadalupe Huamán, 2019)

### **2.2.3. *Propiedades Mecánicas***

#### **2.2.3.1. Resistencia a la compresión**

Principal propiedad de la unidad de albañilería está directamente relacionada con la carga aplicada en un área de la sección. Valores altos son una buena característica para fines estructurales. (Gallegos & Casabonne, 2005)

Este consiste cuando un material se encuentra bajo una carga de aplastamiento y donde este hace un esfuerzo máximo para soportarlo. Asimismo, este se calcula en un ensayo de compresión a través de la división de la carga máxima por el área transversal original. (Ramírez Agurto, 2018)

Antiguamente el cálculo con respecto a la resistencia de la compresión se realizaba con el área neta de la unidad ello producía la fabricación de unidades huecas lo cual aumentaba la resistencia a la compresión, pero en la actualidad la resistencia a la compresión se calcula con el área bruta lo cual produce un rango inferior. (San Bartolomé, Quiun, & Silva, 2018)

#### **2.2.3.2. Resistencia ala tracción**

Como es el caso de la resistencia a la compresión su objetivo es el de medir la calidad de la unidad. (San Bartolomé, 1994)

#### **2.2.3.3. Absorción**

Cuando se habla de absorción por parte de las unidades de albañilería este está relacionado de manera directa con su resistencia al intemperismo y esto quiere decir a más absorción por parte de la unidad de albañilería más porosa será y esto tendrá como

consecuencia que se verá afectada a la humedad de la intemperie. (Araoz Escobedo & Velezmoro Girón, 2012)

#### **2.2.4. Repercusión ecológica en la elaboración de ladrillos de arcilla**

El proceso de fabricación del ladrillo de arcilla que es ampliamente utilizado en la construcción de casas, edificios y otros tipos de estructuras, tiene un impacto ambiental negativo. Para adquirir las propiedades adecuadas de resistencia, compresión y dureza, es necesario hornear el producto, lo cual genera una alta contaminación. Durante esta etapa, los hornos utilizan combustibles como leña, carbón, llantas, o textiles, los cuales, al ser quemados, emiten gases dañinos para la atmósfera, como monóxido de carbono, bióxido de azufre y partículas sólidas. Estos gases han sido responsables de problemas de salud pública y contaminación ambiental, como lluvia ácida, olores desagradables, problemas respiratorios, gases inflamables en el medio ambiente, calentamiento de la biosfera y emisión de humos tóxicos. (Martínez Amariz & Cote Jiménez, 2014)

#### **2.2.5. Plástico**

El término "plástico" se utiliza comúnmente para describir una amplia variedad de materiales sintéticos o semisintéticos que tienen numerosas aplicaciones. Estos materiales son muy versátiles y se derivan del petróleo, y después de su fabricación, se utilizan en una amplia gama de productos. Existen diferentes tipos de plásticos compuestos por polímeros.

Los plásticos son materiales que contienen resinas, proteínas y otras sustancias, y se pueden moldear fácilmente, manteniendo su forma mediante compresión y temperatura. Es importante destacar que los objetos de plástico tienen características distintas a los objetos elásticos. (Gar21)

Existen diversidad de plásticos de los cuales podemos encontrar 6 principales:

Tereftalato de polietileno o PET: Es utilizado más que todo para la fabricación de botellas, botes de crema, productos de limpieza entre otros.

Polietileno de alta densidad o PEAD o HDPE: Para su fabricación deben usarse altas temperaturas. Es utilizado para la elaboración de contenedores y recipientes.

Policloruro de vinilo o PVC: Su empleo es más que todo para tuberías, tableros de autos, juguetes entre otros. No es usado en el reciclaje ya que es muy contaminante.

Polietileno de baja densidad o LDPE o PEBD: Es un plástico muy contaminante por ello no es frecuente usarlo en el reciclaje.

Polipropileno o PP: Es un polímero termoplástico que se obtiene mediante la polimerización del propileno. Este material presenta resistencia al uso, a agentes químicos y al agua hirviendo, así como resistencia a cargas y detergentes. Además, tiene un bajo costo, es fácil de moldear y colorear, y ofrece buena estabilidad térmica.

Poliestireno o PS: No es utilizado en el reciclaje por ser considerado contaminante. (Pérez Collantes, 2021)

Con respecto a la producción de plástico se considera que en Asia existe una producción de 50.1%, Europa una producción de 18.5 %, Norteamérica una producción de 17.7 %, Oriente medio y África una producción de 7.1 % y América Latina una producción de 4 %. (González Bernal, Zamudio Guerrero, Piña Castillo, Trujillo Jiménez, & Tinoco Reyes, 2022)

#### **2.2.6. *Reciclaje de plástico***

El plástico reciclado se refiere al plástico que se recoge después de su uso inicial, y se utiliza como medida para evitar el aumento de la contaminación y aprovechar este material, ya que el plástico demora varios años en descomponerse. (Garzón Castro & Guzmán Serrano, 2019)

Se considera que el uso desmesurado de este plástico trae como consecuencia que su reciclado en comparación con su producción sea muy bajo ya que cuando se recicla el plástico para que este sea reutilizado es necesario un complejo proceso químico para que este pueda ser empleado en la fabricación de envases para bebidas o alimentos y son pocas las empresas que han implementado este proceso. (Febres Ballón & Vargas Guerra, 2021)

Es notoria la importancia del reciclado de los plásticos se considera que dichos residuos tardan en un promedio entre 100 a 1000 años en degradarse es por ellos que existe una gran importancia o relevancia en el tema del reciclado de plástico ya sea proveniente del polietileno de alta densidad (HDPE) y del Tereftalato de Polietileno (PET). Y en base a esta problemática se ha buscado diversas alternativas es donde ha cobrado una gran relevancia el mercado del reciclaje como una solución es por ello que para el manejo de estos desechos de plástico existen diversos métodos de reciclaje debido a que existen diversos tipos de plásticos además que su separación y reutilización también es distinta.

Por ello existe para el tema del plástico un reciclaje químico, físico, térmico y mecánico, pero de estos cuatro el menos recomendado es el reciclaje químico debido a caracteres económicos y medioambientales con referente al reciclaje químico lo que sucede es la destrucción de los residuos plásticos con el objetivo de transformarlos en monómeros u otros productos químicos.

Cuando se habla del reciclaje del polietileno de alta densidad (HDPE) se realiza mayormente el reciclaje mecánico en donde este tiene varias fases: clasificación, lavado y limpieza, trituración una vez concluida todas estas fases el plástico de polietileno de alta densidad está listo para transformarse en un nuevo producto y esto a través de diversos métodos que son extrusión, inyección, moldeo por compresión entre otros. En el moldeo de compresión el material que se encuentra en un estado líquido, polvo o en forma de pastilla se coloca a un molde que se encuentra caliente y este es cerrado. Dentro del molde existe una acción conjunta de calor y presión en donde el material termo endurecible se transforma en termoestable luego de ello se abre el molde y se recupera el plástico de polietileno de alta densidad totalmente sólida. (González Bernal, Zamudio Guerrero, Piña Castillo, Trujillo Jiménez, & Tinoco Reyes, 2022)

Con respecto al reciclado el tereftalato de polietileno este pasa por una serie de fases que son el acopio en el cual se hace una recolección de las botellas de PET , luego de ello sigue el compactado con el objetivo de reducir el volumen en bloques de 153 x 130 x 85 cm y con un peso aproximado de 200 a 600 kg, luego sigue el molido que consiste en que el PET es picado que varían de tamaño desde hojuelas de mediana , cuarta pulgada hasta polvo , luego sigue la separación que esta puede ser una macro separación , micro separación o separación molecular, luego se procede a la limpieza con el objetivo de la eliminación de los contaminantes y por último el secado con el objetivo de eliminar la humedad del plástico y esto se hace con una secadora centrifuga o con una secadora de aire frío o caliente . (Echevarría Garro, 2017)

## **2.2.7. Componentes de ecoladrillos**

### **2.2.7.1. Tereftalato de polietileno (PET)**

El PET (tereftalato de polietileno) es un polímero que se produce a través de la polimerización del ácido tereftálico y el monoetilenglicol. Este material exhibe características termoplásticas y cristalinas, siendo una de sus principales ventajas su capacidad de reciclaje completo. Además, el PET permite la incorporación de colorantes, lo

que permite la fabricación de objetos en diferentes colores. Es conocido por su alta resistencia al desgaste y a diversos tipos de esfuerzos mecánicos. (Pérez Collantes, 2021)

El Polietileno Tereftalato que popularmente se le conoce como PET se considera un poliéster que se encuentra dentro de la familia de los plásticos termoformables que cuando existe un grado de temperatura correcta este puede ser moldeado a cualquier forma por esta razón puede adquirir cualquier diseño y forma. (Febres Ballón & Vargas Guerra, 2021)

El polietileno tereftalato (PET, PETE) es un tipo de polímero plástico que se caracteriza por ser lineal, altamente cristalino y termoplástico. Esto significa que puede ser transformado a través de diferentes procesos como extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado. El PET es conocido por ser bastante resistente, duradero, estable y químicamente resistente, además de tener buenas propiedades dieléctricas.

Este plástico es parte de los poliésteres sintéticos y se obtiene con una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico (PTA) y el monoetilenglicol (MEG). El PET tiene una alta transparencia y resistencia al desgaste, así como por su capacidad de fusión y resistencia térmica y química. Es un material liviano, prácticamente irrompible y completamente reciclable. Su cristalinidad varía desde una estructura amorfa hasta altamente cristalizada, lo que puede resultar en transparencia e incoloridad en piezas delgadas, pero opacidad en piezas más gruesas.

El PET es ampliamente utilizado en diversos campos, como textiles sintéticos, envases, botellas, bandejas y láminas, debido a sus propiedades destacadas.

(Piñeros Moreno & Herrera Muriel, 2018)

#### **2.2.7.2. Polietileno de alta densidad (HDPE)**

El polietileno de alta densidad (HDPE) se encuentra dentro de los polímeros y es derivado del petróleo es considerado uno de los plásticos más utilizados para la elaboración de artículos de toda clase. Se le caracteriza por tener una gran resistencia. (González Bernal, Zamudio Guerrero, Piña Castillo, Trujillo Jiménez, & Tinoco Reyes, 2022)

El polietileno de alta densidad es un tipo de polímero con estructuras lineales y pocas ramificaciones. Se produce a través de la polimerización del etileno a bajas presiones utilizando catalizadores como los Ziegler-Natta, el Proceso Phillips o los Metalocenos (para obtener polietileno de ultra alta masa molecular). Este material tiene una densidad que oscila

entre 0.941 y 0.954 gr/cm<sup>3</sup>, es incoloro, inodoro, no tóxico y presenta una buena resistencia tanto a esfuerzos como a productos químicos. (Rodríguez Bonilla, 2019)

### 2.2.7.3. Cemento

El cemento es un aglomerante que, al mezclarse con agua, forma una pasta que se endurece mediante reacciones químicas de hidratación. Este material inorgánico, al combinarse adecuadamente con áridos y agua, puede dar lugar a la creación de hormigón o mortero con propiedades de resistencia y estabilidad. Incluso bajo el agua, el cemento mantiene su fuerza y capacidad de funcionamiento. Es crucial dosificar y mezclar los ingredientes de manera correcta para obtener un resultado final que conserve su trabajabilidad y capacidad.

El cemento hidráulico es un material que endurece con el contacto con el agua. Durante el proceso de hidratación, el cemento se convierte en un aglutinante efectivo, mostrando propiedades de adhesión y cohesión. Estas características del cemento dependen de factores como su composición química, el grado de hidratación, la finura de las partículas, la velocidad de fraguado, el calor generado durante la hidratación y la resistencia mecánica desarrollada.

El cemento también debe tener una serie de características las cuales son:

- Moldeabilidad
- Durabilidad y flexibilidad.
- Resistencia a la compresión.
- Ser hidráulico. (Vargas Saire, 2021)

Existen diversos tipos de cementos y clasificaciones dentro de ellas la Norma Técnica Peruana 334.090 los clasifica:

#### De acuerdo a su uso:

- Tipo I: Cemento de uso general, no requiere propiedades o características especiales.
- Tipo II: Resistente al ataque moderado de sulfatos, adecuado para aplicaciones como tuberías de drenaje, muros de contención y pilas.
- Tipo III: Alta resistencia en etapas tempranas, a los 3 y 7 días.
- Tipo IV: Bajo calor de hidratación, utilizado en presas.

**Por su tipo:**

- Cemento binario: Mezcla uniforme por molienda o mezclado de clínker de cemento Portland, puzolanas o filler.
- Cemento adicionado ternario: Mezcla uniforme por molienda mezclado de Clinker de cemento Pórtland y dos puzolanas diferentes.

**Por su uso cotidiano:**

Cemento Portland tipo IS: Con escoria de alto horno (hasta 70%).

Cemento Portland tipo IP: Cemento Portland puzolánico (hasta 40% de puzolana).

Cemento Portland tipo I: Cemento Portland puzolánico modificado (hasta 15% de puzolana).

Cemento Portland tipo IL: Con filler calizo (hasta 5% a 15%).

Cemento Portland tipo ICO: Cemento Portland compuesto (hasta 30% de filler calizo).

Cemento Portland ternario IT: Con dos adiciones. (Norma Técnica Peruana 334.090, 2014)

**2.2.7.4. Agregado fino**

Cuando se habla de agregado fino se hace referencia a una arena gruesa natural libre de materia orgánica y sales. (Norma Técnica Peruana E.070, 2020) El agregado fino debe consistir en arena natural, arena manufacturada o una combinación de ellas. (Norma Técnica Peruana 400.037, 2018)

Se obtiene de la descomposición ya sea natural o artificial, que pasa por un filtrador estandarizado de 9.5 mm (3/8 pulgadas) y queda en el filtrador estandarizado 75  $\mu$ m (N.º 200). (Norma Técnica Peruana 400.037, 2018)

Con respecto al agregado fino este se relaciona con la arena y son partículas menores de 4.75 mm (Malla Standard ASTM #4) y mayor de 0.075 mm (Malla Standard ASTM #200). (Araoz Escobedo & Velezmoro Girón, 2012)

**2.2.7.5. Agregado grueso**

Grava, piedra chancada, concreto chancado, concreto reciclado o la combinación de ellos. (Norma Técnica Peruana 400.037, 2018)

Cuando se habla de agregado grueso se hace referencia a la piedra y son partículas mayores de 4.75 mm (Malla Standard ASTM #4). (Araoz Escobedo & Velezmoro Girón, 2012)

En el agregado grueso debe pasar por un tamiz normalizado de 4.75 mm que proviene de la desintegración natural o mecánica de la roca. (Norma Técnica Peruana 400.037, 2018)

#### **2.2.7.6. Mortero para albañilería**

“El mortero es el elemento que une los ladrillos u otras unidades de mampostería y proporciona capacidad estructural a la pared u otra estructura” (Ripley & Dana, 2023)

Se utiliza en las unidades de albañilería como un material de adhesión tanto horizontal como vertical. (Norma Técnica Peruana E.070, 2020)

El mortero se considera un adhesivo cuyo principal objetivo con la unidad de albañilería es ser un adhesivo durable, fuerte y completo además todas sus demás propiedades dentro de ellas la resistencia son incidentales. Bajo este parámetro la relación cemento / agua que es específica y variable carece de relevancia. (Gallegos & Casabonne, 2005)

Como se indicó la principal función del mortero relacionado a la albañilería es la adhesión a las unidades de albañilería asimismo subsanar alguna irregularidad geométrica de altura que estas puedan presentar, pero también evitar la entrada de aire y de la humedad sellando las juntas. (San Bartolomé, Quiun, & Silva, 2018)

El mortero está compuesto por una mezcla de agregado fino y aglomerantes a dicha mezcla se le agregara la mayor cantidad de agua que pueda proporcionar dicha mezcla para que esta pueda ser trabajable, adhesiva y sin segregación del agregado. (Norma Técnica Peruana E.070, 2020)

### **2.3. Marco Legal**

#### **2.3.1. Norma E.070**

Esta norma establece los requisitos mínimos para el análisis, diseño, construcción, control de calidad y la inspección de las edificaciones de albañilería (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2020, p.13).

### 2.3.2. Norma técnica peruana-NTP 339.601. Unidades de albañilería.

#### Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto

Esta norma fue elaborada y aprobada por el Comité Técnico de normalización de Unidades de Albañilería donde establece los procedimientos para el muestreo y los ensayos que se deben realizar a las unidades de albañilería de concreto para alcanzar las propiedades mecánicas y físicas requeridas.

#### A. Muestreo

Las unidades de albañilería de concreto deberán ser seleccionadas de acuerdo a una estadística de números aleatorios donde los especímenes elegidos serán representantes del lote total de ladrillos.

#### B. Número de especímenes

Para los ensayos de resistencias a la compresión, densidad, absorción y contenido de humedad se seleccionará 6 unidades por cada lote de 10000 unidades o menos y se seleccionara 12 unidades por cada lote de más de 10000 unidades y menos de 100000 unidades y para un lote mayor a las 100000 unidades se va a seleccionar 6 unidades por cada 500000 unidades.

### 2.3.3. Ensayos de laboratorio

- *Variación dimensional*

Se mide todas las dimensiones al milímetro y se saca un promedio para cada dimensión largo, ancho y altura.

Para calcular la variación dimensional según la NTP 399.613:

Se determina el promedio de 4 medidas desde el centro de la cara en mm, para cada arista de ladrillo.

Se calcula el promedio para cada arista. El valor promedio se resta por cada dimensión especificada y se divide entre la dimensión especificada.

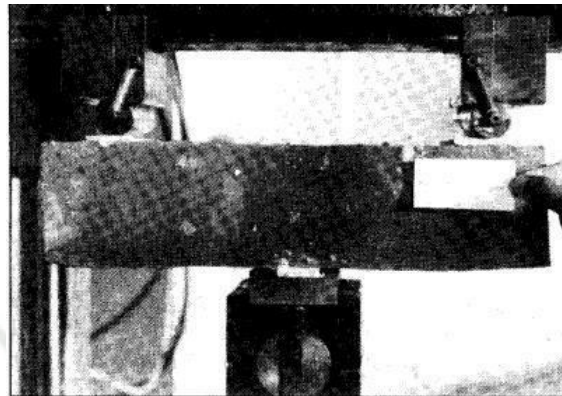
$$h=(h1+h2+h3+h4+h5) \quad V\%=100((De-Dp) /De)$$

- *Tracción por flexión*

El ensayo solo se realizará si se requiere utilizar el ladrillo V o IV o cuando se tenga un alto alabeo. Consiste en someter a la unidad de albañilería a una carga concentrada

creciente en el centro a una velocidad de 1.25mm/min y luego se aplica la fórmula de la flexión para obtener la tracción por flexión.  $f_t = My/I$

### **Ilustración 1.** *Ensayo de tracción por flexión*



*Fuente: Ángel San Bartolomé*

- **Densidad**

El ensayo de densidad para unidades de albañilería se utiliza el principio de Arquímedes en cual consiste en dejar hervir el espécimen en agua destilada durante 3 horas y obtener tres diferentes pesos: Peso seco, peso saturado y peso sumergido en ebullición.

$$D = \frac{P_{seco}}{Volumen}$$

Volumen = P1 - P2 P1 = Peso en ebullición P2 = Peso saturado P3 = Peso seco

Los pesos estarán en gr y los volúmenes en cm<sup>3</sup>.

- **Alabeo**

El ensayo de alabeo determina la concavidad y la convexidad de la unidad de albañilería donde se usará una cuña graduada de acero con divisiones de 1mm.

Para la determinación del alabeo se usará la Norma NTP 399.613.

- **Resistencia a la compresión**

El ensayo se desarrolló en base a las especificaciones de la norma NPT 399.604.

### **A. Muestra**

En la Norma 331.019 podemos encontrar especificado el muestreo para el número de especímenes se seleccionan seis. Se puede tomar muestras adicionales de acuerdo al comprador o vendedor

### ***B. Recubrimiento de la muestra***

Si las caras de la muestra muestran irregularidad serán rellenadas con una capa de cemento y se dejará 24 horas para su fragua. En las caras opuestas del espécimen se debe aplicar un recubrimiento de yeso o de azufre.

Revestimiento de yeso-cemento.

Ambos lados opuestos de la muestra están recubiertos con solución de alcohólica de goma laca y déjelos secar completamente y aceite. Se expande una fina capa de pasta hecha de yeso cocida, para conseguir una superficie homogénea y plana. Se repite el proceso en el otro lado de la muestra. El refrentado se realizará al menos 2 horas antes de la muestra

Recubrimiento de azufre y materiales granulares.

En una capa que haya sido cubierto con aceite se extiende uniformemente el refrentado no absorbente. La mezcla contendrá 40% a 60% de azufre, el otro agregado será bentonita molida u otro material que pase por el tamiz N°100

### ***C. Procedimiento***

Ensayar los prismas en el centro. Se ensayarán con sus huecos en dirección horizontal y se produce fallo bajo aumento constante de la carga.

### ***D. Cálculos***

Se calcula dividiendo la carga máxima registrada entre el área bruta

$$fb = \frac{W}{A}$$

En donde:

Fb: Es la resistencia a la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>)

P: Carga máxima de rotula indicada en la maquina (kgf)

A=Área bruta de las superficies en contacto de la unidad (cm<sup>2</sup>)

La resistencia a la compresión promedio se obtendrá restando la desviación estándar. Esto significa que, al restarle este número, por lo menos el 84% de las muestras deberían tener una resistencia mayor al valor de f'b, o que es aceptable hasta un 16% de muestras defectuosas.

$$f'_{cm} = fb - 1.3 * \sigma$$

En donde:

$f'_{cm}$ : Resistencia característica a la compresión(kgf/cm<sup>2</sup>)

$F_b$ : Es la resistencia a la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\sigma$ : Desviación estándar

### **Ilustración 2.** *Bloque sometido a ensayo de compresión*



*Fuente:* Physical and Mechanical Properties of Concrete Bricks

- **Succión**

El ensayo se terminará en el primer minuto de contacto, ya que la muestra seguirá absorbiendo agua más tiempo. (gallegos & Casabonne, 2005)

La succión es la velocidad con la que la muestra absorbe el agua del mortero

Esto demuestra que el ladrillo con succión excesiva no logra las uniones adecuadas con el mortero, El producto es una adhesión de uniones de baja resistencia y permeable al agua.

Para succiones mayores a 40 gf/min en 200 cm<sup>2</sup> es necesario que las muestras se humedezcan antes de asentarla (gallegos & Casabonne, 2005). A. Muestra

Ladrillos enteros o mitades.

#### **A. Procedimiento**

Para determinar la succión se emplean unidades secadas al horno a una temperatura de 110°C y 115°C y luego se enfrían.

Se mide el largo y el ancho de la arista que estará en el agua y posteriormente se pesa la muestra.

En un recipiente nivelado, verter agua de manera.

El espécimen es colocado arriba de los soportes y desde el momento que la muestra está en contacto con el agua es el tiempo cero.

Al final del tiempo se pesa la muestra, en un lapso no mayor de 2 min después de haber sido retirado del agua.

### **B. Cálculos**

El cálculo de la succión de la muestra se calcula: Succión Normalizada en 200 cm<sup>2</sup>, Se expresa en gramos /200cm<sup>2</sup>/minuto o en gramos.

$$S = \left( \frac{W_h - W_s}{A} \right) \times 200$$

En donde:

S: Succión normalizada en 200 cm<sup>2</sup>

$W_s$ : Peso seco de la unidad (gr)

$W_h$ : Peso después del ensayo (gr)

A: Área de contacto de la unidad (cm<sup>2</sup>)

- **Absorción**

En la norma NTP 399.604 y 399.613 estará indicado el procedimiento del ensayo de absorción. La absorción es la diferencia de peso entre la unidad mojada y la unidad seca expresada en porcentaje. Consiste en comparar pesos de la muestra y de la muestra sumergida en 24 horas en agua fría y ya que no se llenan todos los poros, se logra medir de nuevo hirviendo la muestra en agua por 5 horas. La relación entre ambos números es llamada coeficiente de saturación.

### **A. Procedimiento**

Los especímenes se calientan en el horno a 110° C y 115° C y se pesan. Se secan al aire libre y se introducen las muestras en agua destilada, las muestras deben estar completamente sumergidas durante 24 horas. Las muestras deben ser pesadas dentro de los 5 minutos después de haber sido extraídas del recipiente

## **B. Cálculos**

El cálculo de la absorción de la muestra se calcula con la siguiente ecuación.

$$\text{Absorción}\% = \left( \frac{W_s - W_d}{W_d} \right) \times 100$$

En donde:

$W_s$ : Peso seco de la unidad (gr)

$W_d$ : Peso del espécimen saturado después de la sumersión (gr)

- **Resistencia a la compresión en pilas**

Siguiendo la norma NTE E.070

### **A. Instrumentos**

Se necesita una máquina universal de compresión, es dividir la carga última entre el área de la muestra. Las superficies de los platos deben ser lisas y planas.

### **B. Procedimiento**

Para la construcción de los prismas debe ser usado el diseño de mezclas calculado de las pruebas realizadas al mortero. No dejar un ancho de junta mayor a 1.5cm ni menor a 1cm en los ladrillos. Se coloca un espécimen en una superficie, para luego aplicar mortero y asentar el siguiente, se debe verificar el espesor y la nivelación de la junta. Para esto se utiliza una plomada, para que la nivelación este correctamente.

No se deben mover en 48 horas, no se deben manipular ni deben tener cambios bruscos de temperatura.

Se deben dejar curar por medio de brocha húmeda. .2 veces al día humedeciendo las juntas por brocha.

El refrenado se realiza con yeso, o azufre debe ser delgado su espesor se hará aproximadamente de 3mm y no superior de 8 mm.

Es para dar homogeneidad a las caras de la muestra. El objetivo es que las cargas estén distribuidas uniformemente,

Se realizarán las mediciones de todas las dimensiones del prisma y se determina la esbeltez.

Para alcanzar la carga máxima se aplica carga a la muestra a una velocidad constante haciendo que demore entre 3 a 4 min.

Para modificar la resistencia de la unidad seguimos la norma NTP E.070 Para los factores de corrección por esbeltez para el ensayo de la resistencia en compresión de prismas de albañilería.

**Tabla 3.** Factores de corrección de esbeltez de NTP E.070

TABLA 2 FACTORES DE CORRECCIÓN DE $f'_m$ POR ESBELTEZ						
Esbeltez	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5,0
Factor	0,73	0,80	0,91	0,95	0,98	1,00

Fuente: NTP E.070

### C. Cálculos

Se divide la carga máxima axial registrada entre el área de la sección transversal.

Valores altos indican buena resistencia y alta durabilidad.

$$f_m = C \frac{W_{max}}{A}$$

En donde:

$f_m$ : Es la resistencia a la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>)

$W_{max}$ : Carga máxima axial indicada en la máquina (kgf)

A=Área bruta de la sección transversal de la unidad (cm<sup>2</sup>)

C: Factor de corrección de la esbeltez

La resistencia a compresión axial del prisma de albañilería( $f'_m$ ) es la resta de la desviación estándar del valor promedio del prisma

$$f'_{cm} = f_m - \sigma \text{ En donde:}$$

$f'_{cm}$ : Resistencia característica a la compresión axial (kgf/cm<sup>2</sup>)

$f_m$ : Es la resistencia a la compresión promedio (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\sigma$ : Desviación estándar

- **Resistencia a la compresión en muretes**

El ensayo en muretes se realiza siguiendo la norma NTP 399.621 y ASTM E 519

Este método sirve para medir la resistencia a la compresión diagonal, (corte) de la albañilería.

#### **A. Muestra**

El tamaño es de (600mmx600mm) ya que es el menor tamaño representativo. Se recomienda hacer que los muretes cuenten con hasta tres hiladas.

#### **B. Procedimiento**

El murete medirá mínimo 60x60 y un máximo 68x68 cm aproximadamente con una junta de 1.5 cm. Se comienza armando las hileras respetando la verticalidad de las filas, los espesores de las juntas. Se debe controlar la verticalidad y la horizontalidad con la plomada y el nivel.

La muestra no puede ser trasladada por lo menos 7 días y se controlara que no esté expuesta a agentes externos o cambios de temperatura, se debe curar con brocha húmeda de igual manera a las pilas. Serán almacenados durante 28 días en zonas libres de corriente de aire y con temperatura de entre 24°C a +8°C. La humedad relativa estará entre 25% y 75%

Se realizan las medidas de todos sus lados para calcular el área bruta diagonal del espécimen

El refrendado o caping se hará de cemento + yeso + agua .se distribuye en la cara y en las zonas irregulares que recibirán la carga, no debe exceder de 3 mm, se realiza dos horas antes de ensayar los especímenes Se aplica la carga de manera constante hasta la carga última, es posible aplicar a cualquier velocidad hasta la mitad del valor máximo esperado, luego se aplica el resto de la carga en no menos de 1 min o máximo 2 minutos

#### **C. Cálculos**

Siguiendo la norma NTP 399.621 los coeficientes usados para la obtención del esfuerzo. El error de no más de 1 cm .se tendrá que adaptar para obtener el área bruta de la unidad

$$A_b = \sqrt{l^2 + h^2} * t$$

En donde:

$A_b$ : Área bruta de la diagonal (cm<sup>2</sup>)  $l$ : Longitud del murete(cm)  $h$ : Altura del murete(cm)  $t$ : Espesor del murete(cm)

La resistencia a corte puro del murete se calcula dividiendo la carga diagonal de la rotura entre el área bruta de la diagonal cargada.

$$v_m = \frac{W_{max}}{A_b}$$

En donde

$v_m$ : Esfuerzo cortante (kgf/cm<sup>2</sup>)

$W_{max}$ : Carga ultima aplicada (kgf)

$A$ =Área bruta de la diagonal del murete (cm<sup>2</sup>)

La resistencia característica a compresión diagonal del murete de albañilería es el valor promedio de la muestra ensayada menos una vez la desviación estándar. Esta resta de la desviación estándar al valor promedio significa que el 84% de las muestras ensayadas tendrá una resistencia mayor al valor característico

$$v'_m = v_m - \sigma$$



## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y nivel de investigación

##### 3.1.1. *Tipo de investigación*

De acuerdo a Sampieri (2005), que aborda desde los fundamentos de la investigación hasta técnicas avanzadas de análisis de datos, se indica que la investigación cuantitativa se enfoca en la medición numérica y el análisis estadístico para probar hipótesis y la investigación descriptiva se centra en la recolección detallada de datos y en la presentación sistemática de información para describir un fenómeno sin necesariamente buscar relaciones causales.

Por lo tanto, la presente es una investigación cuantitativa debido a que se va emplear la recolección de datos, observación y medición de magnitudes en cada una de las muestras.

Además, se usará como metodología complementaria la técnica descriptiva, ya que describiremos las características, comportamientos o fenómenos tal como son y se hará una recolección de datos detallados sistemáticamente.

##### 3.1.2. *Nivel de investigación*

En el libro "Metodología de la Investigación" (Roberto Hernández Sampieri, 2005) se pueden encontrar diferentes niveles de estudio en la investigación cuantitativa.

Donde encontramos el Nivel Exploratorio: Este nivel de investigación se utiliza para explorar un tema o fenómeno del cual se tiene poco conocimiento. Se centra en la obtención de una comprensión del problema de investigación.

Por lo tanto, el nivel de la investigación será exploratorio.

##### 3.1.3. *Enfoque*

Es cuantitativo ya que el objetivo de este es probar teorías a través de la recopilación de datos basándose este en análisis estadístico y medición numérica. Este debe de ser probatorio y secuencial.

Para nuestra investigación que es exploratoria y cuantitativa, utilizaremos un diseño de investigación de tipo experimental. Se realiza una experimentación con diversas

dosificaciones con el fin de determinar cómo nuestras variables se relacionan entonces, estos métodos permiten recopilar datos numéricos que luego pueden ser analizados estadísticamente para obtener conclusiones sobre las características o tendencias del fenómeno en estudio.

### **3.2. Métodos de investigación**

#### **3.2.1. Área de estudio**

La investigación se realizará en el departamento de Arequipa en la provincia de Arequipa y el desarrollo de la presente investigación se llevará a cabo en el año 2023.

##### **3.2.1.1. Unidad de estudio**

Son los eco ladrillos con reemplazo de Tereftalato de Polietileno y Polietileno de alta densidad, a usar en esta investigación para su evaluación correspondiente.

##### **3.2.1.2. Población**

Para esta investigación se utilizará (39) poblaciones diferenciadas por sus características y diferentes porcentajes:

- Primera etapa (16) poblaciones. - Se determinará el porcentaje óptimo de cemento y agregado grueso
- Segunda etapa (11) poblaciones. - Con cemento y agregado grueso óptimo, se considerará como variables el PET y el HDPE
- Tercera etapa (12) poblaciones. -De las 2 más dosificaciones optimas se realiza el ensayo de resistencia a compresión en pilas y muretes

##### **3.2.1.3. Muestra**

La muestra según la estadística es una selección de muestras extraídas de un universo, porque representan las características básicas de una población total.

La muestra se determinó con de estudios estadísticos y según la confiabilidad prevista en los resultados. Utilizamos una confiabilidad de 98% para los especímenes en los ensayos de compresión simple,

- **Tamaño de la muestra:** 27 poblaciones

- **Criterios de inclusión y exclusión:** Los ecoladrillos deben haber sido fabricados utilizando los porcentajes de reemplazo del agregado grueso por PET y HDPE. Además, solo se incluirán aquellos ecoladrillos que cumplan con la Norma de Ladrillo tipo V
- **Distribución de la muestra:** Puedes distribuir los ecoladrillos de manera equitativa entre los diferentes porcentajes de reemplazo (30%, 35%, 40%, 45% y 50%) para asegurar una representación adecuada de cada grupo en tu muestra.

#### 3.2.1.4. Tamaño de la muestra

Para obtener el tamaño en estadística de la muestra se necesita conocer el tipo de variable, si es una variable cuantitativa cuando se necesita proporciones o cualitativa para lograr evaluar promedios.

Podemos encontrar 4 casos:

- ***Variable cualitativa con tamaño de población desconocida o infinita.***

Para este caso se necesita saber el porcentaje o proporción de la población, donde se tiene desconocimiento del tamaño de la población y presenta modificaciones a lo largo del tiempo se tiene la siguiente ecuación.

$$n = \frac{z^2 * p * q}{E^2}$$

(López & Fachelli, 2015)

n: Tamaño de muestra

z: Factor de distribución normal en base a la confianza

p: Probabilidad de que ocurra el evento esperado

q: Probabilidad de que no ocurra el evento esperado

E: Porcentaje de error

Si no hubiera un estudio previo se debe tomar un valor inicial del 50%

Para el porcentaje de confianza y factor confianza se tiene la siguiente tabla que se basa en un cálculo previo al estudio, proporcionando una base sólida para las conclusiones que se obtendrán del análisis de datos.

**Tabla 4.** Porcentajes y factores de confianza

%Confianza	90%	91%	92%	93%	94%	95%	96%	97%	98%	99%
Z	1.64	1.7	1.75	1.81	1.88	1.96	2.05	2.17	2.33	1.58

Fuente: Elaboración propia

- **Variable cualitativa con tamaño de población conocida**

Para calcular el tamaño de la muestra para estimar el promedio de las características donde se conoce el tamaño de la población se usa la siguiente formula:

$$n = \frac{N * z^2 * \sigma^2}{(N - 1)E^2 + z^2 + \sigma^2}$$

(López & Fachelli, 2015)

n: Tamaño de muestra

N: Tamaño de población

z: Factor de distribución normal en base a la confianza

$\sigma$ : Desviación Estándar

E: Error

Para el porcentaje de confianza y factor confianza se tiene la siguiente tabla que se basa en un cálculo previo al estudio, proporcionando una base sólida para las conclusiones que se obtendrán del análisis de datos.

- **Variable cuantitativa con tamaño de población desconocida o infinita**

Es necesario conocer el promedio de una característica determinada en la población, sin embargo, se tiene un desconocimiento del tamaño de la población o puede presentar variaciones a lo largo del tiempo, se emplea la siguiente fórmula:

$$n = \frac{z^2 * \sigma^2}{E^2}$$

(López & Fachelli, 2015)

n: Tamaño de muestra

z: Factor de distribución normal en base a la confianza

$\sigma$ : Desviación Estándar

E: Error

- ***Parámetros estadísticos***

Valor numérico que se consigue en base a los datos de la muestra estadística. Su función principal es sintetizar la información obtenida por un gráfico con valores estadísticos o una tabla de datos, los resultados obtenidos son confiables si se conoce la distribución de la población.

Promedio o media aritmética: Es el centro del conjunto de data.

Mediana: Es el valor medio del ordenamiento de valores de la data.

Moda: Valor más común del conjunto de data

Se usará el valor promedio, pues se necesita conocer la media aritmética o el valor más probable del conjunto de datos.

- ***Desviación estándar y coeficiente de variación de Pearson***

La desviación estándar ( $\sigma$ ) es una medida estadística que se utilizar para calcular la variación o dispersión de una muestra en relación al valor promedio. Se puede representar por la siguiente ecuación:

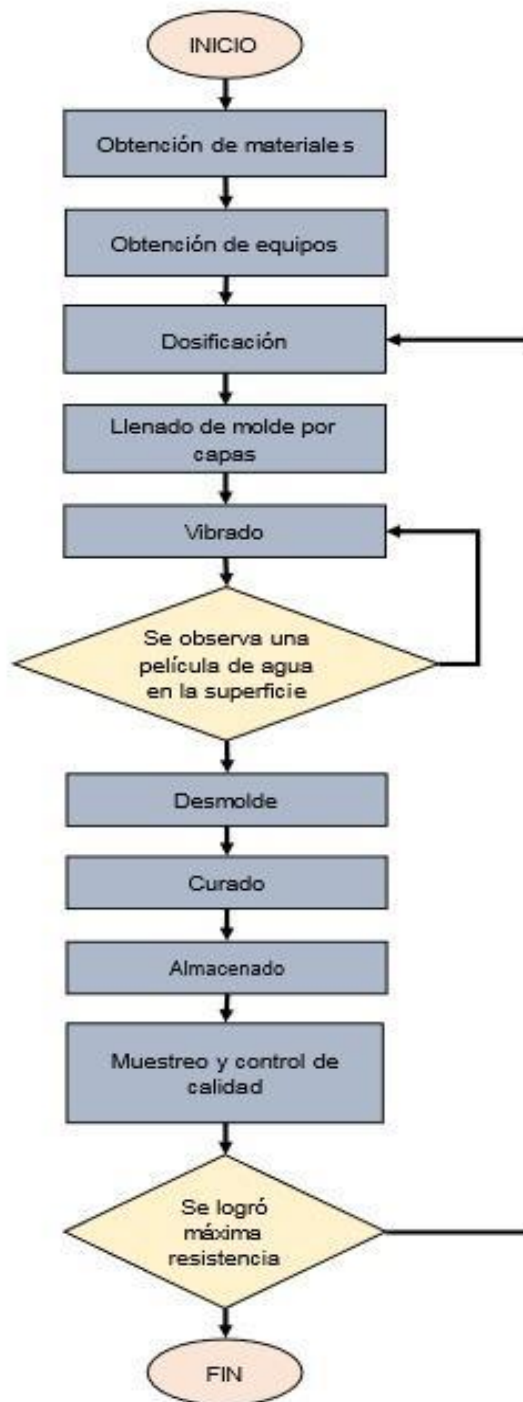
$$\sigma(x) = \sqrt{\frac{\sum_1^n (xi - \underline{X})^2}{n}}$$

$\underline{X}$ : Promedio de la base de datos

xi: Representa cada punto de la base de datos

n: Tamaño de la población

**Ilustración 3.** *Flujograma de producción de ladrillos ecológicos*



*Fuente:* Elaboración propia

### 3.2.2. *Materiales y equipos*

#### 3.2.2.1. **Materiales o Tereftalato de Polietileno (PET)**

- Polietileno de alta densidad o Cemento Portland tipo IP o Yeso o Vernier. o Moldes de madera con las medidas para ladrillos. o Agregado grueso.

- Agua.

- Regla y cuña para alabeo

#### 3.2.2.2. **Equipo**

- Balanza

- Trompo para la mezcla.

- Horno.

- Máquina de compresión.

### 3.2.3. *Recolección de datos*

#### 3.2.3.1. **Técnica**

- ***Observación.***

Mediante una agrupación de categorías y subcategorías se llevará un registro y este debe ser fidedigno, permitido y sistémico con el fin observar las situaciones y el comportamiento. El investigador se encontrará presente durante las pruebas de laboratorio en donde observará el momento en el cual se adicionará el Tereftalato de polietileno y Polietileno de alta densidad en sus diversas proporciones.

- ***Procedimiento.***

Para la fabricación de los ecoladrillos se empleó pellets de plástico reciclado suministrado por la empresa MC plásticos, con tamaño de partícula de PET entre 2.00 mm y 2.5 mm y de HDPE entre 2.00mm y 3.00mm.

- ***Proceso de trituración de los plásticos.***

Los residuos sólidos se recolectan de basureros municipales donde los recicladores de plástico los recogen y lo llevan a un centro de acopio, en este lugar se hace la segregación ,la clasificación de materiales y por colores, esto se empaca y con prensas le dan forma cúbica de 1mx1mx1m.En la planta pasa por una faja donde pasa por la primera trituración

,consiste en un rotor con varias cuchillas que trituran las piezas de plástico luego pasar por el lavado con soda cáustica ,se centrifuga y luego pasa a un enjuague .

Para secar el material se usa un quemador de gas GLP con aire caliente. El material pasa por una segunda molienda, luego pasa por una tercera molienda, donde pasa por un tamiz o por una rejilla. Dónde se clasifica por su granulometría y pasa por una cinta hasta un depósito para su almacenamiento.

Los residuos de plástico se clasificaron por análisis granulométrico acorde a la Norma Técnica Peruana NTP 400. 012 (Granulometría de los agregados).

Estas partículas serán adicionadas a la mezcla como sustituto del agregado fino , Las relaciones de plástico reciclado PET ,HDPE y agregados gruesos(as) de las muestras elaboradas se presentan en la Tabla 2.

- ***Diseño del ladrillo de plástico reciclado.***

Para el diseño del ladrillo se basó en la forma del ladrillo King Kong estructural con las siguientes dimensiones: largo 24 cm, ancho 14 cm y alto 9 cm.

- ***Proceso de fabricación y producción.***

Varias investigaciones han documentado el uso de alternativas, como plástico, en lugar de los componentes convencionales en la fabricación de ladrillos. El objetivo es desarrollar ladrillos modificados que mantengan propiedades mecánicas comparables o incluso superiores a las de los ladrillos tradicionales.

Tomando investigaciones de referencia, los autores demostraron que usando el PET como material de reemplazo del agregado en porcentajes del 90 % y 80%, en la elaboración de ladrillos.

Los autores mostraron que los ladrillos mezclados con PET en porcentajes mayores al 80 % se desintegran durante el proceso de desmolde y transporte, además, por su consistencia, durante el secado su volumen se redujo; asimismo, reportaron que el material con un reemplazo menos del 20 % no influiría en la adición de las propiedades del material, y los beneficios en costo.

El proceso tendrá como objetivo elevar la resistencia sin reducir el porcentaje de plástico, aumentando o disminuyendo cemento y agregado grueso. La arena gruesa se usará para optimizar las consistencias de la mezcla

Para resolver el problema asociado con la desintegración de los ladrillos, Se investigaron la adición de HDPE una propiedad característica del HDPE la cual le da la capacidad de resistirse a mantenerse compacto

El HDPE, si bien posee microporos, estos no proveen las condiciones para retener humedad. Por estas propiedades se conoce que en un remplazo de 5%-25% es mejor que uno de 30% de reemplazo (Aguilar, 2023)

- ***Composición de Mezcla.***

El desarrollo de la presente investigación se basa en utilizar el mayor porcentaje de Tereftalato de Polietileno (PET) y el Polietileno de Alta Densidad (HDPE). Para la mezcla se usará mezcladora tipo trompo según las proporciones de agua, cemento para obtener una mezcla homogénea, consistente y trabajable.

Cálculo de los pesos de materiales

Dosificaciones del cemento, PET, HDPE y agregado

Colocación de los materiales en el trompo para la mezcla

Colocación de la mezcla en los moldes de madera preparados dejándolos secar por 24 horas.

Se vibrará con el método tradicional

Se desmoldará cada ladrillo teniendo siempre cuidado que no se deforme el ladrillo y se dejará en la zona de curado durante 28 días.

### **3.2.3.2. Instrumentos**

- Ficha de Registro o de Observación
- Ficha de ensayo de resistencia a compresión, absorción, dimensionamiento, alabeo, porcentaje de vacío.
- Ficha de cuestionario
- Balanza

#### 3.2.4. *Análisis económico*

Es de real importancia realizar un análisis económico ya que en base a esto se puede inducir todos los gastos que se va a incurrir para fabricar el producto

Ahora en el mercado el ladrillo como el King Kong artesanal está al precio de S/. 0.80 aproximadamente, mientras que el King Kong mecánico lo encontramos por el precio de S/. 1.40 y el ladrillo INFES a S/1.59 aproximadamente. En el caso del valor de ladrillo a base de PET y HDP resultaría más económico debido a que la materia prima que se emplea es en sí plástico que es un material fácil de conseguir y emplear.

Otro punto es que es importante conocer el costo de los materiales reciclados utilizados en el mercado podemos encontrar que tanto el PET como HDP el kilo está S/. 6.00 Además de ello se emplea arena gruesa que la bolsa la encontramos a S/. 3.00, el cemento portland que está S/. 24.50 aproximadamente y agua, pero para calcular el precio por unidad y es algo muy importante y tener en cuenta es la dosificación de los materiales ya que no se emplea todo para la fabricación de cada ladrillo por unidad y en base a un cálculo resultaría el costo mucho menor al precio del ladrillo que se encuentra en el mercado.

El análisis económico final se dará al final de la tesis debido a que necesitamos la mezcla final que usaremos



## CAPÍTULO IV

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Propiedades de los agregados

#### 4.1.1. Cemento IP

Para nuestra dosificación de nuestros ladrillos usamos el Cemento Yura Tipo Ip en la siguiente figura observamos las propiedades del cemento en conformidad con la NTP 334.090 y la Norma ASTM C 595

**Tabla 5.** *Propiedades del Cemento Yura Tipo IP*

REQUISITOS	CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP		REQUISITOS NORMA NTP 334.090 ASTM C-595		REQUISITOS NORMA NTP 334.009 ASTM C-150 (CEMENTO TIPO I)	
REQUISITOS QUÍMICOS						
MgO (%)			6.00 Máx			
SO <sub>3</sub> (%)	1.5 a 3.0		4.00 Máx			
Pérdida por ignición (%)	1.5 a 4.0		5.00 Máx			
REQUISITOS FÍSICOS						
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.75 a 2.85		-			
Expansión en autoclave (%)	0.07 a 0.03		-0.20 a 0.80			
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170 a 270		45 a 420			
Contenido de aire	2.5 a 8.0		12 Máx			
Resistencia a la compresión	Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa
3 días	175 a 200	17.1 a 19.6	133 Mín	13	122 Mín	12 Mín
7 días	225 a 255	22 a 25	204 Mín	20	194 Mín	19 Mín
28 días	306 a 340	30 a 33.3	255 Mín	25	-	-
Resistencia a los sulfatos	%		%			
% Expansión a los 6 meses	< 0.04		0.05 Máx			
% Expansión a 1 año	< 0.05		0.10 Máx			

*Fuente:* Ficha Técnica Cemento Yura IP

#### 4.1.2. Agregado Fino

#### 4.1.3. Densidad Aparente

Para hallar la densidad utilizaremos la NTP 400.021 (2013)

A	Masa en el aire de la muestra secada al horno (grs)
B	Masa del picnómetro lleno con agua (grs)
C	Masa del picnómetro con la muestra y el agua (grs)
S	Masa de la muestra saturada y superficialmente seca (grs)
D <sub>ss</sub>	Densidad saturada y superficialmente seca $D_{ss} = S / [B + S - C]$
	Densidad nominal $D = A / [B + A - C]$
	Densidad aparente $D = A / [B + S - C]$

**Tabla 6.** Cuadro de Resultados de la Densidad utilizando la NTP 400.021

MUESTRAS	M1	M2	M3	PROMEDIO
B	690.80	693.00	692.50	
S	500.50	501.50	495.00	
C	905.30	900.10	903.50	
A	490.00	489.50	488.50	
D <sub>ss</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	1.75	1.70	1.74	1.73
D <sub>nominal</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	1.78	1.73	1.76	1.76
D <sub>aparente</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	1.71	1.66	1.72	1.70

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4. Plástico Polietileno- Tereftalato (PET)

**Tabla 7.** Cuadro de propiedades del PET

PROPIEDADES	MÉTODO	UNIDAD	VALOR
Densidad	ISO 1183	g.cm-3	0.295
<b>MECÁNICAS</b>			
Fuerza de Tensión @ Quiebre	ISO 527	Mpa	
Elongación @ Quiebre	ISO 527	%	>200
Módulo de elasticidad a la tracción	ISO 527	Mpa	2420
Fuerza Flexible	ISO 178	Mpa	86
Escala M/R de dureza Rockwell sin rotura	ASTM D 1693	HR	111
<b>TÉRMICA</b>			
Temperatura máxima de servicio		°C	60
Vicat Softening Point - 10N	ISO 306	°C	79
Vicat Softening Point - 50N	ISO 306	°C	75

Fuente: Ficha Técnica -PET

#### 4.1.5. Polietileno de alta densidad (HDPE)

**Tabla 8.** Cuadro de propiedades del HDPE

PROPIEDADES	MÉTODO	UNIDAD	VALOR
Densidad	ASTM D1505	g/cm <sup>3</sup>	0.955
<b>MECÁNICAS</b>			
Fuerza de Tensión	ASTM D638	MPa	27
Alargamiento de la tira a 23°C	ASTM D638	%	600
Escala M/R de dureza Rockwell	ASTM D 1693	HR	30
Temperatura de quebradizo	ASTM D 746	°C	<-75
<b>TÉRMICA</b>			
Vicat	ASTM D125	°C	127

Fuente: GS CALTEX Polyethylene Product-Ficha técnica

#### 4.2. Etapa 1-Primera dosificación

Se realizó un tanteo de la relación a/c y su respectiva evaluación para poder elaborar los ladrillos a base de ello.

Este es el factor más importante, porque determina los parámetros de resistencia, durabilidad y permeabilidad.

**Ilustración 4.** Tabla de relación a/c

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS		CONCRETO SIN INCLUSOR DE AIRE (RELACION ABSOLUTA POR PESO)	CONCRETO CON INCLUSOR DE AIRE (RELACION ABSOLUTA POR PESO)
KG/CM <sup>2</sup>	PSI		
175	2500	0.65	0.56
210	3000	0.58	0.50
245	3500	0.52	0.46
280	4000	0.47	0.42
315	4500	0.43	0.38
350	5000	0.40	0.35

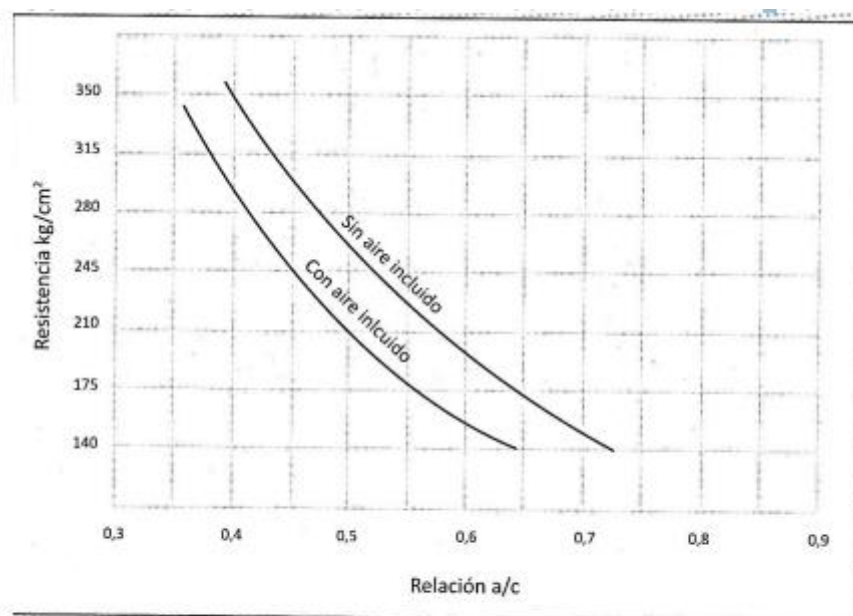
Fuente: Niño Hernández

Para hallar la resistencia a la compresión de 180 kg/cm<sup>2</sup> interpolamos los valores de la tabla para hallar su relación de agua y cemento.

$$\frac{210 - 180}{0.58 - a/c} = \frac{180 - 175}{a/c - 0.65}$$

$$a/c=0.64$$

**Ilustración 5.** Curvas de resistencia a la compresión y la resistencia  $a/c$



NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

Fuente: Niño Hernández

La elección de la relación agua/cemento: 0.64 depende de la resistencia y la durabilidad

#### 4.2.1. Número total de la muestra

Según la NTP 399.604 “Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto” que nos exige un total de 5 muestras para los ensayos de resistencia a la compresión, absorción, peso unitario (densidad), y succión.

La muestra se determinó en base de estudios estadísticos y según la confiabilidad prevista en los resultados. Utilizamos una confiabilidad de 98% para los especímenes en los ensayos de compresión simple, se consideró lo siguiente:

Tamaño de muestra

$$n = \frac{z^2 * \sigma^2}{E^2}$$

$$n = \frac{2.33^2 * 10^2}{10^2}$$

$$n=5.43$$

Tamaño de muestra:6 unidades

Población: 186 unidades

Análisis por días: 7 y 28 días

Para los porcentajes de dosificación se basó en tesis e investigaciones pasadas donde se puso en margen de usar el PET entre 20% a 50% y un HDPE entre 10% a 30% buscando el porcentaje óptimo de cemento y de arena gruesa para nuestra dosificación en esta primera etapa.

**Tabla 9.** Cuadro de porcentajes de dosificación

CEMENTO (%)	HDPE (%)	PET (%)	A. GRUESA (%)	CANT. MUESTRAS
10	20	30	40	6
10	10	40	40	6
20	20	40	20	6
20	10	50	20	6
20	20	30	30	6
20	10	40	30	6
20	20	20	40	6
20	10	30	40	6
30	20	30	20	6
30	10	40	20	6
30	20	20	30	6
30	10	30	30	6
40	20	30	10	6
40	10	40	10	6
40	20	20	20	6
40	10	30	20	6

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10. Volumen**

<b>VOLUMEN DE UN ECOLADRILLO (M3)</b>			
<b>LARGO (M)</b>	<b>ANCHO (M)</b>	<b>ALTO (M)</b>	<b>VOLUMEN</b>
0.24	0.14	0.09	0.003024

*Fuente:* Elaboración propia

**Tabla 11. Volumen de mezcla en m<sup>3</sup>**

<b>DOSIFICACIÓN REAL</b>			
<b>CEMENTO</b>	<b>HDPE</b>	<b>PET</b>	<b>A. GRUESA</b>
0.0003024	0.0006048	0.0009072	0.0012096
0.0003024	0.0003024	0.0012096	0.0012096
0.0006048	0.0006048	0.0012096	0.0006048
0.0006048	0.0003024	0.0015120	0.0006048
0.0006048	0.0006048	0.0009072	0.0009072
0.0006048	0.0003024	0.0012096	0.0009072
0.0006048	0.0006048	0.0006048	0.0012096
0.0006048	0.0003024	0.0009072	0.0012096
0.0009072	0.0006048	0.0009072	0.0006048
0.0009072	0.0003024	0.0012096	0.0006048
0.0009072	0.0006048	0.0006048	0.0009072
0.0009072	0.0003024	0.0009072	0.0009072
0.0012096	0.0006048	0.0009072	0.0003024
0.0012096	0.0003024	0.0012096	0.0003024
0.0012096	0.0006048	0.0006048	0.0006048
0.0012096	0.0003024	0.0009072	0.0006048

*Fuente:* Elaboración propia

**Tabla 12. Densidad**

<b>DENSIDAD (KG/M3)</b>					
<b>CEMENTO</b>	<b>HDPE</b>	<b>PET</b>	<b>ARENA GRUESA</b>	<b>AGUA</b>	
2750	955	295	1700	1000	

*Fuente:* Elaboración propia

**Tabla 13.** *Dosificaciones de la mezcla*

<b>DOSIFICACIONES</b>			
<b>CEMENTO (KG)</b>	<b>HDPE (KG)</b>	<b>PET (KG)</b>	<b>A. GRUESA (KG)</b>
0.82	0.58	0.27	2.06
0.82	0.29	0.36	2.06
1.63	0.58	0.36	1.03
1.63	0.29	0.45	1.03
1.63	0.58	0.27	1.54
1.63	0.29	0.36	1.54
1.63	0.58	0.18	2.06
1.63	0.29	0.27	2.06
2.45	0.58	0.27	1.03
2.45	0.29	0.36	1.03
2.45	0.58	0.18	1.54
2.45	0.29	0.27	1.54
3.27	0.58	0.27	0.51
3.27	0.29	0.36	0.51
3.27	0.58	0.18	1.03
3.27	0.29	0.27	1.03

*Fuente:* Elaboración propia

#### 4.2.2. Ensayo de variación de dimensiones a los 7 días

##### 4.2.2.1. Altura

**Tabla 14.** Variación de dimensiones (altura) a los 7 días primera dosificación añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%-30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.

ESPECIMEN	MUESTRA	DOSIFICACION	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	Hp	Hpf	$\sigma$	%
A	A1	10% Cemento	91.50	90.90	90.00	90.30	90.68	90.66	0.41	-0.73
	A2	20% HDPE	90.00	90.00	89.95	91.00	90.24			
	A3	30% PET	91.40	91.19	90.65	91.00	91.06			
B	B1	10% Cemento	92.27	91.16	91.50	91.30	91.56	91.02	0.49	-1.13
	B2	10% HDPE	90.50	90.20	90.50	91.20	90.60			
	B3	40% PET	90.87	90.35	91.14	91.25	90.90			
C	C1	20% Cemento	90.56	90.75	90.89	91.20	90.85	90.77	0.07	-0.86
	C2	20% HDPE	90.66	90.90	90.94	90.40	90.73			
	C3	40% PET	90.73	90.55	90.00	91.67	90.74			
D	D1	20% Cemento	91.22	89.82	91.00	91.30	90.84	90.49	0.43	-0.55
	D2	10% HDPE	89.95	90.00	90.15	89.95	90.01			
	D3	50% PET	90.07	91.57	90.90	90.00	90.64			
E	E1	20% Cemento	90.20	91.94	90.00	90.00	90.54	90.46	0.24	-0.51
	E2	20% HDPE	90.57	91.70	90.37	90.00	90.66			
	E3	30% PET	90.00	90.50	90.20	90.05	90.19			

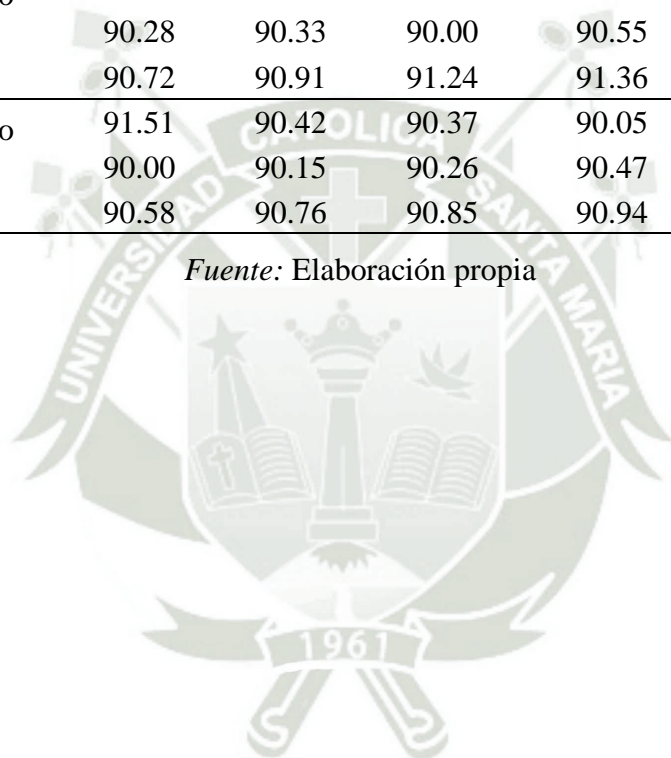
Continua tabla 11

F	F1	20% Cemento	90.00	90.45	90.79	90.10	90.34	90.45	0.22	-0.50
	F2	10% HDPE	90.05	90.25	91.03	90.46	90.45			
	F3	40% PET	90.02	90.00	91.73	90.51	90.57			
G	G1	20% Cemento	90.48	91.63	90.07	91.02	90.80	90.47	22.04	-0.52
	G2	20% HDPE	90.00	90.21	90.46	90.51	90.30			
	G3	20% PET	90.01	90.34	90.00	90.86	90.30			
H	H1	20% Cemento	90.00	90.28	90.43	90.05	90.19	90.41	27.90	-0.46
	H2	10% HDPE	90.05	90.64	90.57	90.82	90.52			
	H3	30% PET	90.00	90.11	91.08	90.93	90.53			
I	I1	30% Cemento	90.70	90.05	91.02	90.61	90.59	90.58	31.56	-0.65
	I2	20% HDPE	90.26	90.51	90.28	90.64	90.42			
	I3	30% PET	91.08	90.67	90.03	91.16	90.74			
J	J1	30% Cemento	91.58	90.54	90.37	90.20	90.67	90.56	33.74	-0.62
	J2	10% HDPE	90.62	90.21	90.58	90.35	90.44			
	J3	40% PET	90.92	90.64	90.36	90.34	90.57			
K	K1	30% Cemento	90.87	90.46	90.89	91.02	90.81	90.79	34.71	-0.88
	K2	20% HDPE	90.75	91.02	90.86	90.78	90.85			
	K3	20% PET	90.76	90.61	90.65	90.87	90.72			
L	L1	30% Cemento	90.86	90.41	90.72	90.25	90.56	90.71	34.55	-0.78
	L2	10% HDPE	90.03	91.05	90.58	91.25	90.73			
	L3	30% PET	90.66	91.10	90.85	90.72	90.83			
M	M1	40% Cemento	90.56	90.00	90.21	90.06	90.21	90.35	27.00	-0.39
	M2	20% HDPE	90.68	90.49	90.00	90.14	90.33			
	M3	30% PET	90.21	90.45	90.63	90.74	90.51			

Continua tabla 11

N	N1	40% Cemento	90.20	90.88	90.74	90.00	90.46	90.47	24.66	-0.53
	N2	10% HDPE	90.35	90.24	90.11	90.56	90.32			
	N3	40% PET	91.06	90.72	90.37	90.45	90.65			
O	O1	40% Cemento	90.21	90.46	90.05	90.67	90.35	90.57	21.33	-0.63
	O2	20% HDPE	90.28	90.33	90.00	90.55	90.29			
	O3	20% PET	90.72	90.91	91.24	91.36	91.06			
P	P1	40% Cemento	91.51	90.42	90.37	90.05	90.59	90.53	16.12	-0.59
	P2	10% HDPE	90.00	90.15	90.26	90.47	90.22			
	P3	30% PET	90.58	90.76	90.85	90.94	90.78			

Fuente: Elaboración propia



#### 4.2.2.2. Largo

**Tabla 15.** Variación de dimensiones (Largo) a los 7 días primera dosificación añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%-30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.

ESPECIMEN	MUESTRA	DOSIFICACIÓN	L1 (cm)	L2 (cm)	L3 (cm)	L4 (cm)	Lp	Lpf	$\sigma$	%
A	A1	10% Cemento	24.10	23.90	24.05	24.00	24.01	24.00	0.02	0.02
	A2	20% HDPE	24.05	23.85	24.00	24.00	23.98			
	A3	30% PET	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00			
B	B1	10% Cemento	24.05	23.90	24.00	24.00	23.99	24.03	0.04	-0.13
	B2	10% HDPE	24.15	24.00	24.00	24.05	24.05			
	B3	40% PET	24.10	24.10	24.00	24.01	24.05			
C	C1	20% Cemento	24.10	24.05	24.00	24.00	24.04	24.02	0.04	-0.07
	C2	20% HDPE	24.05	23.90	24.00	23.95	23.98			
	C3	40% PET	24.15	24.00	24.00	24.00	24.04			
D	D1	20% Cemento	24.05	24.00	24.00	23.95	24.00	23.99	0.05	0.03
	D2	10% HDPE	23.85	24.00	23.85	24.05	23.94			
	D3	50% PET	23.90	24.05	24.22	24.00	24.04			
E	E1	20% Cemento	24.00	24.00	24.00	24.15	24.04	24.06	0.04	-0.24
	E2	20% HDPE	24.10	23.90	24.05	24.10	24.04			
	E3	30% PET	24.25	24.15	23.95	24.05	24.10			
F	F1	20% Cemento	24.20	24.10	24.00	24.00	24.08	24.07	0.01	-0.28
	F2	10% HDPE	23.85	24.08	24.15	24.21	24.07			
	F3	40% PET	24.07	24.13	24.01	24.00	24.05			

Continua tabla 12

G	G1	20% Cemento	24.10	24.00	23.94	24.11	24.04	24.05	0.03	-0.19
	G2	20% HDPE	24.00	24.03	24.00	24.07	24.03			
	G3	20% PET	24.10	24.13	24.08	24.00	24.08			
H	H1	20% Cemento	24.00	24.08	24.07	24.14	24.07	24.04	0.03	-0.16
	H2	10% HDPE	24.03	23.89	24.00	24.15	24.02			
	H3	30% PET	23.99	24.06	24.00	24.05	24.03			
I	I1	30% Cemento	24.01	24.00	24.08	23.94	24.01	24.01	0.03	-0.05
	I2	20% HDPE	24.06	24.14	24.00	23.97	24.04			
	I3	30% PET	23.94	24.00	24.00	24.01	23.99			
J	J1	30% Cemento	24.00	23.99	24.00	24.05	24.01	24.11	0.11	-0.44
	J2	10% HDPE	24.00	24.10	24.08	24.13	24.08			
	J3	40% PET	24.05	24.00	23.91	24.95	24.23			
K	K1	30% Cemento	24.07	24.13	24.11	24.00	24.08	24.05	0.04	-0.19
	K2	20% HDPE	24.02	24.00	23.95	24.02	24.00			
	K3	20% PET	24.10	24.05	24.08	24.03	24.07			
L	L1	30% Cemento	23.91	24.10	24.06	24.07	24.04	24.05	0.01	-0.21
	L2	10% HDPE	24.08	24.00	24.13	24.05	24.07			
	L3	30% PET	24.00	24.01	24.07	24.12	24.05			
M	M1	40% Cemento	24.10	24.01	24.08	24.12	24.08	24.06	0.02	-0.26
	M2	20% HDPE	24.13	24.06	24.00	24.08	24.07			
	M3	30% PET	24.11	23.99	24.05	24.03	24.05			
N	N1	40% Cemento	24.06	24.03	23.97	24.08	24.04	24.05	0.03	-0.22
	N2	10% HDPE	24.03	24.12	24.10	24.08	24.08			
	N3	40% PET	24.00	24.09	23.96	24.12	24.04			
O	O1	40% Cemento	23.86	24.00	24.06	24.11	24.01	24.03	0.02	-0.12

Continua tabla 12

	O2	20% HDPE	24.00	24.05	24.09	23.97	24.03			
	O3	20% PET	24.01	24.00	24.08	24.11	24.05			
P	P1	40% Cemento	24.05	24.03	24.00	24.00	24.02	24.03	0.01	-0.14
	P2	10% HDPE	24.06	24.08	24.00	24.01	24.04			
	P3	30% PET	24.00	24.03	24.05	24.09	24.04			

Fuente: Elaboración propia



#### 4.2.2.3. Ancho

**Tabla 16.** Variación de dimensiones (ancho) a los 7 días primera dosificación añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%-30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.

ESPECIMEN	MUESTRA	DOSIFICACIÓN	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	A4 (mm)	Ap	Apf	$\sigma$	%
A	A1	10% Cemento	140.37	140.00	140.80	140.10	140.32	140.46	0.23	-0.33
	A2	20% HDPE	140.15	140.25	141.17	141.30	140.72			
	A3	30% PET	140.60	140.23	140.00	140.50	140.33			
B	B1	10% Cemento	140.20	140.33	141.34	141.10	140.74	140.57	0.15	-0.41
	B2	10% HDPE	140.53	140.16	140.99	140.30	140.50			
	B3	40% PET	140.52	140.10	140.90	140.35	140.47			
C	C1	20% Cemento	140.20	140.52	140.00	140.00	140.18	140.55	0.38	-0.40
	C2	20% HDPE	140.75	140.00	140.25	141.15	140.54			
	C3	40% PET	141.12	140.83	140.92	140.90	140.94			
D	D1	20% Cemento	140.79	140.43	140.32	141.50	140.76	140.93	0.15	-0.67
	D2	10% HDPE	140.96	140.76	140.85	141.60	141.04			
	D3	50% PET	141.03	140.97	140.84	141.15	141.00			
E	E1	20% Cemento	140.85	140.43	140.52	141.20	140.75	140.67	0.44	-0.48
	E2	20% HDPE	140.88	140.98	141.07	141.30	141.06			
	E3	30% PET	140.00	140.76	140.00	140.00	140.19			
F	F1	20% Cemento	140.91	140.47	140.83	140.00	140.55	140.42	0.28	-0.30
	F2	10% HDPE	140	140.02	140.14	140.23	140.10			
	F3	40% PET	141.01	140.06	140.82	140.55	140.61			

Continua tabla 13

G	G1	20% Cemento	140.25	140.37	140.27	140.58	140.37	140.55	0.19	-0.39
	G2	20% HDPE	140.25	140.37	140.58	140.89	140.52			
	G3	20% PET	141.05	140.38	140.85	140.73	140.75			
H	H1	20% Cemento	140.28	140.78	140.92	141.12	140.78	140.49	0.25	-0.35
	H2	10% HDPE	140.00	140.14	140.25	140.75	140.29			
	H3	30% PET	140.21	140.17	140.59	140.67	140.41			
I	I1	30% Cemento	140.25	140.52	140.76	140.58	140.53	140.38	0.15	-0.27
	I2	20% HDPE	140.23	140.00	140.57	140.11	140.23			
	I3	30% PET	140.46	140	140.29	140.74	140.37			
J	J1	30% Cemento	140.12	140.57	140.17	140.28	140.29	140.36	0.18	-0.26
	J2	10% HDPE	140.39	140.25	140.35	141.27	140.57			
	J3	40% PET	140.47	140.00	140.33	140.10	140.23			
K	K1	30% Cemento	140.48	140.30	140.43	141.44	140.66	140.61	0.08	-0.44
	K2	20% HDPE	140.88	140.63	140.00	141.09	140.65			
	K3	20% PET	140.24	140.62	140.20	141.00	140.52			
L	L1	30% Cemento	140.23	140.30	140.62	140.05	140.30	140.39	0.14	-0.28
	L2	10% HDPE	140	140.85	140.10	140.35	140.33			
	L3	30% PET	140.05	141.22	140.93	140.00	140.55			
M	M1	40% Cemento	140.08	140.89	140.53	140.42	140.48	140.50	0.13	-0.36
	M2	20% HDPE	140.57	141.06	140.00	140.95	140.65			
	M3	30% PET	140.33	140.38	140.01	140.81	140.38			
N	N1	40% Cemento	140.73	140.16	140.26	141.18	140.58	140.52	0.19	-0.37
	N2	10% HDPE	140.34	140.61	140.24	140.01	140.30			
	N3	40% PET	140.75	140.21	140.34	141.35	140.66			

Continua tabla 13

O	O1	40% Cemento	140.51	140.54	140.17	140.05	140.32	140.28	0.04	-0.20
	O2	20% HDPE	140.48	140.53	140.11	140.09	140.30			
	O3	20% PET	140.19	140.21	140.53	140.01	140.24			
P	P1	40% Cemento	140.55	140.76	140.10	140.26	140.42	140.66	0.28	-0.47
	P2	10% HDPE	140.95	141.13	140.84	140.93	140.96			
	P3	30% PET	140.77	140.80	140.44	140.33	140.59			

*Fuente:* Elaboración propia



#### 4.2.2.4. Resumen y clasificación de muestras

**Tabla 17.** *Resumen y clasificación de muestras*

ESPECIMEN	ALTURA	LARGO	ANCHO	VH	VL	VA
A	90.66	24.00	140.46	-0.73	0.02	-0.33
B	91.02	24.03	140.57	-1.13	-0.13	-0.41
C	90.77	24.02	140.55	-0.86	-0.07	-0.40
D	90.49	23.99	140.93	-0.55	0.03	-0.67
E	90.46	24.06	140.67	-0.51	-0.24	-0.48
F	90.45	24.07	140.42	-0.50	-0.28	-0.30
G	90.47	24.05	140.55	-0.52	-0.19	-0.39
H	90.41	24.04	140.49	-0.46	-0.16	-0.35
I	90.58	24.01	140.38	-0.65	-0.05	-0.27
J	90.56	24.11	140.36	-0.62	-0.44	-0.26
K	90.79	24.05	140.61	-0.88	-0.19	-0.44
L	90.71	24.05	140.39	-0.78	-0.21	-0.28
M	90.35	24.06	140.50	-0.39	-0.26	-0.36
N	90.47	24.05	140.52	-0.53	-0.22	-0.37
O	90.57	24.03	140.28	-0.63	-0.12	-0.20
P	90.53	24.03	140.66	-0.59	-0.14	-0.47

*Fuente:* Elaboración propia

4.2.3. *Ensayo de alabeo*

**Tabla 18.** *Ensayo de alabeo*

ESPECIMEN	MUESTRA	DIAGONAL 1		DIAGONAL 2		DIAGONAL 3		DIAGONAL 4		PROMEDIO	
		CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO
A	A1		2.00		1.50		2.00		1.50	0.00	1.75
	A2		2.00		2.00		2.00		1.00	0.00	1.75
	A3		2.00		2.00		1.50		1.50	0.00	1.75
B	B1		2.00	2.00		1.00		1.50		0.88	0.75
	B2	0.00	0.00	0.00	0.00		1.00		1.00	0.00	0.50
	B3		1.00		1.00	2.00			2.00	0.50	1.00
C	C1		0.50		0.50		1.00	1.00		0.25	0.50
	C2	2.00		2.00			1.00		2.00	1.00	0.75
	C3	1.00		0.50		2.00			2.00	0.88	0.50
D	D1			2.50		1.00			2.50	0.88	0.63
	D2		2.00		2.00		1.50		2.00	0.00	1.88
	D3		2.50		3.00		3.00		1.50	0.00	2.50
E	E1	1.00		1.00			1.50		1.00	0.50	0.63
	E2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	E3	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00		1.00		0.50	0.00

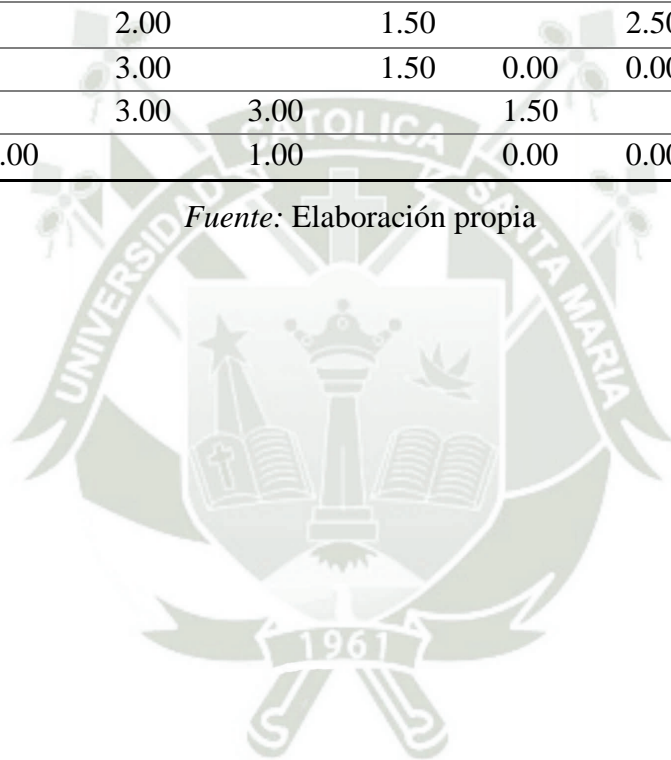
Continua tabla 15

F	F1		0.00		0.00		1.00		1.00	0.00	0.50
	F2	1.50		1.00		2.50	2.00	3.00	2.00	2.00	1.00
	F3	1.00		1.00		1.50		2.00		1.38	0.00
G	G1	1.00		1.50		1.00		1.50		1.25	0.00
	G2		2.50		1.50		2.00		1.50	0.00	1.88
	G3		2.50		3.00		3.00		3.00	0.00	2.88
H	H1	2.00		1.00		2.50		1.50		1.75	0.00
	H2	2.00		2.00		2.50		1.50		2.00	0.00
	H3	2.00		3.00		2.00		2.00		2.25	0.00
I	I1	1.00		2.50		1.50		2.50		1.88	0.00
	I2	2.00		2.50		1.00		2.00		1.88	0.00
	I3	1.50		1.50		2.00		1.50		1.63	0.00
J	J1		2.00		1.50	3.00			2.00	0.75	1.38
	J2		3.00		1.50	1.50		2.00		0.88	1.13
	J3	1.50			3.00	2.50		3.00		1.75	0.75
K	K1	2.50		1.50		1.00		3.00		2.00	0.00
	K2	2.00		3.00		2.00		2.50		2.38	0.00
	K3		2.00		2.00	1.50		2.00		0.88	1.00
L	L1		2.50		2.00		1.50		2.50	0.00	2.13
	L2		2.50		1.50		2.00		1.00	0.00	1.75
	L3	3.00		2.50			2.50		2.00	1.38	1.13
M	M1	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00		1.00		0.50	0.00
	M2	2.50		1.50		2.00		2.00		2.00	0.00
	M3	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	2.50	2.50	1.50	0.88	1.00
N	N1		3.00		4.00		3.00		2.00	0.00	3.00

Continua tabla 15

	N2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.25
	N3		2.00	2.00		3.00		3.00	0.50	2.00
O	O1	1.00		2.00	0.00	0.00	1.00		1.00	0.00
	O2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50		1.50	0.75	0.00
	O3		2.00		1.50	2.50		1.50	0.00	1.88
P	P1		3.00		1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.13
	P2		3.00	3.00		1.50		1.00	1.38	0.75
	P3	1.00		1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00

*Fuente:* Elaboración propia



#### 4.2.4. Ensayo de resistencia a compresión simple a los 7 días (136 kg/cm<sup>2</sup>)

**Tabla 19.** Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%-30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.

Muestra	Dosificación	H(cm)	L(cm)	A(cm)	Área	P (max)	f'b	f'b prom	$\sigma$	f'b corregido
A1	10% Cemento	9.07	24.01	14.03	336.94	5242	15.56	15.35	1.03	14.33
A2	20% HDPE	9.02	23.98	14.07	337.37	4805	14.24			
A3	30% PET	9.11	24.00	14.03	336.80	5477	16.26			
B1	10% Cemento	9.16	23.99	14.07	337.61	27552	81.61	83.56	1.96	81.60
B2	10% HDPE	9.06	24.05	14.05	337.89	28224	83.53			
B3	40% PET	9.09	24.05	14.05	337.86	28896	85.53			
C1	20% Cemento	9.09	24.04	14.02	336.96	30576	90.74	92.18	1.32	90.86
C2	20% HDPE	9.07	23.98	14.05	336.94	31445	93.33			
C3	40% PET	9.07	24.04	14.09	338.79	31324	92.46			
D1	20% Cemento	9.08	24.00	14.08	337.82	30240	89.51	94.39	4.80	89.59
D2	10% HDPE	9.00	23.94	14.10	337.62	31920	94.54			
D3	50% PET	9.06	24.04	14.10	338.99	33600	99.12			
E1	20% Cemento	9.05	24.04	14.08	338.33	44689	132.09	127.41	7.02	120.39
E2	20% HDPE	9.07	24.04	14.11	339.07	44352	130.81			
E3	30% PET	9.02	24.10	14.02	337.86	40320	119.34			
F1	20% Cemento	9.03	24.08	14.06	338.38	39190	115.82	113.79	6.11	107.68
F2	10% HDPE	9.04	24.07	14.01	337.25	40006	118.62			
F3	40% PET	9.06	24.05	14.06	338.20	36163	106.93			

Continua tabla 16

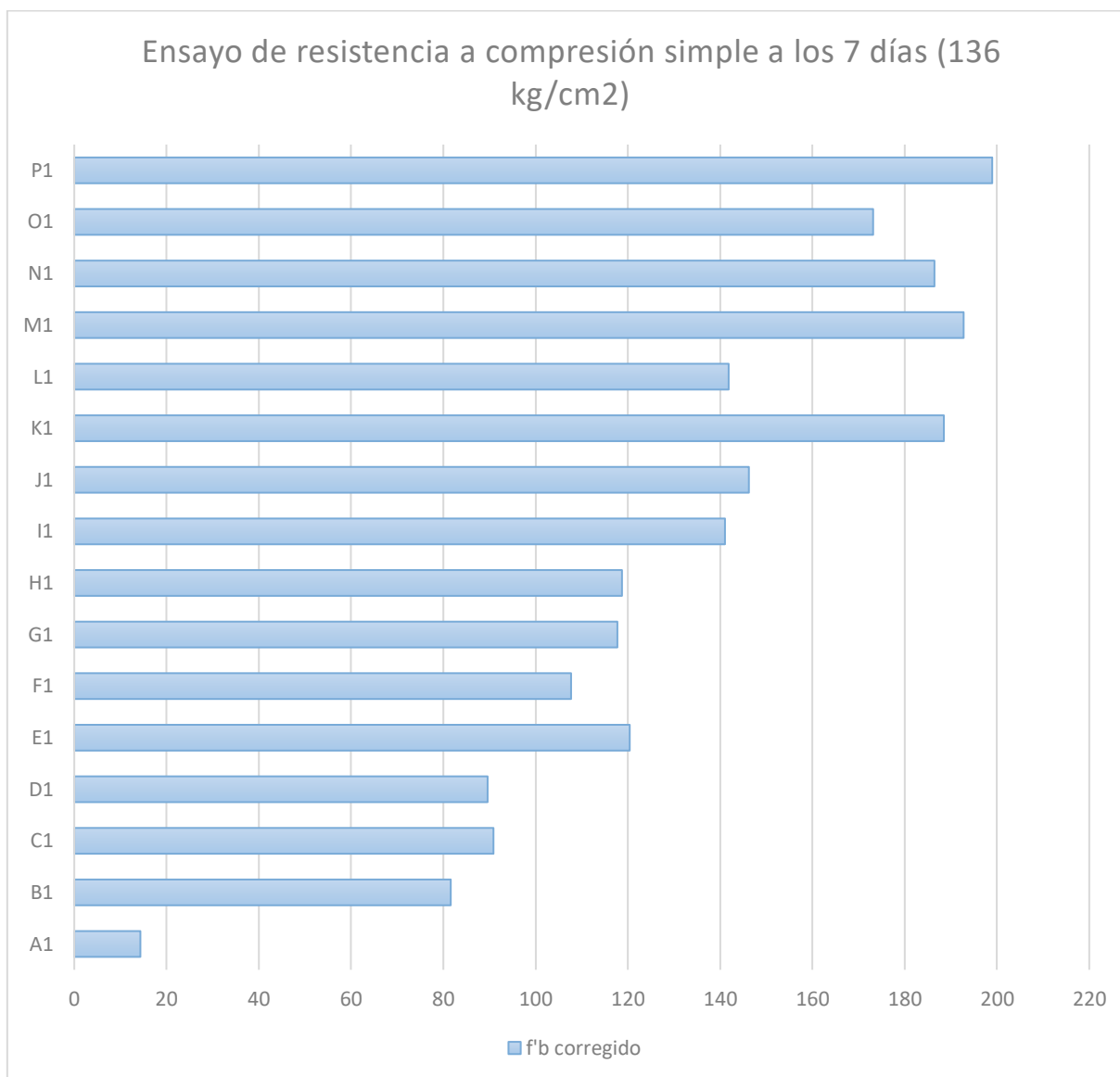
G1	20% Cemento	9.08	24.04	14.04	337.41	39636	117.47	119.80	2.08	117.72
G2	20% HDPE	9.03	24.03	14.05	337.61	41011	121.48			
G3	20% PET	9.03	24.08	14.08	338.90	40818	120.44			
H1	20% Cemento	9.02	24.07	14.08	338.88	43077	127.12	126.32	7.61	118.72
H2	10% HDPE	9.05	24.02	14.03	336.93	44981	133.50			
H3	30% PET	9.05	24.03	14.04	337.34	39925	118.35			
I1	30% Cemento	9.06	24.01	14.05	337.37	52819	156.56	151.65	10.60	141.04
I2	20% HDPE	9.04	24.04	14.02	337.14	53572	158.90			
I3	30% PET	9.07	23.99	14.04	336.72	46964	139.48			
J1	30% Cemento	9.07	24.01	14.03	336.82	55839	165.78	162.65	16.43	146.22
J2	10% HDPE	9.04	24.08	14.06	338.45	60003	177.29			
J3	40% PET	9.06	24.23	14.02	339.73	49222	144.89			
K1	30% Cemento	9.08	24.08	14.07	338.68	63817	188.43	189.33	0.84	188.49
K2	20% HDPE	9.09	24.00	14.07	337.52	63948	189.46			
K3	20% PET	9.07	24.07	14.05	338.15	64283	190.10			
L1	30% Cemento	9.06	24.04	14.03	337.21	51572	152.94	149.43	7.59	141.84
L2	10% HDPE	9.07	24.07	14.03	337.69	52214	154.62			
L3	30% PET	9.08	24.05	14.06	338.02	47566	140.72			
M1	40% Cemento	9.02	24.08	14.05	338.24	65241	192.88	193.29	0.53	192.77
M2	20% HDPE	9.03	24.07	14.06	338.50	65367	193.11			
M3	30% PET	9.05	24.05	14.04	337.55	65447	193.89			
N1	40% Cemento	9.05	24.04	14.06	337.89	62864	186.05	189.15	2.70	186.44
N2	10% HDPE	9.03	24.08	14.03	337.88	64546	191.03			
N3	40% PET	9.07	24.04	14.07	338.19	64378	190.36			
O1	40% Cemento	9.03	24.01	14.03	336.87	59808	177.54	177.33	4.18	173.15

Continua tabla 16

O2	20% HDPE	9.03	24.03	14.03	337.11	61152	181.40			
O3	20% PET	9.11	24.05	14.02	337.27	58363	173.05			
P1	40% Cemento	9.06	24.02	14.04	337.28	67320	199.60	202.19	3.22	198.96
P2	10% HDPE	9.02	24.04	14.10	338.84	68164	201.17			
P3	30% PET	9.08	24.04	14.06	338.00	69560	205.80			



**Ilustración 6.** *Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días*

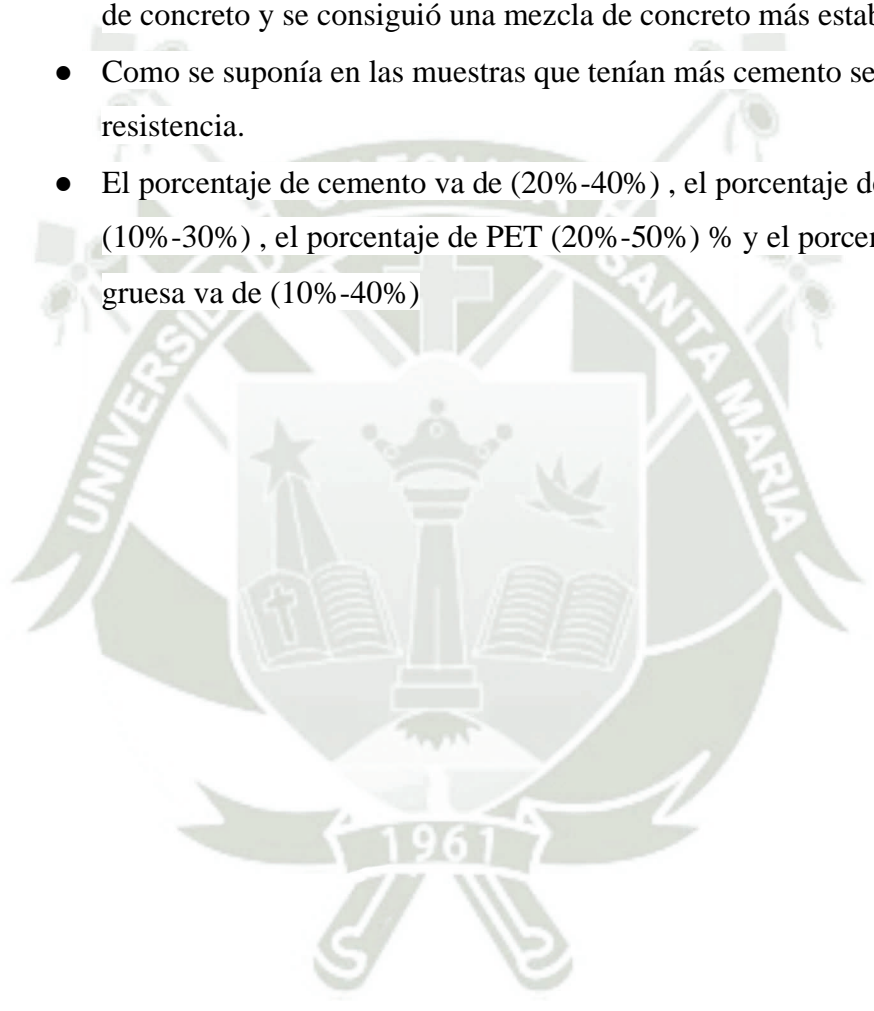


*Fuente:* Elaboración propia

En la figura se puede observar en el eje vertical cada una de las muestras realizadas y en el eje horizontal la resistencia a la compresión que llegaron a cada muestra.

## COMENTARIOS

- El objetivo de la primera dosificación es encontrar un porcentaje fijo de cemento y arena gruesa para que las únicas variables sean el HDPE Y PET
- Se observó que los ensayos que cumple con la resistencia a la compresión a los 7 días son las muestras I,J,K,L,M,N,O,P
- Se observó que la arena gruesa cumple la función de relleno para la mezcla de concreto y se consiguió una mezcla de concreto más estable y rígida.
- Como se suponía en las muestras que tenían más cemento se obtuvo más resistencia.
- El porcentaje de cemento va de (20%-40%) , el porcentaje de HDPE va (10%-30%) , el porcentaje de PET (20%-50%) % y el porcentaje de arena gruesa va de (10%-40%)



#### 4.2.5. Ensayo de variación de dimensiones a los 28 días

##### 4.2.5.1. Altura

**Tabla 20.** Variación de dimensiones (altura) a los 28 días primera dosificación añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%-30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.

Espécimen	Muestra	Dosificación	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	Hp	Hpf	$\sigma$	%
A	A1	10% Cemento	90.05	90.84	90.27	90.07	90.31	90.60	0.36	-0.67
	A2	20% HDPE	90.37	90.26	90.57	90.76	90.49			
	A3	30% PET	91.05	91.60	90.18	91.20	91.01			
B	B1	10% Cemento	90.25	90.76	91.10	90.70	90.70	90.71	0.23	-0.78
	B2	10% HDPE	90.52	90.14	90.28	90.97	90.48			
	B3	40% PET	90.54	90.90	91.20	91.10	90.94			
C	C1	20% Cemento	90.87	90.56	90.45	91.10	90.75	90.80	0.05	-0.89
	C2	20% HDPE	90.92	90.63	90.52	91.17	90.81			
	C3	40% PET	91.02	90.28	90.24	91.83	90.84			
D	D1	20% Cemento	91.75	90.25	90.78	91.18	90.99	90.65	0.38	-0.72
	D2	10% HDPE	90.25	90.07	90.67	89.97	90.24			
	D3	50% PET	90.37	91.57	90.90	90.00	90.71			
E	E1	20% Cemento	90.50	91.94	90.00	90.00	90.61	90.51	0.15	-0.56
	E2	20% HDPE	90.87	90.85	90.37	90.21	90.58			
	E3	30% PET	90.89	90.46	89.95	90.05	90.34			

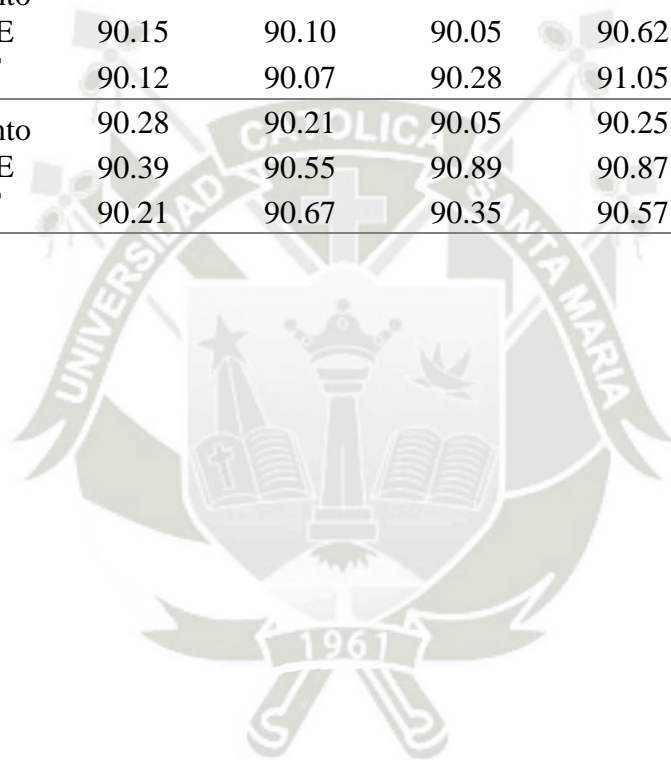
Continua tabla 17

F	F1	20% Cemento	90.10	90.00	90.20	90.15	90.11	90.42	0.27	-0.47
	F2	10% HDPE	90.35	90.55	91.10	90.08	90.52			
	F3	40% PET	90.02	90.00	91.73	90.75	90.63			
G	G1	20% Cemento	90.28	91.08	90.14	91.46	90.74	90.68	0.19	-0.75
	G2	20% HDPE	90.05	90.00	90.86	90.94	90.46			
	G3	20% PET	91.01	90.80	90.07	91.42	90.83			
H	H1	20% Cemento	90.58	90.46	90.21	90.17	90.36	90.57	0.20	-0.64
	H2	10% HDPE	90.86	90.82	90.13	91.23	90.76			
	H3	30% PET	90.05	90.56	91.10	90.70	90.60			
I	I1	30% Cemento	90.33	90.55	90.25	90.07	90.30	90.54	0.25	-0.60
	I2	20% HDPE	90.51	90.84	90.34	90.39	90.52			
	I3	30% PET	91.03	90.36	90.76	91.07	90.80			
J	J1	30% Cemento	90.72	90.73	90.24	90.58	90.57	91.41	1.47	-1.57
	J2	10% HDPE	90.50	90.86	91.22	99.87	93.11			
	J3	40% PET	90.96	90.41	90.26	90.58	90.55			
K	K1	30% Cemento	90.77	91.05	90.74	90.14	90.67	90.54	0.13	-0.60
	K2	20% HDPE	90.83	90.35	90.75	90.23	90.54			
	K3	20% PET	90.86	90.17	90.28	90.32	90.41			
L	L1	30% Cemento	91.01	90.14	90.78	90.86	90.70	90.63	0.10	-0.70
	L2	10% HDPE	90.26	91.23	90.71	90.55	90.69			
	L3	30% PET	90.73	90.25	90.76	90.31	90.51			
M	M1	40% Cemento	90.63	91.23	90.00	90.10	90.49	90.55	0.06	-0.62
	M2	20% HDPE	90.60	90.70	90.25	90.86	90.60			
	M3	30% PET	90.36	90.24	90.71	90.97	90.57			

Continua tabla 17

N	N1	40% Cemento	90.00	90.45	90.23	90.85	90.38	90.65	0.26	-0.72
	N2	10% HDPE	90.85	90.60	90.70	90.55	90.68			
	N3	40% PET	91.20	90.12	91.05	91.22	90.90			
O	O1	40% Cemento	90.27	90.25	90.18	91.31	90.50	90.37	0.14	-0.41
	O2	20% HDPE	90.15	90.10	90.05	90.62	90.23			
	O3	20% PET	90.12	90.07	90.28	91.05	90.38			
P	P1	40% Cemento	90.28	90.21	90.05	90.25	90.20	90.44	0.24	-0.49
	P2	10% HDPE	90.39	90.55	90.89	90.87	90.68			
	P3	30% PET	90.21	90.67	90.35	90.57	90.45			

Fuente: Elaboración propia



#### 4.2.5.2. Largo

**Tabla 21.** Variación de dimensiones (largo) a los 28 días primera dosificación añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%-30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.

Espécimen	Muestra	Dosificación	L1 (cm)	L2 (cm)	L3 (cm)	L4 (cm)	Lp	Lpf	$\sigma$	%
A	A1	10% Cemento	24.25	24.00	24.07	24.04	24.09	24.05	0.04	-0.20
	A2	20% HDPE	24.02	23.97	24.04	24.02	24.01			
	A3	30% PET	24.06	24.00	24.00	24.12	24.05			
B	B1	10% Cemento	23.97	24.00	24.02	24.05	24.01	24.01	0.01	-0.06
	B2	10% HDPE	24.07	23.97	24.05	24.00	24.02			
	B3	40% PET	24.02	24.07	23.95	24.00	24.01			
C	C1	20% Cemento	24.05	24.00	24.04	24.10	24.05	24.04	0.03	-0.15
	C2	20% HDPE	23.97	23.99	24.04	24.00	24.00			
	C3	40% PET	24.07	24.02	24.06	24.10	24.06			
D	D1	20% Cemento	24.00	24.15	23.95	24.00	24.03	24.04	0.02	-0.16
	D2	10% HDPE	23.95	24.04	24.12	24.00	24.03			
	D3	50% PET	24.00	24.06	24.14	24.05	24.06			
E	E1	20% Cemento	24.01	24.05	24.10	24.05	24.05	24.04	0.01	-0.16
	E2	20% HDPE	24.02	23.95	24.10	24.07	24.04			
	E3	30% PET	24.00	24.00	24.00	24.10	24.03			
F	F1	20% Cemento	24.05	24.00	24.02	24.05	24.03	24.04	0.03	-0.15
	F2	10% HDPE	23.98	24.00	24.05	24.00	24.01			
	F3	40% PET	24.15	24.02	24.05	24.07	24.07			

Continua tabla 18

G	G1	20% Cemento	24.08	24.06	24.00	24.02	24.04	24.05	0.01	-0.20
	G2	20% HDPE	24.03	24.07	24.05	24.10	24.06			
	G3	20% PET	24.15	24.00	24.02	24.00	24.04			
H	H1	20% Cemento	24.05	24.00	24.00	24.05	24.03	24.04	0.02	-0.16
	H2	10% HDPE	24.00	24.00	24.05	24.10	24.04			
	H3	30% PET	23.95	24.15	24.00	24.12	24.06			
I	I1	30% Cemento	24.12	24.05	24.02	24.00	24.05	24.03	0.03	-0.13
	I2	20% HDPE	24.00	24.10	24.05	24.05	24.05			
	I3	30% PET	23.98	24.00	24.00	24.01	24.00			
J	J1	30% Cemento	24.11	24.01	24.06	24.06	24.06	24.04	0.01	-0.18
	J2	10% HDPE	23.95	24.06	24.09	24.03	24.03			
	J3	40% PET	24.08	23.99	24.08	24.00	24.04			
K	K1	30% Cemento	24.00	24.10	24.15	24.00	24.06	24.04	0.03	-0.18
	K2	20% HDPE	23.98	24.02	24.00	24.05	24.01			
	K3	20% PET	24.15	24.07	24.00	24.00	24.06			
L	L1	30% Cemento	23.99	24.15	24.02	24.04	24.05	24.05	0.02	-0.20
	L2	10% HDPE	24.00	24.02	24.00	24.10	24.03			
	L3	30% PET	24.00	24.00	24.10	24.15	24.06			
M	M1	40% Cemento	24.15	24.00	24.00	24.05	24.05	24.06	0.01	-0.24
	M2	20% HDPE	23.97	24.05	24.12	24.10	24.06			
	M3	30% PET	24.15	24.00	24.10	24.00	24.06			
N	N1	40% Cemento	24.00	24.05	23.99	24.00	24.01	24.04	0.03	-0.18
	N2	10% HDPE	24.05	24.05	24.15	24.05	24.08			
	N3	40% PET	24.02	24.10	24.00	24.05	24.04			
O	O1	40% Cemento	24.00	24.05	24.08	24.10	24.06	24.07	0.01	-0.27

Continúa tabla 18

	O2	20% HDPE	24.05	24.10	24.15	24.00	24.08			
	O3	20% PET	24.00	24.20	24.00	24.05	24.06			
P	P1	40% Cemento	24.10	24.00	24.05	24.10	24.06	24.03	0.03	-0.14
	P2	10% HDPE	24.00	24.05	24.02	24.05	24.03			
	P3	30% PET	23.98	24.00	24.05	24.00	24.01			

Fuente: Elaboración propia



#### 4.2.5.3. Ancho

**Tabla 22.** Variación de dimensiones (ancho) a los 28 días primera dosificación añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%-30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.

Espécimen	Muestra	Dosificación	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	A4 (mm)	Ap	Apf	$\sigma$	%
A	A1	10% Cemento	140.10	140.05	140.00	140.35	140.13	140.28	0.31	-0.20
	A2	20% HDPE	140.00	140.40	141.05	141.10	140.64			
	A3	30% PET	140.15	140.07	140.00	140.12	140.09			
B	B1	10% Cemento	140.02	140.43	141.07	140.05	140.39	140.28	0.18	-0.20
	B2	10% HDPE	140.12	140.08	140.05	141.23	140.37			
	B3	30% PET	140.18	140.10	140.02	140.00	140.08			
C	C1	20% Cemento	140.04	140.25	140.00	140.00	140.07	140.32	0.24	-0.23
	C2	20% HDPE	140.41	140.00	140.06	140.89	140.34			
	C3	40% PET	140.53	140.30	140.47	140.90	140.55			
D	D1	20% Cemento	140.45	140.25	140.14	140.00	140.21	140.35	0.13	-0.25
	D2	10% HDPE	140.62	140.35	140.44	140.15	140.39			
	D3	50% PET	140.69	140.63	140.50	140.00	140.46			
E	E1	20% Cemento	140.51	140.27	140.36	141.05	140.55	140.44	0.17	-0.31
	E2	20% HDPE	140.61	140.64	140.73	140.12	140.53			
	E3	30% PET	140.00	140.91	140.00	140.07	140.25			
F	F1	20% Cemento	140.46	140.38	140.31	140.43	140.40	140.59	0.17	-0.42
	F2	10% HDPE	140.33	140.74	141.38	140.36	140.70			
	F3	40% PET	140.43	140.39	140.36	141.54	140.68			

Continua tabla 19

G	G1	20% Cemento	140	140.45	140.27	140.58	140.33	140.39	0.10	-0.28
	G2	20% HDPE	140.05	140.12	140.63	140.57	140.34			
	G3	20% PET	140.75	140.45	140.3	140.52	140.51			
H	H1	20% Cemento	140.85	140.25	140.55	140.79	140.61	140.46	0.13	-0.33
	H2	10% HDPE	140.02	140.46	140.89	140.08	140.36			
	H3	30% PET	140.21	140.17	140.59	140.67	140.41			
I	I1	30% Cemento	140.25	140.52	140.76	140.58	140.53	140.38	0.15	-0.27
	I2	20% HDPE	140.23	140.00	140.57	140.11	140.23			
	I3	30% PET	140.46	140	140.29	140.74	140.37			
J	J1	30% Cemento	140.12	140.57	140.17	140.28	140.29	140.32	0.22	-0.23
	J2	10% HDPE	140.47	140.10	140.50	141.15	140.56			
	J3	40% PET	140.22	140.00	140.17	140.10	140.12			
K	K1	30% Cemento	140.55	140.12	140.53	141.17	140.59	140.35	0.21	-0.25
	K2	20% HDPE	140.35	140.22	140.00	140.15	140.18			
	K3	20% PET	140.56	140.28	140.20	140.12	140.29			
L	L1	30% Cemento	140.23	140.14	140.35	140.10	140.21	140.22	0.04	-0.16
	L2	10% HDPE	140	140.51	140.10	140.16	140.19			
	L3	30% PET	140.05	140.63	140.40	140.00	140.27			
M	M1	40% Cemento	139.85	140.55	140.35	140.24	140.25	140.19	0.14	-0.14
	M2	20% HDPE	139.90	140.72	140.00	140.54	140.29			
	M3	30% PET	139.95	140.11	140.06	140.01	140.03			
N	N1	40% Cemento	140.65	140.01	140.41	141.06	140.53	140.37	0.25	-0.26
	N2	10% HDPE	140.10	140.16	140.08	140.01	140.09			
	N3	40% PET	140.40	140.03	140.44	141.08	140.49			

Continua tabla 19

O	O1	40% Cemento	140.38	140.13	140.09	140.00	140.15	140.12	0.03	-0.08
	O2	20% HDPE	140.09	140.19	140.11	140.00	140.10			
	O3	20% PET	140.08	140.05	140.26	140.01	140.10			
P	P1	40% Cemento	140.35	140.42	140.00	140.07	140.21	140.32	0.14	-0.23
	P2	10% HDPE	140.56	140.54	140.31	140.48	140.47			
	P3	30% PET	140.22	140.46	140.26	140.15	140.27			

Fuente: Elaboración propia



#### 4.2.5.4. Resumen y clasificación de muestras

**Tabla 23.** Resumen y clasificación de muestras

ESPECIMEN	ALTURA	LARGO	ANCHO	VH	VL	VA	TIPO		
							H	L	A
A	90.60	24.05	140.28	-0.67	-0.20	-0.20	V	V	V
B	90.71	24.01	140.28	-0.78	-0.06	-0.20	V	V	V
C	90.80	24.04	140.32	-0.89	-0.15	-0.23	V	V	V
D	90.65	24.04	140.35	-0.72	-0.16	-0.25	V	V	V
E	90.51	24.04	140.44	-0.56	-0.16	-0.31	V	V	V
F	90.42	24.04	140.59	-0.47	-0.15	-0.42	V	V	V
G	90.68	24.05	140.32	-0.75	-0.20	-0.28	V	V	V
H	90.57	24.04	140.46	-0.64	-0.16	-0.33	V	V	V
I	90.54	24.03	140.38	-0.60	-0.13	-0.27	V	V	V
J	91.41	24.04	140.32	-1.57	-0.18	-0.23	V	V	V
K	90.54	24.04	140.35	-0.60	-0.18	-0.25	V	V	V
L	90.63	24.05	140.22	-0.70	-0.20	-0.16	V	V	V
M	90.55	24.06	140.19	-0.62	-0.24	-0.14	V	V	V
N	90.65	24.04	140.37	-0.72	-0.18	-0.26	V	V	V
O	90.37	24.07	140.12	-0.41	-0.27	-0.08	V	V	V
P	90.44	24.03	140.32	-0.49	-0.14	-0.23	V	V	V

*Fuente:* Elaboración propia

4.2.6. Ensayo de alabeo a los 28 días

Tabla 24. Ensayo de alabeo

ESPECIMEN	MUESTRA	DIAGONAL 1		DIAGONAL 2		DIAGONAL 3		DIAGONAL 4		PROMEDIO		TIPO
		CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO	
A	A1		0.00	0.00		2.00		2.00	0.00	1.00	V	
	A2		1.00		2.00	1.00		2.00	0.00	1.50	V	
	A3	1.00		1.00		1.00	1.00		1.00	0.00	V	
B	B1		1.00	1.00		4.00		1.50	1.63	0.25	V	
	B2		2.00		1.50	1.50		1.50	0.00	1.63	V	
	B3	1.50		1.00	1.00		1.00	3.50	0.88	1.13	V	
C	C1		1.00		1.50	1.00	1.50		0.38	0.88	V	
	C2		0.00		0.00	0.50	1.00		0.25	0.13	V	
	C3		1.50		1.50	1.50		1.50	0.00	1.50	V	
D	D1		2.50		2.00	1.50	2.00		0.50	1.50	V	
	D2	2.50			1.50	1.50		1.50	1.38	0.38	V	
	D3		1.50		2.00	2.00		2.00	0.00	1.88	V	
E	E1		2.00	2.00		1.50		1.50	0.88	0.88	V	
	E2	0.00	0.00	0.00	0.00		0.50	1.00	0.25	0.13	V	
	E3	1.00			2.00	2.00		1.50	0.25	1.38	V	

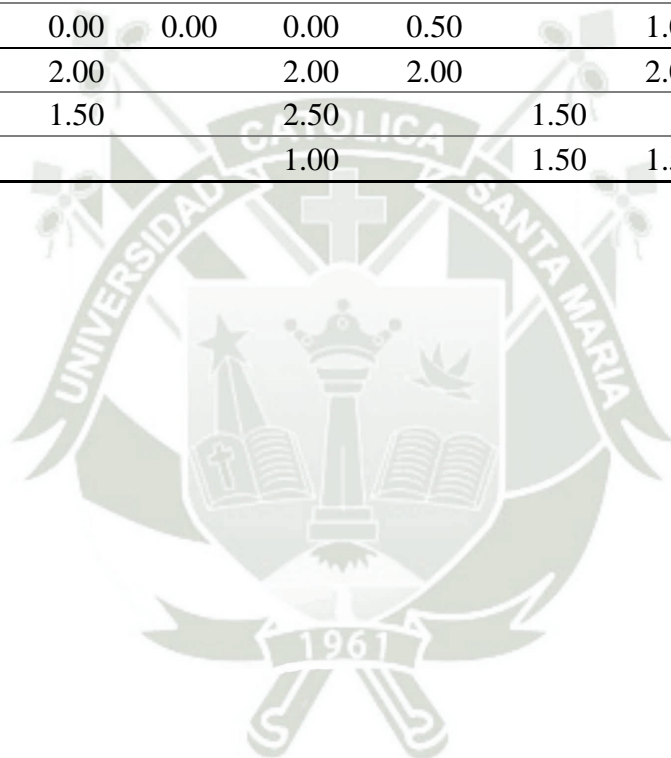
Continua tabla 21

F	F1	1.00		2.00		1.50	1.50		1.13	0.38	V	
	F2		1.50	2.00		2.00		2.00	1.00	0.88	V	
	F3		1.50	2.00		2.00		1.00	1.25	0.38	V	
G	G1	0.00	0.00	0.00	0.00		0.50		1.00	0.00	0.38	V
	G2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.13	V
	G3		1.00		1.00		2.00		1.50	0.00	1.38	V
H	H1	1.00		1.00		1.00	1.00		0.75	0.25	V	
	H2	0.00	0.00	0.00	0.00		1.00		0.50	0.00	0.38	V
	H3		2.00		1.00	2.00		2.50		1.13	0.75	V
I	I1		1.00	1.00		1.00		1.00	0.25	0.75	V	
	I2	1.50			2.00		2.00	1.50		0.75	1.00	V
	I3		1.50	1.50		2.00		2.00		1.38	0.38	V
J	J1		2.00	2.00		2.00		2.00		1.50	0.50	V
	J2		1.50		1.50	1.50			1.50	0.38	1.13	V
	J3		1.50		2.00		1.50	2.00		0.50	1.25	V
K	K1	1.50			1.50		1.50	1.00		0.63	0.75	V
	K2		1.50		1.00	1.50		1.50		0.75	0.63	V
	K3	0.00	0.00	0.00	0.00		1.50	1.50		0.38	0.38	V
L	L1	1.00			1.50		1.00		1.50	0.25	1.00	V
	L2		2.00		2.00		2.00	1.50		0.38	1.50	V
	L3		2.00		1.50	1.50			2.00	0.38	1.38	V
M	M1	2.00		2.00			2.00		2.00	2.00	2.00	V
	M2	1.00			1.00		2.50	2.00		0.75	0.88	V
	M3		1.50	1.50		2.00		2.00		1.38	0.38	V
N	N1	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00		1.00		0.50	0.00	V

Continua tabla 21

	N2	1.50			2.00		1.50		2.00	0.38	1.38	V
	N3		1.50		1.50		2.50		2.50	0.00	2.75	V
O	O1		1.00		1.00	1.00		1.00		0.50	0.50	V
	O2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00		1.00		0.50	0.00	V
	O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50		1.00	0.00	0.38	0.00	V
P	P1		2.00		2.00	2.00		2.00		1.00	1.00	V
	P2		1.50		2.50		1.50		1.50	0.00	1.75	V
	P3	1.50			1.00		1.50	1.50		0.75	0.63	V

Fuente: Elaboración propia



#### 4.2.7. Ensayo de resistencia a compresión simple a los 28 días (180 kg/cm<sup>2</sup>)

El objetivo de nuestro ecoladrillo es que superé 180 kg/cm<sup>2</sup> al ser un ladrillo TIPO V

**Tabla 25.** Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%-30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.

Muestra	Dosificación	H(cm)	L(cm)	A(cm)	Área	P (max)	f'b	f'b prom	$\sigma$	f'b corregido	TIPO
A1	10% Cemento	9.03	24.09	14.01	337.54	16464	48.78	59.44	14.39	45.04	I
A2	20% HDPE	9.05	24.01	14.06	337.71	18144	53.73				
A3	30% PET	9.10	24.05	14.01	336.83	25536	75.81				
B1	10% Cemento	9.07	24.01	14.04	337.08	30340	90.01	90.99	4.93	86.06	II
B2	10% HDPE	9.05	24.02	14.04	337.20	29210	86.62				
B3	30% PET	9.09	24.01	14.01	336.32	32400	96.34				
C1	20% Cemento	9.07	24.05	14.01	336.84	47823	141.98	136.32	7.92	128.40	III
C2	20% HDPE	9.08	24.00	14.03	336.82	47056	139.71				
C3	40% PET	9.08	24.06	14.06	338.20	43042	127.27				
D1	20% Cemento	9.10	24.03	14.02	336.85	49056	145.63	143.08	4.87	138.21	IV
D2	10% HDPE	9.02	24.03	14.04	337.32	46368	137.46				
D3	50% PET	9.07	24.06	14.05	337.97	49392	146.14				
E1	20% Cemento	9.06	24.05	14.05	338.05	58830	174.03	171.71	2.85	168.86	IV
E2	20% HDPE	9.06	24.04	14.05	337.75	58284	172.56				
E3	30% PET	9.03	24.03	14.02	336.94	56784	168.53				
F1	20% Cemento	9.01	24.03	14.04	337.37	57120	169.31	151.18	16.03	135.15	IV
F2	10% HDPE	9.05	24.01	14.07	337.79	49086	145.31				

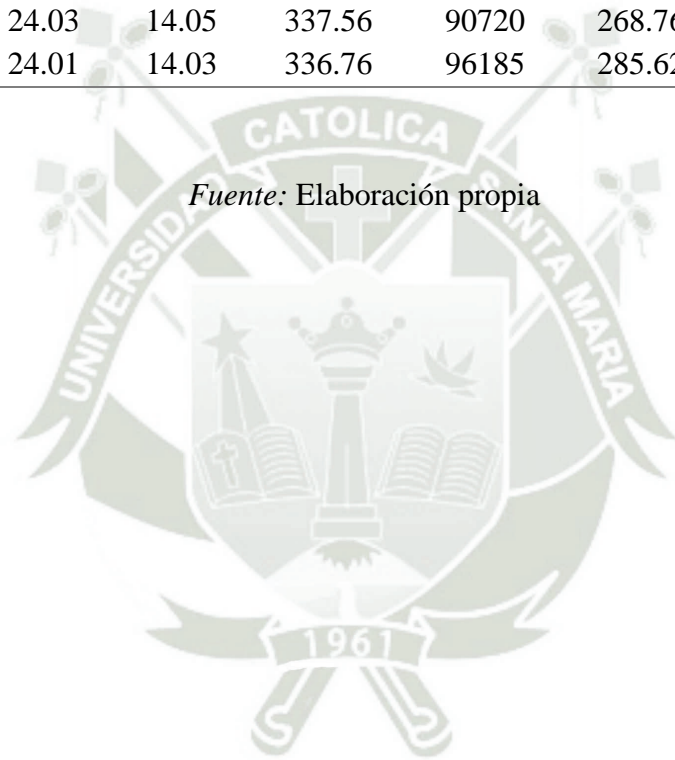
Continua tabla 22

F3	40% PET	9.06	24.07	14.07	338.65	47040	138.90				
G1	20% Cemento	9.07	24.04	14.03	337.34	55820	165.47	168.86	6.33	162.53	IV
G2	20% HDPE	9.05	24.06	14.03	337.70	55704	164.95				
G3	20% PET	9.08	24.04	14.05	337.81	59509	176.16				
H1	20% Cemento	9.04	24.03	14.06	337.82	57456	170.08	170.16	3.89	166.27	IV
H2	10% HDPE	9.08	24.04	14.04	337.40	56112	166.31				
H3	30% PET	9.06	24.06	14.04	337.76	58800	174.09				
I1	30% Cemento	9.03	24.05	14.05	337.93	62496	184.94	192.23	8.29	183.94	V
I2	20% HDPE	9.05	24.05	14.02	337.25	67872	201.25				
I3	30% PET	9.08	24.00	14.04	336.86	64176	190.51				
J1	30% Cemento	9.06	24.06	14.03	337.53	76608	226.97	225.42	12.84	212.58	V
J2	10% HDPE	9.31	24.03	14.06	337.79	71568	211.87				
J3	40% PET	9.06	24.04	14.01	336.82	79968	237.42				
K1	30% Cemento	9.07	24.06	14.06	338.30	78288	231.42	231.00	7.78	223.22	V
K2	20% HDPE	9.05	24.01	14.02	336.61	80304	238.57				
K3	20% PET	9.04	24.06	14.03	337.47	75264	223.03				
L1	30% Cemento	9.07	24.05	14.02	337.19	68309	202.58	207.65	11.12	196.53	V
L2	10% HDPE	9.07	24.03	14.02	336.88	67368	199.97				
L3	30% PET	9.05	24.06	14.03	337.52	74390	220.40				
M1	40% Cemento	9.05	24.05	14.02	337.30	83297	246.96	233.70	12.89	220.81	V
M2	20% HDPE	9.06	24.06	14.03	337.54	78624	232.93				
M3	30% PET	9.06	24.06	14.00	336.95	74538	221.21				
N1	40% Cemento	9.04	24.01	14.05	337.42	74592	221.07	234.63	13.82	220.81	V
N2	10% HDPE	9.07	24.08	14.01	337.26	78960	234.12				
N3	40% PET	9.09	24.04	14.05	337.77	84000	248.69				

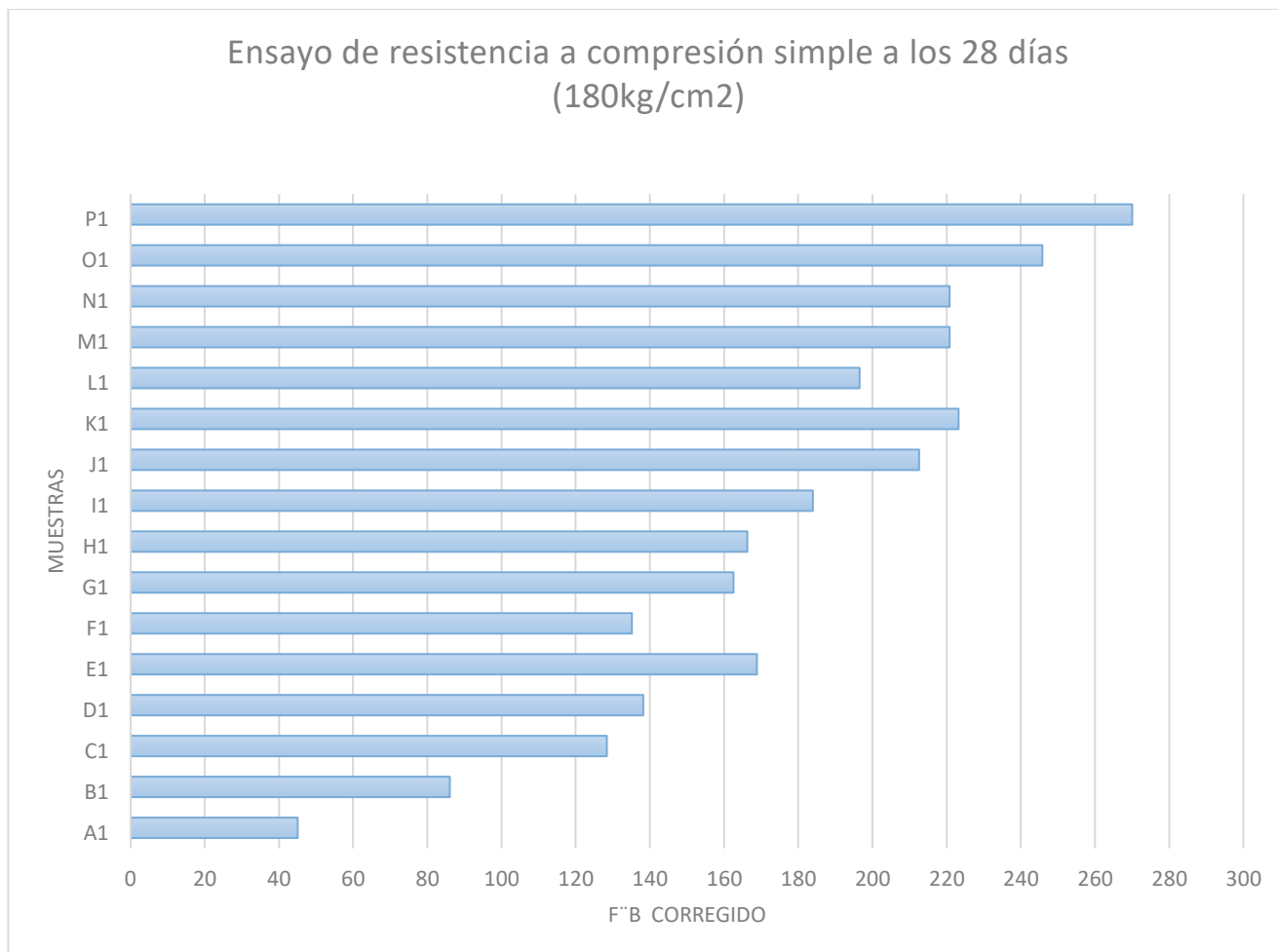
Continúa tabla 22

O1	40% Cemento	9.05	24.06	14.02	337.17	89040	264.08	256.72	10.91	245.81	V
O2	20% HDPE	9.02	24.08	14.01	337.28	88334	261.90				
O3	20% PET	9.04	24.06	14.01	337.12	82320	244.19				
P1	40% Cemento	9.02	24.06	14.02	337.38	95424	282.84	279.07	9.04	270.03	V
P2	10% HDPE	9.07	24.03	14.05	337.56	90720	268.76				
P3	30% PET	9.05	24.01	14.03	336.76	96185	285.62				

*Fuente:* Elaboración propia



**Ilustración 7.** Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días añadiendo cemento (20%-40), arena gruesa (10%-40%) y añadiendo HDPE (10%-30%) y PET (20-50%) variando cada 5%.



*Fuente:* Elaboración propia

En la figura se puede observar en el eje vertical cada una de las muestras realizadas y en el eje horizontal la resistencia a la compresión que llegaron.

## COMENTARIOS

- Se observó que las muestras que cumplen con la resistencia a la compresión a los 28 días son las muestras I,J,K,L,M,N,O,P consecuente con los ensayos de compresión a 7 días.
- Se observó que la relación de cemento que cumple con la fuerza de compresión de 180 kg/cm<sup>2</sup> va entre 20% a 40% y la relación de arena gruesa va desde 10% a 20%



### 4.3. Etapa 2-Optimización de dosificaciones

Para la etapa 2 se puso un porcentaje fijo de cemento de 25% y un porcentaje de arena gruesa fijo de 15% debido a los resultados obtenidos en la etapa 1 de nuestra dosificación, para tener solo dos variables el HDPE Y PET que es en lo que se basa esta investigación en obtener el porcentaje óptimo de HDPE Y PET en nuestro diseño de mezcla.

**Tabla 26.** Cuadro de porcentajes de dosificación

DISEÑO	DOSIFICACIONES				TOTAL	CANT. MUESTRAS
	CEMENTO	PET	HDPE	A. GRUESA		
1	25.00%	55%	5.00%	15.00%	100%	6
2	25.00%	52.5%	7.5%	15.00%	100%	6
3	25.00%	50.0%	10.0%	15.00%	100%	6
4	25.00%	47.5%	12.5%	15.00%	100%	6
5	25.00%	45.0%	15.0%	15.00%	100%	6
6	25.00%	42.5%	17.5%	15.00%	100%	6
7	25.00%	40.0%	20.0%	15.00%	100%	6
8	25.00%	37.5%	22.5%	15.00%	100%	6
9	25.00%	35.0%	25.0%	15.00%	100%	6
10	25.00%	32.5%	27.5%	15.00%	100%	6
11	25.00%	30.0%	30.0%	15.00%	100%	6

*Fuente:* Elaboración propia

Se trabajará con una confiabilidad de 98% igual que en la primera etapa debido a que se cuenta con investigaciones y tesis pasadas que sirven como referencia que nos da una cantidad de 6 muestras.

**Tabla 27.** Volumen de mezcla en m<sup>3</sup>

DISEÑO	DOSIFICACIONES				CANT. MUESTRAS
	CEMENTO	PET	HDPE	A. GRUESA	
1	0.0007560	0.0016632	0.0001512	0.0004536	6
2	0.0007560	0.0015876	0.0002268	0.0004536	6
3	0.0007560	0.0015120	0.0003024	0.0004536	6
4	0.0007560	0.0014364	0.0003780	0.0004536	6
5	0.0007560	0.0013608	0.0004536	0.0004536	6
6	0.0007560	0.0012852	0.0005292	0.0004536	6
7	0.0007560	0.0012096	0.0006048	0.0004536	6

8	0.0007560	0.0011340	0.0006804	0.0004536	6
9	0.0007560	0.0010584	0.0007560	0.0004536	6
10	0.0007560	0.0009828	0.0008316	0.0004536	6
11	0.0007560	0.0009072	0.0009072	0.0004536	6

*Fuente:* Elaboración propia

**Tabla 28.** *Dosificaciones de mezcla en Kg*

DISEÑO	DOSIFICACIONES				CANT. MUESTRAS
	CEMENTO (KG)	PET (KG)	HDPE (KG)	A. GRUESA (KG)	
1	12.25	2.94	0.95	5.09	6
2	12.25	2.81	1.43	5.09	6
3	12.25	2.68	1.91	5.09	6
4	12.25	2.54	2.38	5.09	6
5	12.25	2.41	2.86	5.09	6
6	12.25	2.27	3.34	5.09	6
7	12.25	2.14	3.81	5.09	6
8	12.25	2.01	4.29	5.09	6
9	12.25	1.87	4.77	5.09	6
10	12.25	1.74	5.24	5.09	6
11	12.25	1.61	5.72	5.09	6

*Fuente:* Elaboración propia

### 4.3.1. Ensayo de variación de dimensiones a los 7 días

#### 4.3.1.1. Altura

**Tabla 29.** Variación de dimensiones (altura) a los 7 días primera dosificación con 25% de cemento, 15% de arena gruesa añadiendo PET (20%-50%) y HDPE (5%-30%) variando cada 2.5%.

Espécimen	Muestra	Dosificación	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	Hp	Hpf	$\sigma$	%
A'	A1'	PET 55% HDPE 5%	90.00	90.10	90.00	90.00	90.03	90.08	0.07	-0.09
	A2'		89.95	89.95	90.00	90.75	90.16			
	A3'		90.15	90.00	90.00	90.10	90.06			
B'	B1'	PET 52.5% HDPE 7.5%	90.00	90.12	89.95	89.95	90.01	90.06	0.05	-0.06
	B2'		90.00	90.25	90.00	90.10	90.09			
	B3'		90.00	90.22	90.10	90.00	90.08			
C'	C1'	PET 50% HDPE 10%	90.05	90.10	90.23	90.58	90.24	90.29	0.04	-0.32
	C2'		90.10	90.17	90.30	90.65	90.31			
	C3'		90.20	90.12	90.12	90.83	90.32			
D'	D1'	PET 47.5% HDPE 12.5%	90.05	90.78	90.50	90.23	90.39	90.55	0.14	-0.61
	D2'		90.64	90.12	90.89	90.97	90.66			
	D3'		90.69	91.12	90.56	90.05	90.61			
E'	E1'	PET 45% HDPE 15%	90.76	91.49	90.05	90.00	90.58	90.50	0.12	-0.55
	E2'		91.13	90.10	90.14	90.05	90.36			
	E3'		90.89	91.05	90.14	90.15	90.56			
F'	F1'	PET 42.5%	90.96	90.00	90.20	90.15	90.33	90.65	0.28	-0.72
	F2'	HDPE 17.5%	91.33	90.55	91.10	90.08	90.77			

Continua tabla 26

	F3'		90.89	90.00	91.73	90.75	90.84			
G'	G1'	PET 40% HDPE 20%	90.96	91.08	90.14	90.00	90.55	90.60	0.05	-0.66
	G2'		90.00	90.00	90.19	90.00	90.60			
	G3'		90.05	90.05	90.24	90.05	90.65			
H'	H1'	PET 37.5% HDPE 22.5%	90.00	90.10	90.29	90.10	90.70	90.75	0.05	-0.83
	H2'		90.07	90.18	90.34	90.15	90.75			
	H3'		90.12	90.23	90.00	90.20	90.80			
I'	I1'	PET 35% HDPE 25%	90.17	90.28	90.05	90.25	90.00	90.05	0.05	-0.06
	I2'		90.22	90.33	90.10	90.30	90.05			
	I3'		90.27	90.38	90.15	90.35	90.10			
J'	J1'	PET 32.5% HDPE 27.5%	90.32	90.43	90.20	90.00	90.15	90.20	0.05	-0.22
	J2'		90.37	90.48	90.25	90.05	90.20			
	J3'		90.42	90.53	90.30	90.10	90.25			
K'	K1'	PET 30% HDPE 30%	90.47	90.58	90.35	90.15	90.30	90.35	0.05	-0.39
	K2'		90.52	90.63	90.40	90.20	90.35			
	K3'		90.57	90.68	90.00	90.25	90.40			

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.1.2. Largo

**Tabla 30.** Variación de dimensiones (largo) a los 7 días segunda dosificación con 25% de cemento, 15% de arena gruesa añadiendo PET (20%-50%) y HDPE (5%-30%) variando cada 2.5%.

Espécimen	Muestra	Dosificación	L1 (cm)	L2 (cm)	L3 (cm)	Lp	Lpf	$\sigma$	%
A´	A1´	PET 55% HDPE 5%	24.00	24.00	24.00	24.00	23.99	0.01	0.05
	A2´		23.95	23.95	24.00	23.99			
	A3´		24.00	24.00	23.95	23.98			
B´	B1´	PET 52.5% HDPE 7.5%	24.00	24.00	24.05	24.03	24.03	0.01	-0.11
	B2´		24.00	24.00	24.15	24.04			
	B3´		24.00	24.00	24.05	24.02			
C´	C1´	PET 50% HDPE 10%	24.00	24.04	24.10	24.06	24.04	0.03	-0.16
	C2´		23.99	24.04	24.00	24.00			
	C3´		24.02	24.06	24.10	24.06			
D´	D1´	PET 47.5% HDPE 12.5%	24.15	23.95	24.00	24.03	24.04	0.02	-0.16
	D2´		24.04	24.12	24.00	24.03			
	D3´		24.06	24.14	24.05	24.06			
E´	E1´	PET 45% HDPE 15%	24.05	24.10	24.05	24.05	24.04	0.01	-0.16
	E2´		23.95	24.10	24.07	24.04			
	E3´		24.00	24.00	24.10	24.03			
F´	F1´	PET 42.5%	24.00	24.02	24.05	24.03	24.04	0.03	-0.15

Continua tabla 27

	F2´	HDPE 17.5%	24.00	24.05	24.00	24.01			
	F3´		24.02	24.05	24.07	24.07			
G´	G1´		24.06	24.00	24.02	24.04	24.05	0.01	-0.20
	G2´	PET 40%	24.07	24.05	24.10	24.06			
	G3´	HDPE 20%	24.00	24.02	24.00	24.04			
H´	H1´		24.00	24.00	24.05	24.03	24.04	0.02	-0.16
	H2´	PET 37.5%	24.00	24.05	24.10	24.04			
	H3´	HDPE 22.5%	24.15	24.00	24.12	24.06			
I´	I1´		24.05	24.02	24.00	24.05	24.03	0.03	-0.13
	I2´	PET 35%	24.10	24.05	24.05	24.05			
	I3´	HDPE 25%	24.00	24.00	24.01	24.00			
J´	J1´		24.01	24.06	24.06	24.06	24.04	0.01	-0.18
	J2´	PET 32.5%	24.06	24.09	24.03	24.03			
	J3´	HDPE 27.5%	23.99	24.08	24.00	24.04			
K´	K1´		24.10	24.15	24.00	24.06	24.04	0.03	-0.18
	K2´	PET 30%	24.02	24.00	24.05	24.01			
	K3´	HDPE 30%	24.07	24.00	24.00	24.06			

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1.3. Ancho

**Tabla 31.** Variación de dimensiones (ancho) a los 7 días segunda dosificación con 25% de cemento, 15% de arena gruesa añadiendo PET (20%-50%) y HDPE (5%-30%) variando cada 2.5%.

Espécimen	Muestra	Dosificación	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	A4 (mm)	Ap	Apf	$\sigma$	%
A´	A1´	PET 55% HDPE 5%	140.20	140.00	140.10	140.10	140.10	140.07	0.03	-0.05
	A2´		140.05	140.05	140.05	140.05	140.05			
	A3´		140.15	140.02	140.05	140.00	140.06			
B´	B1´	PET 52.5% HDPE 7.5%	140.00	140.10	139.95	141.05	140.28	140.56	0.32	-0.40
	B2´		140.00	140.80	141.05	140.14	140.50			
	B3´		140.78	140.89	140.95	141.04	140.92			
C´	C1´	PET 50% HDPE 10%	140.09	140.35	140.00	140.01	140.11	140.36	0.29	-0.25
	C2´		141.01	140.00	140.11	140.01	140.28			
	C3´		141.13	140.30	140.47	140.79	140.67			
D´	D1´	PET 47.5% HDPE 12.5%	141.05	140.23	140.12	140.10	140.38	140.75	0.41	-0.54
	D2´		141.22	140.23	140.32	141.02	140.70			
	D3´		141.29	141.23	141.10	141.14	141.19			
E´	E1´	PET 45% HDPE 15%	141.11	140.32	140.41	141.06	140.73	140.77	0.33	-0.55
	E2´		140.71	141.24	141.33	141.23	141.13			
	E3´		140.00	140.56	140.00	141.30	140.47			
F´	F1´	PET 42.5% HDPE 17.5%	140.46	140.33	140.36	141.12	140.57	140.56	0.14	-0.40
	F2´		140.31	140.41	140.26	140.72	140.43			
	F3´		140.31	141.11	141.36	140.01	140.70			

Continua tabla 28

G´	G1´		140	140.05	140.27	140.47	140.20	140.20	0.06	-0.15
	G2´	PET 40%	140.1	140	140.63	140.32	140.26			
	G3´	HDPE 20%	140.12	140.06	140.1	140.32	140.15			
H´	H1´		140	140.12	140.15	140.01	140.07	140.11	0.07	-0.08
	H2´	PET 37.5%	140.16	140.2	140.31	140.11	140.20			
	H3´	HDPE 22.5%	140.05	140.07	140	140.13	140.06			
I´	I1´		140.05	140.15	140	140.01	140.05	140.15	0.09	-0.11
	I2´	PET 35%	140.12	140.05	140.57	140.17	140.23			
	I3´	HDPE 25%	140.46	140	140.13	140.06	140.16			
J´	J1´		140	140.1	140.12	140.06	140.07	140.13	0.06	-0.09
	J2´	PET 32.5%	140.07	140.15	140.15	140.13	140.13			
	J3´	HDPE 27.5%	140.10	140.05	140.12	140.47	140.19			
K´	K1´		140.16	140.10	140.20	140.00	140.12	140.26	0.27	-0.19
	K2´	PET 30%	140.22	140.10	140.00	140.08	140.10			
	K3´	HDPE 30%	140.30	140.88	140.99	140.11	140.57			

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1.4. Resumen y clasificación de muestras

**Tabla 32.** Resumen y clasificación de muestras

ESPECIMEN	ALTURA	LARGO	ANCHO	VH	VL	VA
A´	90.08	23.99	140.07	-0.09	0.05	-0.05
B´	90.06	24.03	140.56	-0.06	-0.11	-0.40
C´	90.29	24.04	140.36	-0.32	-0.16	-0.25
D´	90.55	24.04	140.75	-0.61	-0.16	-0.54
E´	90.50	24.04	140.77	-0.55	-0.16	-0.55
F´	90.65	24.04	140.56	-0.72	-0.15	-0.40
G´	90.60	24.05	140.20	-0.66	-0.20	-0.15
H´	90.75	24.04	140.11	-0.83	-0.16	-0.08
I´	90.05	24.03	140.15	-0.06	-0.13	-0.11
J´	90.20	24.04	140.13	-0.22	-0.18	-0.09
K´	90.35	24.04	140.26	-0.39	-0.18	-0.19
L´	90.08	23.99	140.07	-0.09	0.05	-0.05
M´	90.06	24.03	140.56	-0.06	-0.11	-0.40
N´	90.29	24.04	140.36	-0.32	-0.16	-0.25
O´	90.55	24.04	140.75	-0.61	-0.16	-0.54
P´	90.50	24.04	140.77	-0.55	-0.16	-0.55

*Fuente:* Elaboración propia

4.3.2. *Ensayo de alabeo*

Tabla 33. *Ensayo de alabeo*

ESPECIMEN	MUESTRA	DIAGONAL 1		DIAGONAL 2		DIAGONAL 3		DIAGONAL 4		PROMEDIO	
		CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO
A´	A1´	2.00		2.00		1.0		1.50		1.63	0.00
	A2´	2.00		1.00		2.0		2.00		1.75	0.00
	A3´		3.00		2.00		0.50		0.50	0.00	1.50
B´	B1´	0.00	0.00		1.00	1.0		1.50		0.63	0.25
	B2´	0.00	0.00	1.00		1.5		1.00		0.88	0.00
	B3´	0.00	0.00		1.00		1.00		1.00	0.00	0.75
C´	C1´	1.00		1.00		1.0		1.00		1.00	0.00
	C2´	1.00		2.00		1.0		2.00		1.50	0.00
	C3´	1.50	1.50	1.50	0.00	1.5	0.50	1.50	1.50	1.50	0.88
D´	D1´	1.50		1.00		3.0		2.00		1.88	0.00
	D2´		2.50		1.50		1.00		1.00	0.00	1.50
	D3´	0.00	0.00	0.00	0.00		1.50		1.00	0.00	0.63
E´	E1´	3.00		3.00		3.5		3.00		3.13	0.00
	E2´	2.50		2.00		4.0		4.00		3.13	0.00
	E3´	3.00		3.00		3.0		3.50		3.13	0.00

Continua tabla 30

F'	F1'	1.00		1.00		0.0	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00
	F2'		1.50		2.00		1.00		1.00	0.00	1.38
	F3'	2.50		2.00		1.5		2.00		2.00	0.00
G'	G1'	1.00		1.50		1.0		1.00		1.13	0.00
	G2'		2.00		2.00		1.00		1.00	0.00	1.50
	G3'		3.00		3.00		4.00		4.00	0.00	3.50
H'	H1'		1.00		1.00		1.00		1.00	0.00	1.00
	H2'	3.00		3.00		2.0		1.50		2.38	0.00
	H3'	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0		1.00		0.50	0.00
I'	I1'	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0		2.00		0.75	0.00
	I2'		1.00		0.50	1.5		1.00		0.63	0.38
	I3'		2.50		3.00		4.00		4.00	0.00	3.38
J'	J1'	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0		1.50		0.63	0.00
	J2'	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0		1.00		0.50	0.00
	J3'	1.50		2.00		2.0		2.50		2.00	0.00
K'	K1'	2.50		2.50		1.5		2.00		2.13	0.00
	K2'	2.50		2.50		2.0		2.50		2.38	0.00
	K3'	0.00	0.00	0.00	0.00	2.0		2.00		1.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.3. Ensayo de resistencia a compresión simple a los 7 días (136 kg/cm<sup>2</sup>)

**Tabla 34.** Resultados del ensayo de resistencia a compresión simple a los 7 días con cemento de 25%, arena gruesa de 15% añadiendo PET (20%-50%) y HDPE (5%-30%) variando cada 2.5%.

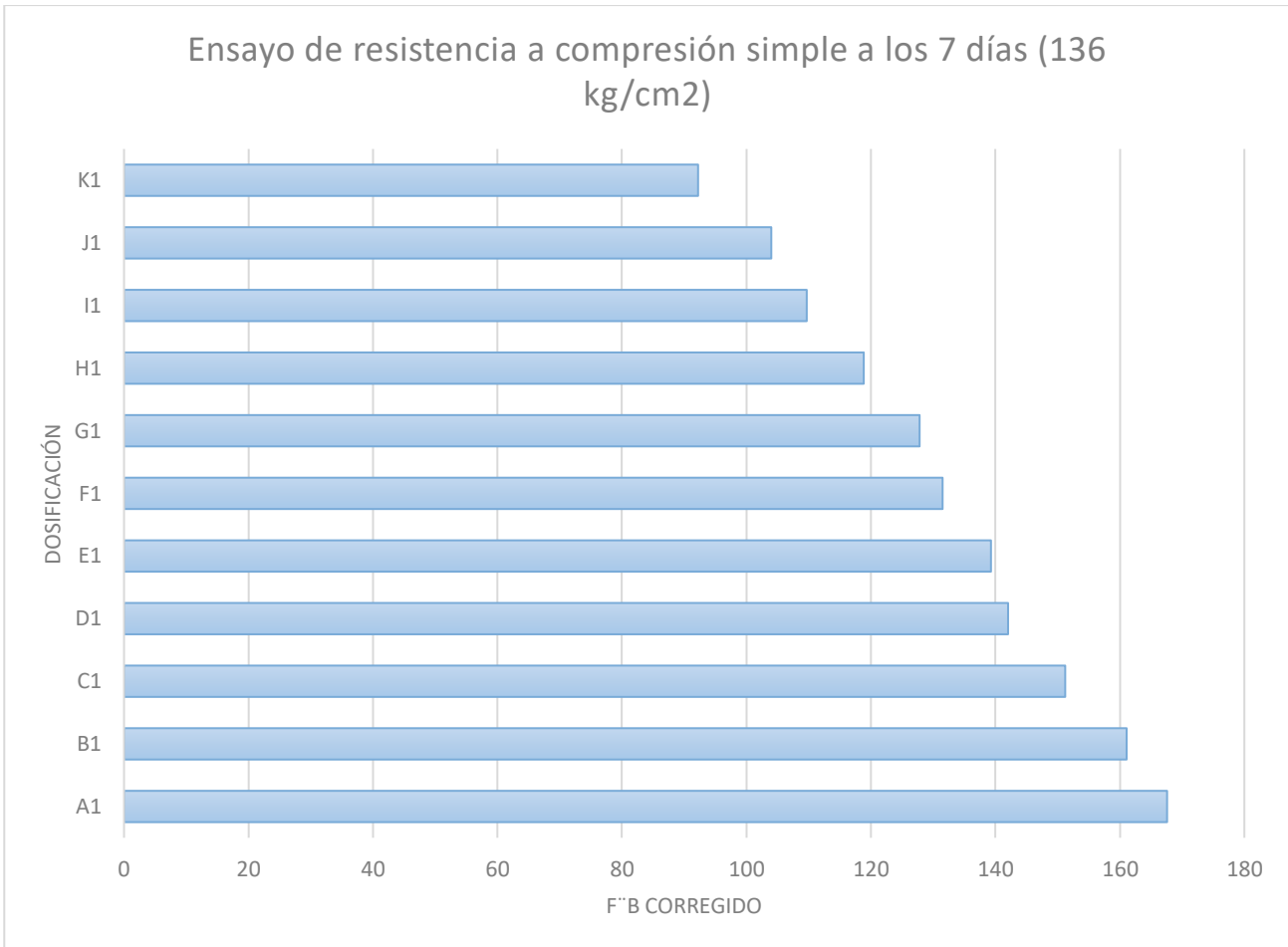
Muestra	Dosificación	H(cm)	L(cm)	A(cm)	Área	P (max)	f'b	f'b prom	$\sigma$	f'b corregido
A1'	PET 55% HDPE 5%	9.00	24.00	14.01	336.22	57086	169.79	168.61	1.02	167.59
A2'		9.02	23.99	14.01	335.94	56448	168.03			
A3'		9.01	23.98	14.01	335.78	56414	168.01			
B1'	PET 52.5% HDPE 7.5%	9.00	24.03	14.03	337.01	54600	162.01	162.93	1.85	161.09
B2'		9.01	24.04	14.05	337.72	55742	165.05			
B3'		9.01	24.02	14.09	338.44	54734	161.72			
C1'	PET 50% HDPE 10%	9.02	24.06	14.01	337.04	50870	150.93	154.89	3.67	151.22
C2'		9.03	24.00	14.03	336.68	53256	158.18			
C3'		9.03	24.06	14.07	338.49	52651	155.55			
D1'	PET 47.5% HDPE 12.5%	9.04	24.03	14.04	337.25	50124	148.63	145.55	3.51	142.04
D2'		9.07	24.03	14.07	338.06	49459	146.30			
D3'		9.06	24.06	14.12	339.74	48149	141.72			
E1'	PET 45% HDPE 15%	9.06	24.05	14.07	338.48	47477	140.27	140.27	0.98	139.29
E2'		9.04	24.04	14.11	339.20	47914	141.25			
E3'		9.06	24.03	14.05	337.47	47006	139.29			
F1'	PET 42.5% HDPE 17.5%	9.03	24.03	14.06	337.78	46492	137.64	134.43	2.92	131.52
F2'		9.08	24.01	14.04	337.13	45078	133.71			
F3'		9.08	24.07	14.07	338.69	44688	131.94			
G1'	PET 40%	9.05	24.04	14.02	337.03	44654	132.49	130.01	2.19	127.82

Continua tabla 31

G2'	HDPE 20%	9.06	24.06	14.03	337.51	43593	129.16			
G3'		9.06	24.04	14.02	336.96	43257	128.37			
H1'	PET 37.5% HDPE 22.5%	9.07	24.03	14.01	336.52	43042	127.90	123.27	4.43	118.85
H2'		9.07	24.04	14.02	336.99	41395	122.84			
H3'		9.08	24.06	14.01	336.92	40122	119.08			
I1'	PET 35% HDPE 25%	9.00	24.05	14.01	336.79	40021	118.83	114.07	4.39	109.69
I2'		9.01	24.05	14.02	337.25	37162	110.19			
I3'		9.01	24.00	14.02	336.35	38076	113.20			
J1'	PET 32.5% HDPE 27.5%	9.02	24.06	14.01	337.01	35482	105.28	105.41	1.42	104.00
J2'		9.02	24.03	14.01	336.76	35045	104.07			
J3'		9.03	24.04	14.02	336.97	36019	106.89			
K1'	PET 30% HDPE 30%	9.03	24.06	14.01	337.15	33230	98.56	95.48	3.25	92.23
K2'		9.04	24.01	14.01	336.42	30979	92.09			
K3'		9.04	24.06	14.06	338.14	32390	95.79			

Fuente: Elaboración propia

**Ilustración 8.** Resultados del ensayo de resistencia a compresión simple a los 7 días con cemento de 25%, arena gruesa de 15% añadiendo PET (20%-50%) y HDPE (5%-30%) variando cada 2.5%.



*Fuente:* Elaboración propia

#### COMENTARIOS

- Se observa que las muestra A', B', C', D', E' superan el objetivo del 70% de 180 kg/cm<sup>2</sup> en la resistencia a la compresión a 7 días.
- En la figura 10 se observa una incidencia que al incrementar PET aumenta la resistencia y al aumentar el HDPE la resistencia disminuye.

#### 4.3.4. Ensayo de variación de dimensiones a los 28 días

##### 4.3.4.1. Altura

**Tabla 35.** Variación de dimensiones (altura) a los 28 días segunda dosificación variando la dosificación del PET Y HDPE cada 2.5% con 25% de Cemento y 15% de Arena Gruesa

Espécimen	Muestra	Dosificación	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	H4 (mm)	Hp	Hpf	$\sigma$	%
A'	A1'	PET 55% HDPE 5%	91.00	91.00	90.90	90.75	90.91	90.95	0.04	-1.06
	A2'		91.00	91.10	90.89	90.80	90.95			
	A3'		91.05	91.05	90.95	90.95	91.00			
B'	B1'	PET 52.5% HDPE 7.5%	89.95	90.21	90.14	90.00	90.08	90.12	0.09	-0.13
	B2'		89.90	90.00	90.35	90.00	90.06			
	B3'		90.24	90.12	90.27	90.26	90.22			
C'	C1'	PET 50% HDPE 10%	90.22	90.56	90.45	91.10	90.58	90.44	0.13	-0.49
	C2'		90.27	90.61	90.50	90.00	90.35			
	C3'		90.32	90.66	90.55	90.05	90.40			
D'	D1'	PET 47.5% HDPE 12.5%	90.37	90.71	90.60	90.12	90.45	90.50	0.05	-0.56
	D2'		90.42	90.76	90.65	90.17	90.50			
	D3'		90.47	90.81	90.70	90.22	90.55			
E'	E1'	PET 45% HDPE 15%	91.02	91.02	90.92	90.77	90.93	90.64	0.54	-0.71
	E2'		91.02	91.12	90.91	90.82	90.97			
	E3'		90.05	90.00	90.03	90.00	90.02			

Continua tabla 32

F'	F1'	PET 42.5% HDPE 17.5%	90.00	90.23	90.00	90.02	90.06	90.12	0.06	-0.14
	F2'		89.92	90.02	90.37	90.21	90.13			
	F3'		90.00	90.14	90.29	90.28	90.18			
G'	G1'	PET 40% HDPE 20%	90.24	90.58	90.47	91.12	90.60	90.46	0.13	-0.51
	G2'		90.29	90.63	90.52	90.02	90.37			
	G3'		90.34	90.68	90.57	90.07	90.42			
H'	H1'	PET 37.5% HDPE 22.5%	90.39	90.73	90.62	90.14	90.47	90.46	0.12	-0.51
	H2'		90.44	90.00	90.67	90.19	90.33			
	H3'		90.49	90.83	90.72	90.24	90.57			
I'	I1'	PET 35% HDPE 25%	91.04	91.04	90.94	90.79	90.95	90.58	0.48	-0.65
	I2'		91.04	91.14	90.00	90.84	90.76			
	I3'		91.09	91.09	90.99	90.99	90.04			
J'	J1'	PET 32.5% HDPE 27.5%	90.02	90.25	90.02	90.04	90.08	90.13	0.06	-0.14
	J2'		90.00	90.04	90.39	90.00	90.11			
	J3'		90.02	90.16	90.31	90.30	90.20			
K'	K1'	PET 30% HDPE 30%	90.26	90.60	90.49	91.14	90.62	90.42	0.18	-0.47
	K2'		90.31	90.65	90.54	90.04	90.39			
	K3'		90.36	90.00	90.59	90.09	90.26			

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.4.2. Largo

**Tabla 36.** Variación de dimensiones (largo) a los 28 días segunda dosificación variando la dosificación del PET Y HDPE cada 2.5% con 25% de Cemento y 15% de Arena Gruesa

Espécimen	Muestra	Dosificación	L1 (cm)	L2 (cm)	L3 (cm)	L4 (cm)	Lp	Lpf	$\sigma$	%
A´	A1´	PET 55% HDPE 5%	24.05	24.11	24.10	24.05	24.08	24.08	0.02	-0.33
	A2´		24.05	24.10	24.11	24.00	24.07			
	A3´		24.05	24.12	24.10	24.12	24.10			
B´	B1´	PET 52.5% HDPE 7.5%	23.95	24.05	24.00	24.02	24.01	24.02	0.03	-0.09
	B2´		23.92	23.96	24.02	24.09	24.00			
	B3´		24.00	24.05	24.13	24.06	24.06			
C´	C1´	PET 50% HDPE 10%	24.08	24.00	24.04	24.10	24.06	24.07	0.01	-0.27
	C2´		23.97	24.12	24.11	24.06	24.07			
	C3´		24.07	24.11	24.12	24.01	24.08			
D´	D1´	PET 47.5% HDPE 12.5%	24.00	24.13	24.11	24.13	24.09	24.05	0.04	-0.19
	D2´		23.95	24.06	24.01	24.03	24.01			
	D3´		24.00	24.00	24.03	24.10	24.03			
E´	E1´	PET 45% HDPE 15%	24.01	24.06	23.98	24.07	24.03	24.05	0.03	-0.22
	E2´		24.02	24.01	24.05	24.11	24.05			
	E3´		24.00	24.13	24.12	24.07	24.08			
F´	F1´	PET 42.5% HDPE 17.5%	23.97	24.12	24.00	24.02	24.03	24.06	0.04	-0.24
	F2´		24.00	24.14	24.12	24.14	24.10			
	F3´		24.04	24.07	24.02	24.04	24.04			

Continua tabla 33

G´	G1´	PET 40% HDPE 20%	24.03	24.01	24.04	24.11	24.05	24.04	0.01	-0.18
	G2´		24.07	24.07	24.00	23.98	24.03			
	G3´		24.00	24.02	24.06	24.12	24.05			
H´	H1´	PET 37.5% HDPE 22.5%	24.00	24.14	24.13	24.08	24.09	24.06	0.02	-0.25
	H2´		24.00	24.13	24.00	24.03	24.04			
	H3´		23.99	23.95	24.13	24.15	24.06			
I´	I1´	PET 35% HDPE 25%	24.12	24.08	24.03	24.05	24.07	24.04	0.03	-0.16
	I2´		24.05	24.02	24.05	24.00	24.03			
	I3´		23.98	24.08	24.01	23.99	24.02			
J´	J1´	PET 32.5% HDPE 27.5%	24.00	24.03	24.07	24.13	24.06	24.05	0.01	-0.22
	J2´		23.95	24.05	24.14	24.09	24.06			
	J3´		24.08	24.05	24.01	24.04	24.05			
K´	K1´	PET 30% HDPE 30%	24.00	23.96	24.14	24.16	24.07	24.06	0.01	-0.24
	K2´		23.98	24.09	24.04	24.06	24.04			
	K3´		24.15	24.03	24.06	24.01	24.06			

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.4.3. Ancho

**Tabla 37.** Variación de dimensiones (ancho) a los 28 días segunda dosificación variando la dosificación del PET Y HDPE cada 2.5% con 25% de Cemento y 15% de Arena Gruesa

Espécimen	Muestra	Dosificación	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	A4 (mm)	Ap	Apf	$\sigma$	%
A'	A1'	PET 55% HDPE 5%	141.00	140.80	141.12	141.00	140.98	141.0	0.02	-0.71
	A2'		141.15	140.85	140.95	141.06	141.00			
	A3'		141.10	140.95	141.10	140.90	141.01			
B'	B1'	PET 52.5% HDPE 7.5%	141.00	140.30	140.00	140.20	140.38	140.17	0.19	-0.12
	B2'		140.00	140.00	140.00	140.00	140.00			
	B3'		139.95	140.25	140.10	140.20	140.13			
C'	C1'	PET 50% HDPE 10%	141.19	141.15	140.00	141.80	141.04	140.88	0.15	-0.63
	C2'		140.00	140.00	141.21	141.70	140.73			
	C3'		140.12	141.25	141.42	140.70	140.87			
D'	D1'	PET 47.5% HDPE 12.5%	140.04	141.23	141.12	140.65	140.76	140.59	0.20	-0.42
	D2'		140.06	140.23	140.32	141.89	140.63			
	D3'		140.13	140.40	140.27	140.70	140.38			
E'	E1'	PET 45% HDPE 15%	139.95	141.42	141.51	140.82	140.93	140.72	0.20	-0.51
	E2'		141.51	140.23	140.32	140.74	140.70			
	E3'		140.00	141.36	140.00	140.76	140.53			
F'	F1'	PET 42.5% HDPE 17.5%	141.41	141.26	141.41	140.83	141.23	140.79	0.39	-0.56
	F2'		141.04	140.00	140.31	140.65	140.50			
	F3'		140.04	140.31	140.00	142.21	140.64			
G'	G1'	PET 40%	139.99	140.45	140.27	140.70	140.35	140.67	0.34	-0.48

Continua tabla 34

	G2´	HDPE 20%	141.23	140.12	140.63	142.11	141.02			
	G3´		140.04	140.45	140.3	141.74	140.63			
H´	H1´	PET 37.5% HDPE 22.5%	140.16	140.25	140.05	140.74	140.30	140.51	0.20	-0.36
	H2´		140.08	140.46	140.89	140.69	140.53			
	H3´		140.10	140.17	140.59	141.93	140.70			
I´	I1´	PET 35% HDPE 25%	140.17	140	140.76	140.74	140.42	140.43	0.22	-0.31
	I2´		139.99	140.00	140.02	140.86	140.22			
	I3´		141.55	140	140.29	140.78	140.66			
J´	J1´	PET 32.5% HDPE 27.5%	140.04	140.57	140.17	140.05	140.21	140.54	0.31	-0.39
	J2´		140.00	141.25	140.95	140.13	140.58			
	J3´		141.08	140.00	141.05	141.20	140.83			
K´	K1´	PET 30% HDPE 30%	140.08	141.10	140.40	140.10	140.42	140.32	0.22	-0.22
	K2´		140.03	140.10	140.00	140.10	140.06			
	K3´		141.27	140.05	140.35	140.20	140.47			

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.4.4. Resumen y clasificación de muestras

**Tabla 38.** *Resumen y clasificación de muestras*

ESPECIMEN	ALTURA	LARGO	ANCHO	VH	VL	VA	TIPO		
							H	L	A
A´	90.95	24.08	141.00	-1.06	-0.33	-0.71	V	V	V
B´	90.12	24.02	140.17	-0.13	-0.09	-0.12	V	V	V
C´	90.44	24.07	140.88	-0.49	-0.27	-0.63	V	V	V
D´	90.50	24.05	140.59	-0.56	-0.19	-0.42	V	V	V
E´	90.97	24.05	140.72	-1.08	-0.22	-0.51	V	V	V
F´	90.14	24.06	140.79	-0.16	-0.24	-0.56	V	V	V
G´	90.46	24.04	140.88	-0.51	-0.18	-0.48	V	V	V
H´	90.46	24.06	140.51	-0.51	-0.25	-0.36	V	V	V
I´	90.92	24.04	140.43	-1.02	-0.16	-0.31	V	V	V
J´	90.13	24.05	140.54	-0.14	-0.22	-0.39	V	V	V
K´	90.54	24.04	140.35	-0.60	-0.18	-0.25	V	V	V
L´	90.63	24.05	140.22	-0.70	-0.20	-0.16	V	V	V
M´	90.55	24.06	140.19	-0.62	-0.24	-0.14	V	V	V
N´	90.65	24.04	140.37	-0.72	-0.18	-0.26	V	V	V
O´	90.37	24.07	140.12	-0.41	-0.27	-0.08	V	V	V
P´	90.44	24.03	140.32	-0.49	-0.14	-0.23	V	V	V

*Fuente:* Elaboración propia

4.3.5. Ensayo de alabeo

Tabla 39. Ensayo de alabeo

ESPÉCIMEN	MUESTRA	DIAGONAL 1		DIAGONAL 2		DIAGONAL 3		DIAGONAL 4		PROMEDIO		TIPO
		CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO	
A´	A1´	1.00		1.00		2.0		2.00		1.50	0.00	V
	A2´	0.00	0.0	0.00	0.00	2.0		2.00	1.50	1.00	0.38	V
	A3´	0.00	0.0	0.00	0.00	1.0		1.50	1.00	0.63	0.25	V
B´	B1´		2.0		3.00		1.50		2.00	0.00	2.13	V
	B2´		1.0		1.00		1.50		1.50	0.00	1.25	V
	B3´	1.00		2.00		1.0		1.00		1.25	0.00	V
C´	C1´	0.00	0.0	0.00	0.00	1.5		1.00		0.63	0.00	V
	C2´		2.5		2.00		1.50		1.00	0.00	1.75	V
	C3´		1.0		2.00		1.00		1.00	0.00	1.25	V
D´	D1´	1.00		1.50		1.0		1.00		1.13	0.00	V
	D2´		3.0		2.00		3.00		3.00	0.00	2.75	V
	D3´	2.00		2.00		3.0		2.50		2.38	0.00	V
E´	E1´	1.00			1.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25	V
	E2´		2.5		3.00		4.00		3.50	0.00	3.25	V
	E3´		1.0		2.00		1.00		2.00	0.00	1.50	V
F´	F1´		1.5		1.50		1.00		1.00	0.00	1.25	V

Continúa tabla 36

	F2'		1.0		1.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.50	V	
	F3'		2.0		2.00		2.00		2.00	0.00	2.00	V
G'	G1'	2.00		2.00		2.0		3.00		2.38	0.00	V
	G2'		2.0		2.50		2.00		2.00	0.00	2.25	V
	G3'	1.50		1.00		1.0		1.50		1.25	0.00	V
H'	H1'	0.00	0.0	0.00	0.00	1.0		1.00		0.50	0.00	V
	H2'		2.0		2.00		1.00		1.00	0.00	1.50	V
	H3'		1.0		1.50		2.00		2.00	0.00	1.63	V
I'	I1'	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	V
	I2'		1.0		1.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	V
	I3'	1.00		1.00		1.0		1.00		1.00	0.00	V
J'	J1'		2.0		2.00		1.00		1.00	0.00	1.50	V
	J2'		2.0		3.00		1.50		2.00	0.00	2.13	V
	J3'		2.5		2.00		2.50		2.50	0.00	2.38	V
K'	K1'		3.0		3.00		2.00		2.00	0.00	2.50	V
	K2'	0.00	0.0	0.00	0.00	1.0		1.00		0.50	0.00	V
	K3'	4.00		4.00		2.0		2.00		3.00	0.00	V

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.6. Ensayo de resistencia a compresión simple a los 28 días (180 kg/cm<sup>2</sup>)

**Tabla 40.** Resultados del ensayo de resistencia a compresión simple a los 28 días con cemento de 25%, arena gruesa de 15% añadiendo PET (20%-50%) y HDPE (5%-30%) variando cada 2.5%.

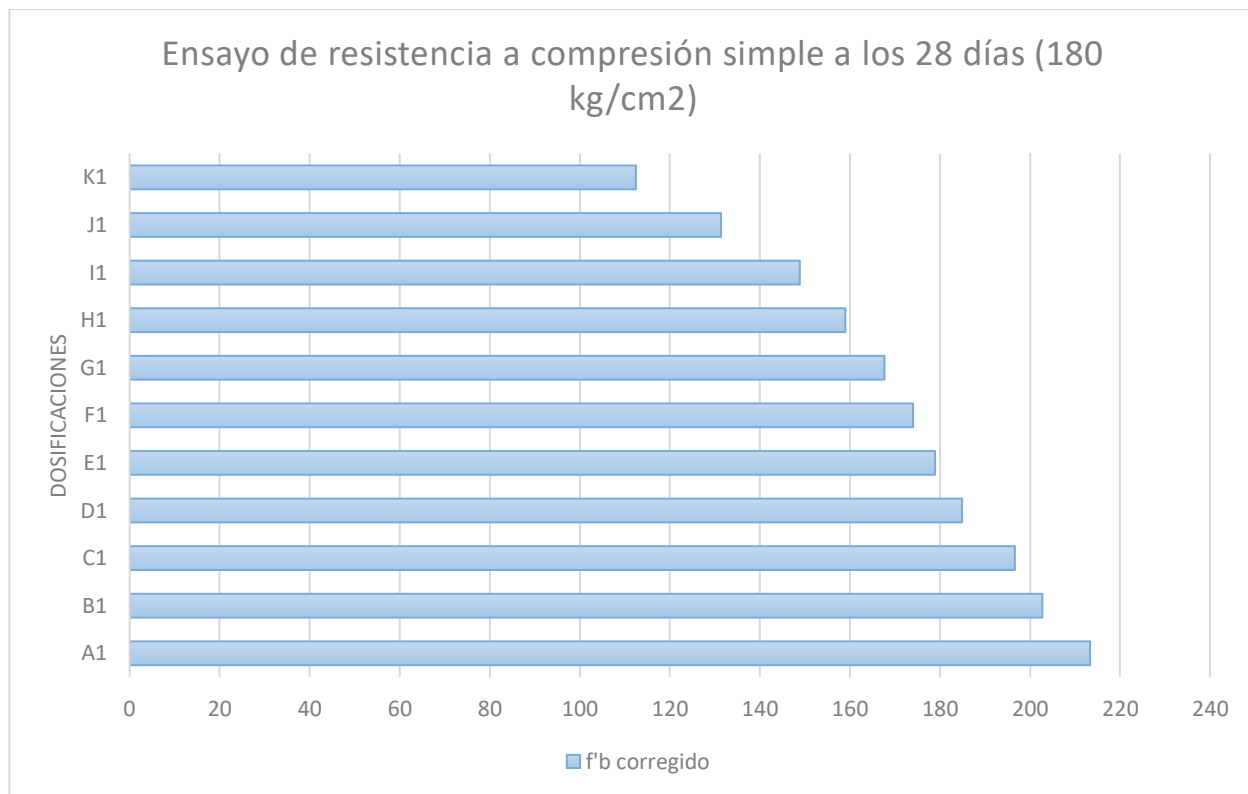
Muestra	Dosificación	H(cm)	L(cm)	A(cm)	Área	P (max)	f'b	f'b prom	$\sigma$	f'b corregido	Tipo
A1'	PET 55% HDPE 5%	9.09	24.08	14.10	339.44	72408	213.31	218.59	5.24	213.35	V
A2'		9.09	24.07	14.10	339.32	75936	223.79				
A3'		9.10	24.10	14.10	339.80	74306	218.67				
B1'	PET 52.5% HDPE 7.5%	9.01	24.01	14.04	336.97	68342	202.81	205.60	2.86	202.74	V
B2'		9.01	24.00	14.00	335.97	70056	208.52				
B3'		9.02	24.06	14.01	337.14	69266	205.45				
C1'	PET 50% HDPE 10%	9.06	24.06	14.10	339.26	67435	198.77	199.86	3.22	196.64	V
C2'		9.03	24.07	14.07	338.66	68914	203.49				
C3'		9.04	24.08	14.09	339.19	66931	197.33				
D1'	PET 47.5% HDPE 12.5%	9.05	24.09	14.08	339.13	63605	187.56	186.56	1.65	184.91	V
D2'		9.05	24.01	14.06	337.68	63302	187.47				
D3'		9.06	24.03	14.04	337.36	62294	184.65				
E1'	PET 45% HDPE 15%	9.09	24.03	14.02	336.88	60850	180.63	180.86	0.58	180.28	V
E2'		9.10	24.05	14.02	338.61	61219	181.52				
E3'		9.00	24.00	13.99	337.52	60581	180.43				
F1'	PET 42.5% HDPE 17.5%	9.01	24.03	14.12	339.33	60077	177.04	175.46	1.43	174.03	IV
F2'		9.01	24.10	14.05	338.61	59270	175.04				
F3'		9.02	24.04	14.06	338.13	58931	174.28				
G1'	PET 40%	9.06	24.05	14.04	337.51	57228	169.56	169.33	1.66	167.67	IV

Continua tabla 37

G2'	HDPE 20%	9.04	24.03	14.10	338.88	56784	167.57				
G3'		9.04	24.05	14.06	338.22	57792	170.87				
H1'		9.05	24.09	14.03	337.95	56112	166.04	162.86	3.88	158.98	IV
H2'	PET 37.5%	9.03	24.04	14.05	337.83	53558	158.53				
H3'	HDPE 22.5%	9.06	24.06	14.07	338.45	55507	164.01				
I1'		9.10	24.07	14.04	337.98	53592	158.56	154.61	5.75	148.86	IV
I2'	PET 35%	9.08	24.03	14.02	336.94	52987	157.26				
I3'	HDPE 25%	9.10	24.02	14.07	337.78	49997	148.01				
J1'		9.01	24.06	14.02	337.30	45135	133.81	133.57	2.20	131.36	IV
J2'	PET 32.5%	9.01	24.06	14.06	338.21	44389	131.25				
J3'	HDPE 27.5%	9.02	24.05	14.08	338.63	45931	135.64				
K1'		9.06	24.07	14.04	337.92	38711	114.56	116.29	3.83	112.46	III
K2'	PET 30%	9.04	24.04	14.01	336.73	40636	120.68				
K3'	HDPE 30%	9.03	24.06	14.05	338.00	38408	113.63				

Fuente: Elaboración propia

**Ilustración 9.** Resultados del ensayo de resistencia a compresión simple a los 28 días con cemento de 25%, arena gruesa de 15% añadiendo PET (20%-50%) y HDPE (5%-30%) variando cada 2.5%.



Fuente: Elaboración propia

#### COMENTARIOS

- Se observa que cumple que la muestra A',B',C',D',E' superan el objetivo de 180 kg/cm<sup>2</sup> que es la resistencia a la compresión requerida a 28 días según norma E.070
- En la figura 10 se observa una incidencia que al incrementar PET aumenta la resistencia y al aumentar el HDPE la resistencia disminuye.
- Para la fabricación de pilas y muretes trabajaremos con la muestra A' y B' que son las muestras que tienen mayor resistencia a la compresión.

#### 4.4. Etapa 3. Pilas y Muretes

##### 4.4.1. Fabricación y ensayo de pilas

De los ensayos realizados, seleccionamos la dosificación A y B que obtuvieron más resistencia, con las cuales procedemos a realizar los ensayos de resistencia a compresión en pilas para determinar la resistencia a compresión axial ( $f'_m$ ) referida al área bruta de la sección transversal.

##### 4.4.2. Dosificación A'

Para el ensayo de compresión, se procedió a elaborar 6 pilas, que consistían en la unión de 3 unidades de ladrillos adosados, 3 pilas con mortero relación 1:4 con 1.5 cm de espesor el mortero y otras 3 pilas con mortero de relación de 1:5 de 1.5 cm de espesor el mortero. Al momento de la elaboración se verificó la plomada de cada una de las pilas

**Ilustración 10.** Pilas dosificación A'



*Fuente:* Elaboración propia

De acuerdo a la norma E.070 se almacenaron las pilas a una temperatura no menor de 10°C.

Se ensayaron las pilas a los 14 días y la resistencia de compresión ( $f'_m$ ) obtenida se incrementó por los factores mostrados en la tabla 6 de la norma E.070.

**Tabla 41.** *Tablas del factor de incremento  $f'_m$*

<b>TABLA 39</b>			
<b>INCREMENTO DE <math>f'_m</math> y <math>v'_m</math> POR EDAD</b>			
Edad		14 días	21 días
Murete	Ladrillos de arcilla	1,15	1,05
	Ladrillos de concreto	1,25	1,05
Pilas	Ladrillos de arcilla y	1,10	1,00
	Ladrillos de concreto		

*Fuente:* Elaboración propia

Del ensayo de compresión realizado se obtuvo los siguientes resultados



**Tabla 42.** Resultados del ensayo de compresión de pilas con mortero (1:5) de la dosificación A ´ teniendo como resistencia requerida según norma E.070 85 kg/cm<sup>2</sup>

<b>DOSIFICACIÓN A ´ (MORTERO 1:5)</b>										
<b>PILA</b>	<b>Alto</b>	<b>Ancho</b>	<b>Espesor</b>	<b>Esbeltez</b>	<b>P(kg)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>f´m inicial</b>	<b>Factor</b>	<b>f´m (21 días)</b>	<b>f´m + Incremento</b>
A1	30.05	23.95	13.95	2.15	46706	334.10	139.80	0.751	104.99	104.99
A2	30.02	24.00	14.00	2.14	46856	336.00	139.45	0.75	104.59	104.59
A3	30.03	24.05	13.95	2.15	45999	335.50	137.11	0.751	102.97	102.97
									Promedio	104.18
									Desviación estándar	1.07
									Resultado	103.11

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 43.** Resultados del ensayo de compresión de pilas con mortero (1:4) de la dosificación A´ teniendo como resistencia requerida según norma E.070 85 kg/cm<sup>2</sup>

<b>DOSIFICACIÓN A´ (MORTERO 1:4)</b>										
<b>PILA</b>	<b>Alto</b>	<b>Ancho</b>	<b>Espesor</b>	<b>Esbeltez</b>	<b>P(kg)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>f'm inicial</b>	<b>Factor</b>	<b>f'm (21 días)</b>	<b>f'm +Incremento</b>
A1	30.00	23.95	14.00	2.14	50024	335.3	149.19	0.75	111.89	111.89
A2	30.02	24.03	14.00	2.14	49676	336.42	147.66	0.75	110.75	110.75
A3	30.03	24.00	14.05	2.14	50122	337.2	148.64	0.75	111.48	111.48
									Promedio:	111.37
									Desviación estándar	0.58
									Resultado	110.79

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.3. Dosificación B'

Se elaboraron 6 pilas, que consistían en unir 3 unidades de ladrillos adosados, 3 pilas con mortero relación 1:4 con 1.5 cm de espesor el mortero y otras 3 pilas con mortero de relación de 1:5 de 1.5 cm de espesor el mortero. -se verificó la plomada de cada una de las pilas

#### Ilustración 11. Ensayo de compresión de pilas



*Fuente:* Elaboración propia

De acuerdo a la norma E.070 se almacenaron las pilas a una temperatura no menor de 10°C.

Se ensayaron las pilas a los 14 días y la resistencia de compresión ( $f'_m$ ) obtenida se incrementó por los factores mostrados en la tabla 6 de la norma E.070.

**Tabla 44.** Resultados del ensayo de compresión de pilas con mortero (1:5) de la dosificación B' teniendo como resistencia requerida según norma E.070 85 kg/cm<sup>2</sup>

<b>DOSIFICACIÓN B' (MORTERO 1:5)</b>										
<b>PILA</b>	<b>Alto</b>	<b>Ancho</b>	<b>Espesor</b>	<b>Esbeltez</b>	<b>P(kg)</b>	<b>Área(cm<sup>2</sup>)</b>	<b>f'm inicial</b>	<b>Factor</b>	<b>f'm (21 dias)</b>	<b>f'm+Incremento</b>
B1	30.0	24.00	14.05	2.14	44431	337.20	131.76	0.75	98.96	98.96
B2	30.0	24.03	14.00	2.14	45199	336.42	134.35	0.75	100.90	100.90
B3	30.0	24.00	14.00	2.15	44724	336.00	133.11	0.751	99.96	99.96
									Promedio:	99.94
									Desviación estándar	0.97
									Resultado	98.97

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 45.** Resultados del ensayo de compresión de pilas con mortero (1:4) de la dosificación B´ teniendo como resistencia requerida según norma E.070 85kg/cm<sup>2</sup>

<b>DOSIFICACIÓN B´ (MORTERO 1:4)</b>										
<b>PILA</b>	<b>Alto</b>	<b>Ancho</b>	<b>Espesor</b>	<b>Esbeltez</b>	<b>P (kg)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>f'm inicial</b>	<b>Factor</b>	<b>f'm (21 días)</b>	<b>f'm +Incremento</b>
B1	30.0	24.00	14.05	2.14	48540	337.20	143.95	0.75	108.11	108.11
B2	30.0	24.03	14.00	2.14	47826	336.42	142.16	0.75	106.76	106.76
B3	30.0 5	24.00	14.00	2.15	45999	336.00	136.90	0.751	102.81	102.81
									Promedio:	105.89
									Desviación estándar	2.75
									Resultado	103.14

Fuente: Elaboración propia

## COMENTARIOS

1. Observamos que las muestras A' y B' con mortero 1:5 y 1:4 sobrepasan la resistencia de compresión requerida ( 85 kgf/cm<sup>2</sup>) por la norma E.070.
2. La muestra A' con mortero 1:4 es la muestra que obtuvo la mayor resistencia de compresión
3. Observamos que las pilas con mortero 1:4 tienen mayor resistencia a la compresión

### 4.4.4. Fabricación y ensayo de muretes

De los ensayos realizados en los ladrillos, seleccionamos las muestras A' y B' que obtuvieron más resistencia, con las cuales se procede con los ensayos de resistencia a compresión en muretes, estos tendrán una dimensión mínima de 60 x 60 cm, con una junta aproximada de 1.5 cm

Estos muretes se ensayaron el día 14. De acuerdo a la norma E.070 se debe incrementar con el factor de la Tabla 6.

**Tabla 46.** *Tabla de los factores*

<b>TABLA 44</b>			
<b>INCREMENTO DE <math>f'_m</math> y <math>v'_m</math> POR EDAD</b>			
Edad		14 días	21 días
Murete	Ladrillos de arcilla	1,15	1,05
	Ladrillos de concreto	1,25	1,05
Pilas	Ladrillos de arcilla y	1,10	1,00
	Ladrillos de concreto		

*Fuente:* NTP 070

### 4.4.5. Dosificación A

Se elaboraron 6 muretes, 3 de estos con mortero relación 1:4 de 1.5 cm de espesor el mortero y 3 con mortero de relación de 1:5 de 1.5 cm de espesor. Se verificó la plomada de estas.

**Tabla 47.** Resultados del ensayo de compresión diagonal de muretes con mortero (1:5) de la dosificación A' teniendo como resistencia requerida según norma E.070 9.2 kgf/cm

Fuente: Elaboración propia

DOSIFICACION A' (MORTERO 1:5)								
MURETE	Alto	Ancho	Espesor	D	Área(cm <sup>2</sup> )	P(kg)	V'm (14 días)	V'm
<b>B1</b>	62.5	62.30	14.05	88.25	1239.87	11324.00	9.13	10.50
<b>B2</b>	62.8	62.10	13.95	88.32	1232.05	11421.00	9.27	10.66
<b>B3</b>	62.8	63.00	14.00	88.95	1245.36	10903.00	8.75	10.07
							Promedio	10.411
							Desviación estándar	0.307
							Resultado	10.104

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 48.** Resultados del ensayo de compresión diagonal de muretes con mortero (1:4) de la dosificación A' teniendo como resistencia requerida según norma E.070 9.2 kgf/cm<sup>2</sup>

DOSIFICACION A' (MORTERO 1:4)								
MURETE	Alto	Ancho	Espesor	D	Área(cm <sup>2</sup> )	P(kg)	V'm (14 días)	V'm
<b>B1</b>	62.7	62.40	14.00	88.46	1238.43	11526.00	9.31	10.70
<b>B2</b>	62.1	62.40	14.05	88.04	1236.89	11634.00	9.41	10.82
<b>B3</b>	63.2	63.10	14.05	89.31	1254.77	11998.00	9.56	11.00
							Promedio	10.839
							Desviación estándar	0.148
							Resultado	10.691

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.6. Dosificación B

Para el ensayo de compresión, se procedió a elaborar 6 muretes, 3 de estos con mortero relación 1:4 de 1.5 cm de espesor el mortero y 3 con mortero de relación de 1:5 de 1.5 cm de espesor. Al momento de la elaboración se verificó la plomada de estas.

**Tabla 49.** Resultados del ensayo de compresión diagonal de muretes con mortero (1:5) de la dosificación B' teniendo como resistencia requerida según norma E.070 9.2 kgf/cm<sup>2</sup>

DOSIFICACION B' (MORTERO 1:5)								
MURETE	Alto	Ancho	Espesor	D	Área(cm <sup>2</sup> )	P(kg)	V'm (14 días)	V'm
A1	62.1	63.40	14.00	88.75	1242.45	9559.00	7.69	8.85
A2	63.4	63.20	14.05	89.52	1257.75	9872.00	7.85	9.03
A3	63.5	62.90	14.05	89.38	1255.78	9780.00	7.79	8.96
							Promedio	8.943
							Desviación estándar	0.090
							Resultado	8.853

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 50.** Resultados del ensayo de compresión diagonal de muretes con mortero (1:4) de la dosificación B' teniendo como resistencia requerida según norma E.070 9.2 kgf/cm<sup>2</sup>

DOSIFICACION B' (MORTERO 1:4)								
MURETE	Alto	Ancho	Espesor	D	Área(cm <sup>2</sup> )	P(kg)	V'm (14 días)	V'm
A1	63.1	63.40	14.00	89.45	1252.29	10690.00	8.54	9.82
A2	62.4	62.20	14.00	88.11	1233.48	10562.00	8.56	9.85
A3	63.2	62.90	13.95	89.17	1243.87	10705.00	8.61	9.90
							Promedio	9.854
							Desviación estándar	0.041
							Resultado	9.813

*Fuente: Elaboración propia*

## COMENTARIOS

- De los ensayos de compresión (V'm) realizados se obtuvo que las dosificaciones que sobrepasan la resistencia de compresión requerida por la norma E.070 (9.2 kg/cm<sup>2</sup>) son las dosificaciones A' con mortero 1:4 y 1:5 y la dosificación B' con mortero 1:4
- Observamos que los muretes con mortero 1:4 tienen mayor resistencia a la compresión

### 4.5. Etapa 3. Ensayo de absorción y succión de los ladrillos

#### 4.5.1. Ensayo de succión

Para realizar el ensayo de succión de ladrillo se siguió el protocolo establecido en la NTP 339.613.

**Tabla 51** Resultados del ensayo de succión

Muestra	H(cm)	L(cm)	A(cm)	Peso Seco (gr)	Peso+ agua (gr)	W (gr)	Área (cm <sup>2</sup> )	S (gr)	Promedio
A1	9.09	23.98	14.10	4980.00	4998.00	18.00	338.00	10.65	
A2	9.09	24.03	14.10	4997.00	5018.00	21.00	338.76	12.40	11.22
A3	9.10	24.04	14.10	4965.00	4983.00	18.00	338.96	10.62	
B1	9.01	24.02	14.04	4985.00	5010.00	25.00	337.15	14.83	
B2	9.01	24.06	14.00	4978.00	4997.00	19.00	336.77	11.28	13.07
B3	9.02	24.00	14.01	4970.00	4992.00	22.00	336.30	13.08	

*Fuente: Elaboración propia*

## COMENTARIOS

- 2 En la dosificación A' los resultados del ensayo de succión fueron de 11.22 gr/cm<sup>2</sup> y en la dosificación B' una succión de 13.07 gr/cm<sup>2</sup>. La norma E.070 nos ofrece un margen en las unidades de arcilla entre los 10 y 20 gramos/200 cm<sup>2</sup>-min, sin embargo, en las unidades de concreto y unidades sílice-calcáreas no ofrece un margen de succión que debe tener dichas unidades, pero al ser unidades de concreto no necesitan tanta absorción para asegurar una buena adherencia del mortero.

#### 4.5.2. Ensayo de absorción

Las unidades seleccionadas se sacaron del horno 110°C por 24 horas con el objetivo de obtener un peso constante; posteriormente fueron introducidas en agua por 24 horas, para retirarlas y registrar su peso saturado

Las unidades de concreto, tendrán una absorción no mayor que 12% De acuerdo a la Normatividad: Norma Técnica Peruana (NTP 399.604 y 399.613, Unidades de Albañilería - 2005) y la Norma E 0.70.

**Tabla 52. Resultados del ensayo de Absorción**

Muestra	H(cm)	L(cm)	A(cm)	Peso Seco (gr)	Peso Sat (gr)	Absorción (%)	Promedio
A1´	9.09	23.98	14.10	4980.00	5120.00	2.81	3.18
A2´	9.09	24.03	14.10	4997.00	5130.00	2.66	
A3´	9.10	24.04	14.10	4905.00	5105.00	4.08	
B1´	9.01	24.02	14.04	4970.00	5070.00	2.01	2.53
B2´	9.01	24.06	14.00	4978.00	5110.00	2.65	
B3´	9.02	24.00	14.01	4960.00	5105.00	2.92	

*Fuente: Elaboración propia*

#### COMENTARIOS

- En la dosificación A´ nos salió una absorción de 3.18% y en la dosificación B´ una absorción de 2.53% lo cual cumple con los requerimientos de la norma E.070 ya que no sobrepasa lo permitido del 12% según la Norma E.070 Albañilería.
- Nuestra capacidad de absorción de los ladrillos baja garantiza que sean menos susceptibles a la formación de eflorescencias asegurando mayor durabilidad en zonas con humedad elevada o lluvias constantes

#### 4.6. Análisis de Costos Unitarios

#### 4.7. Elaboración de un ecoladrillo de PET Y HDPE

##### 4.7.1. *Materiales*

Para calcular el costo de la elaboración de un ecoladrillo basado en HDPE Y PET nos basamos en la dosificación de materiales del diseño A' de la segunda dosificación para la elaboración de un ecoladrillo.

**Tabla 53.** *Segunda dosificación*

DISEÑO A'	
MATERIALES	CANTIDAD
PET (kg)	0.49
HDPE (kg)	0.14
Cemento (kg)	2.04
Arena Gruesa (m3)	0.0004536
Agua (m3)	0.00058

*Fuente: Elaboración propia*

Consideramos también el costo y rendimiento de los moldes usados para la elaboración de los ecoladrillos.

##### 4.7.2. *Mano de obra y rendimientos*

Para la elaboración del diseño A se pudo hallar un rendimiento de 546 ladrillos por una jornada laboral de trabajo de 8 horas/día con dos ayudantes y sus respectivas herramientas y equipos correspondientes

##### 4.7.3. *Equipos y herramientas*

Contemplamos 3% de herramientas manuales y una mezcladora de concreto de 9 a 11p3

##### 4.7.4. *Análisis de precios unitarios*

Finalmente tenemos un APU para el siguiente diseño

**Tabla 54.** *Fabricación del ecoladrillo PET-HDPE con las dosificaciones del diseño A´*

En este caso se considera en Mano de obra un peón MONC(Mano de obra no calificada) ya que para la fabricación de un ecoladrillo no se necesita habilidades o una instrucción avanzada, solo una capacitación ya que para la elaboración de un ecoladrillo PET y HDPE es un procedimiento no muy complicado

En el caso del gasto por kg del PET Y HDPE la recolección del plástico se realizó por nosotros mismos , el lavado, la molienda y la peletización fue realizado por una empresa de molienda de plásticos HDPE Y PET que cobraron S/0.32 por kg

PARTIDA	FABRICACIÓN DE ECOLADRILLO DISEÑO A´					
	JORNADA	8	h/d	Rendimiento	546	Ladrillos/día
RECURSO	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>						<b>S/ 0.24</b>
Peón	hh	2.00	0.02930	S/ 8.30	S/ 0.24	
<b>MATERIALES</b>						<b>S/ 1.49</b>
PET	kg		0.49064	S/ 0.32	S/ 0.16	
HDPE	kg		0.14440	S/ 0.32	S/ 0.05	
Cemento	kg		2.04120	S/ 0.58	S/ 1.18	
Arena Gruesa	m3		0.00045	S/ 45.00	S/ 0.02	
Agua	m3		0.00058	S/ 12.50	S/ 0.01	
Moldes	und		0.00200	S/ 40.00	S/ 0.08	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 0.03</b>
Herramientas manuales	%		3.00000	S/ 0.24	S/ 0.01	
Mezcladora de 9 a 11 p3	hm		0.005	S/ 4.98	S/ 0.02	
					<b>PU</b>	<b>S/ 1.77</b>

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.8. Análisis comparativo de costos

Evaluaremos y haremos una comparación de costos de un asentado de un muro con ecoladrillo PET y HDPE con un ladrillo de arcilla artesanal, ladrillo industrial King Kong y una bloqueta de concreto.

Para nuestro análisis de precios unitarios tomamos con referencia CAPECO y APU de obras de construcción ya elaborados

##### 4.8.1. Muro con Ecoladrillo PET y HDPE

Ø Unidad de albañilería: Ecoladrillo PET y HDPE dosificación A'

Ø Medidas: 24 cm x 14 cm x 9 cm

Ø Cantidad de ladrillos por m<sup>2</sup> de muro: 42 unidades

#Ladrillo= 40

#Ladrillo + 5% desperdicio=42 unidades

Ø Mortero: 1:4 con 1.5 cm de espesor

Ø Cantidad de mortero por m<sup>2</sup>: 0.023 m<sup>3</sup>

Ø Cuadrilla :0.1 capataz + 1 operario + 0.5 peón

Ø Rendimiento: 11 m<sup>2</sup>/día

Ø Jornada laboral: 8 horas

**Tabla 55. Muro De Ecoladrillo PET -HDPE Soga Con Mezcla 1:4 E=1.5 Cm**

MURO DE ECOLADRILLO PET y HDPE SOGA CON MEZCLA 1:4 E=1.5 CM						
PARTIDA	JORNADA	8	h/d	Rendimiento	11	m2/día
RECURSO	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>						<b>S/ 30.21</b>
Capataz	hh	0.1	0.07273	S/ 31.13	S/ 2.26	
Operario	hh	1.0	0.72727	S/ 28.30	S/ 20.58	
Peón	hh	0.5	0.36364	S/ 20.24	S/ 7.36	
<b>MATERIALES</b>						<b>S/ 81.94</b>
Ecoladrillo PET y HDPE	und		42.000	S/ 1.77	S/ 74.35	
Cemento Portland Tipo 1	bls		0.17100	S/ 24.50	S/ 4.19	
Arena Gruesa	m3		0.02300	S/ 45.00	S/ 1.04	
Agua	m3		0.00900	S/ 12.50	S/ 0.11	
Madera Tornillo 4" x 4" x 3m	pza		0.40350	S/ 5.60	S/ 2.26	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 1.51</b>
Herramientas Manuales	%		5	S/ 30.21	S/ 1.51	
					<b>PU</b>	<b>S/ 113.66</b>

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.8.2. Muro con Ladrillo de Arcilla Artesanal

Ø Unidad de albañilería: Ladrillo artesanal

Ø Medidas: 23.5 cm x 14 cm x 7 cm

Ø Cantidad de ladrillos por m2 de muro: 54 unidades

#Ladrillo= 51

#Ladrillo + 5% desperdicio=54 unidades

Ø Mortero: 1:4 con 1.5cm de espesor

Ø Cantidad de mortero ´por m2: 0.027 m3

Ø Cuadrilla :0.1 capataz + 1 operario + 0.5 peón

Ø Rendimiento: 11m<sup>2</sup>/día

Ø Jornada laboral:8 horas

**Tabla 56. Muro Ladrillo Artesanal Soga Con Mezcla 1:4 E=1.5 Cm**

PARTIDA	MURO LADRILLO ARTESANAL SOGA CON MEZCLA 1:4 E=1.0CM E=1.5 CM					
	JORNADA	8	h/d	Rendimiento	11	m <sup>2</sup> /día
RECURSO	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>						<b>S/ 30.21</b>
Capataz	hh	0.1	0.07273	S/ 31.13	S/ 2.26	
Operario	hh	1.0	0.72727	S/ 28.30	S/ 20.58	
PEON	hh	0.5	0.36364	S/ 20.24	S/ 7.36	
<b>MATERIALES</b>						<b>S/ 51.69</b>
Ladrillo Artesanal 23.5*14*7	und		54.000	S/ 0.80	S/ 43.20	
Cemento Portland Tipo 1	bls		0.20000	S/ 24.50	S/ 4.90	
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>		0.02700	S/ 45	S/ 1.22	
Agua	m <sup>3</sup>		0.00900	S/ 12.50	S/ 0.11	
Madera Tornillo 4" x 4" x 3m	pza		0.40350	S/ 5.60	S/ 2.26	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 1.51</b>
Herramientas Manuales	%		5	S/ 30.21	S/ 1.51	
					<b>PU</b>	<b>S/ 83.40</b>

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.8.3. 5.2.3 Muro de bloqueta de concreto

Ø Unidad de albañilería: Bloqueta de concreto

Ø Medidas: 40 cm x 15 cm x 20 cm

Ø Cantidad de ladrillos por m<sup>2</sup> de muro:13 unidades

#Ladrillo= 11.61=12 unidades

#Ladrillo + 5% desperdicio=13 unidades

Ø Mortero: 1:4 con 1.5cm de espesor

Ø Cantidad de mortero ´por m2: 0.019 m3

Ø Cuadrilla :0.1 capataz + 1 operario + 0.5 peón

Ø Rendimiento: 10.5 m2/día

Ø Jornada laboral:8 horas

**Tabla 57. Muro De Bloqueta De Concreto Soga Mezcla 1:4 E=1.5 Cm**

PARTIDA	MURO DE BLOQUETA DE CONCRETO SOGA MEZCLA 1:4 E=1.5 CM					
	JORNADA	8	h/d	Rendimiento	10.5	m2/día
RECURSO	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>						<b>S/ 29.59</b>
Capataz	hh	0.1	0.07752	S/ 31.13	S/ 1.82	
Operario	hh	1.0	0.77519	S/ 28.30	S/ 16.35	
Peón	hh	0.5	0.77519	S/ 20.24	S/ 11.42	
<b>MATERIALES</b>						<b>S/ 37.82</b>
Bloqueta de Concreto 40cm x 15cm x 20 cm	und		13	S/ 2.40	S/ 31.20	
Cemento Portland Tipo 1	bls		0.14	S/ 24.50	S/ 3.43	
Arena Gruesa	kg		0.019	S/ 45.00	S/ 0.86	
Agua	m3		0.006	S/ 12.50	S/ 0.08	
Madera Tornillo 4" x 4" x 3m	pza		0.403	S/ 5.60	S/ 2.26	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 1.48</b>
Herramientas Manuales	%		5	S/ 29.59	S/ 1.48	
					<b>PU</b>	<b>S/ 68.89</b>

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.8.4. Muro King Kong 18 huecos

Ø Unidad de albañilería: Ladrillo King Kong 18 huecos Tipo V

Ø Medidas: 24 cm x 13 cm x 9 cm

Ø Cantidad de ladrillos por m2 de muro:42 unidades

#Ladrillo= 40 unidades

#Ladrillo + 5% desperdicio=42 unidades

Ø Mortero: 1:4 con 1.5cm de espesor

Ø Cantidad de mortero ´por m2: 0.027 m3

Ø Cuadrilla :0.1 capataz + 1 operario + 0.5 peón

Ø Rendimiento: 11 m2/día

Ø Jornada laboral:8 horas

**Tabla 58. Muro De Ladrillo Kk Tipo V Soga 1:4 E=1.5 Cm**

PARTIDA	MURO DE LADRILLO KK TIPO V SOGA 1:4 E=1.5 CM					
	JORNADA	8	h/d	Rendimiento	11	m2/día
RECURSO	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>						<b>S/ 30.21</b>
Capataz	hh	0.1	0.07273	S/ 31.13	S/ 2.26	
Operario	hh	1.0	0.72727	S/ 28.30	S/ 20.58	
PEON	hh	0.5	0.36364	S/ 20.24	S/ 7.36	
<b>MATERIALES</b>						<b>S/ 75.99</b>
Ladrillo KK INFES Tipo V 9x13x24 cm	und		42.000	S/ 1.59	S/ 66.78	
Cemento Portland Tipo 1	bls		0.22400	S/ 24.50	S/ 5.49	
Arena Gruesa	m3		0.03000	S/ 45.00	S/ 1.35	
Agua	m3		0.00900	S/ 12.50	S/ 0.11	
Madera Tornillo 4" x 4" x 3m	pza		0.40300	S/ 5.60	S/ 2.26	
<b>Equipos y Herramientas</b>						<b>S/ 1.51</b>

Herramientas Manuales	%	5	S/ 30.21	S/ 1.51
				<b>PU</b>
				<b>S/ 107.70</b>

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.8.5. Resumen de Análisis de Precios Unitarios

**Tabla 59.** Resumen de Análisis de Precios Unitarios

Albañilería	UNIDAD (unid)	MURO (m2)
Ecoladrillo PET y HDPE A´	S/ 1.76	S/ 113.66
Ladrillo KK INFES Tipo V	S/ 1.59	S/ 107.70
Bloqueta de concreto	S/ 2.40	S/ 66.49
Ladrillo artesanal	S/ 0.80	S/ 83.40

Con respecto a las unidades de ladrillo artesanal y bloqueta de concreto se observa que tienen un costo menor a comparación del ecoladrillo con PET -HDPE sin embargo sus propiedades para fines estructurales son menores a comparación del ecoladrillo PET y además el ladrillo artesanal tiene ciertas limitaciones en la zona sísmica donde solo se puede construir hasta 2 pisos.

Se consideró en el APU ladrillo tipo V ya que el ecoladrillo con PET Y HDPE de acuerdo a los requerimientos establecidos por la Norma E.070 se le clasificó como un ladrillo Tipo V. Comparándolo con nuestro ladrillo Tipo V se obtiene que tienen precios similares, sin embargo, nuestro ecoladrillo tiene mejores propiedades que el ladrillo King Kong Tipo V.



## CAPÍTULO V

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- La investigación responde a los objetivos trazados, dado que, mediante la evaluación de los ensayos y cálculos realizados para la obtención de las propiedades físicas y mecánicas de los ecoladrillos a base de PET y HDPE, se determinó la influencia del reemplazo del agregado grueso por los componentes mencionados, en porcentajes del 30%, 35%, 40%, 45% , 50% ,55% y 60% en dicho reemplazo se concluyó que en las dosificaciones de ecoladrillos HDPE-PET que tenían un mayor porcentaje de PET(55% y 60%) obtuvieron mayor fuerza de compresión así se obtuvo que la dosificación más óptima y que obtuvo mejores resultados en sus propiedades está compuesta por un 25% de cemento, 55% de PET, un 5% de HDPE y un 15% de Arena Gruesa.
- Con los resultados obtenidos se pudo verificar que el ecoladrillo PET-HDPE es un material de construcción que puede ser usado como un ladrillo estructural en la construcción en viviendas como ladrillo Tipo V ya que cumple con las exigencias de la Norma Técnica Peruana E.070 en resistencia a la compresión , variabilidad de dimensiones y alabeo , cumpliendo así los objetivos de esta investigación.
- Los ensayos revelaron que los ecoladrillos PET-HDPE tienen una resistencia de compresión muy por encima que los ladrillos de arcilla industrial teniendo los siguientes resultados  $f'_b$  de 218.59 kg/cm<sup>2</sup>, un  $f'_m$  de 110.79 kg/cm<sup>2</sup> y un  $v'_m$  de 10.691 kg/cm<sup>2</sup>; mientras que los ladrillos de arcilla industrial presentan un  $f'_b$  de 180 kg/cm<sup>2</sup> ,  $f'_m$  de 65 kg/cm<sup>2</sup> y  $v'_m$  de 9.2 kg/cm<sup>2</sup>,por lo tanto, nuestro ecoladrillo PET-HDPE es mucho mejor para fines estructurales.
- Dentro de las propiedades estudiadas, se obtuvo que el ecoladrillo PET-HDPE presenta una absorción de 3.18% y una succión de 11.22 g/min. Además, se debe esperar 28 días para que los ecoladrillos con PET-HDPE que contienen cemento alcancen su resistencia máxima.
- El PET Y HDPE es un material innovador para el sector de la construcción. Se comprobó que la reutilización del PET y HDPE es factible para la elaboración de unidades de albañilería lo que ayudará a reducir el impacto del plástico en el medio ambiente y reducir la contaminación ocasionada por lo hornos que se

utilizan en la elaboración de ladrillos arcilla cocida. Demostrando un claro aporte a la construcción sostenible.

- Con respecto al análisis precios unitarios de la elaboración de los ecoladrillos en comparación con los productos actuales del mercado, se concluyó que, existe una similitud en los precios de fabricación teniendo como precio por unidad de nuestro ecoladrillo PET y HDPE S/1.76 y en muro por m<sup>2</sup> a S/113.72 en comparación de un ladrillo KK tipo V que en el mercado se encuentra aproximadamente S/1.59 y muro por m<sup>2</sup> S/ 107.70 , lo que indica que desde el punto de vista económico tienen un precio similar sin embargo nuestra propuesta de ecoladrillo PET-HDPE resulta favorable en cuanto a sus propiedades para fines estructurales son mejores a comparación del ecoladrillo PET-HDPE. Además se comprobó en el ecoladrillo PET-HDPE con mortero 1:4 obtuvieron mejor resistencia a la compresión aproximadamente un 10% mayor que la resistencia a la compresión en el ecoladrillo PET-HDPE con mortero 1:5.
- Los ensayos realizados sobre la succión y absorción de agua en los ecoladrillos PET-HDPE indican que estos presentan una baja capacidad de absorción en comparación con los ladrillos convencionales de arcilla. Este comportamiento se debe a la naturaleza del PET y HDPE, materiales con bajo nivel de porosidad que minimizan la absorción de agua. Esta característica es beneficiosa para la construcción en climas húmedos o áreas donde la exposición a la humedad es constante, ya que contribuye a mejorar la durabilidad de las estructuras y reduce los problemas relacionados con la expansión y contracción del material debido a la humedad.
- Los resultados de succión mostraron que los ecoladrillos poseen una adherencia suficiente para asegurar la cohesión con el mortero, manteniendo la estabilidad estructural de las paredes construidas. Esto hace de los ecoladrillos PET-HDPE una opción adecuada en proyectos donde se busca reducir la absorción de agua, contribuyendo así a una mayor resistencia a la intemperie y optimizando la durabilidad en condiciones de alta exposición ambiental.
- El proceso de molienda del PET y HDPE es esencial para obtener un material adecuado que permita reemplazar el agregado grueso en la fabricación de ecoladrillos. Sin embargo, este proceso implica ciertos costos debido al uso de maquinaria y energía que, actualmente, afectan el costo final de producción de

los ecoladrillos. Aun así, con futuras inversiones en tecnología de molienda y reciclaje más eficiente, el costo de transformación de plásticos podría reducirse considerablemente, abaratando el precio del plástico como agregado. Esto no solo haría el material más económico, sino que facilitaría su adopción masiva en el sector de la construcción, permitiendo que los ecoladrillos PET-HDPE se conviertan en una opción aún más competitiva y accesible, tanto en el ámbito residencial como en proyectos de gran escala.

- La etapa inicial de recolección y selección de los plásticos PET y HDPE es crucial para asegurar la calidad del ecoladrillo final. El proceso de molienda de PET y HDPE permite obtener partículas con un tamaño adecuado para integrarse en la mezcla, asegurando una buena cohesión y distribución en el ecoladrillo. Esta fase es clave para la resistencia y uniformidad del producto, y la optimización de esta etapa puede reducir significativamente los costos y mejorar el rendimiento.
- La dosificación precisa de los componentes (PET, HDPE, cemento, y arena) es fundamental para lograr un ecoladrillo de alta calidad. Las pruebas realizadas han mostrado que una mezcla balanceada mejora tanto la resistencia a la compresión como la durabilidad del producto, lo que lo convierte en una alternativa viable para construcción.

## 5.2. Recomendaciones

- Se recomienda recolectar el material PET y HDPE adecuado, el cual deberá estar preliminarmente lavado, sin etiquetas ni tapas para su proceso de trituración.
- Debido a que las partículas más grandes tienen una menor adhesividad, el plástico PET y HDPE peletizado no debe ser mayor a 5 mm.
- En los procesos de trituración las partículas PET y HDPE se recomienda que las partículas no sean menores de 3 mm ya que menos de este tamaño provocaría que los costos se elevarán.
- Se recomienda siempre respetar y cumplir los 28 días de curado para que el ecoladrillo PET-HDPE alcance su mayor resistencia.
- El ecoladrillo PET-HDPE es un prototipo que aún puede mejorar. Además, se puede considerar añadir aditivos acelerantes en la etapa de producción y curado como también para su acabado.
- Se sugiere que las municipalidades inviertan en la adquisición de un molino propio como parte de un proyecto socioambiental para tener un costo cero en la obtención de PET y HDPE molido como materia prima, reduciendo así el costo por unidad y por lo tanto el costo por m<sup>2</sup> en los muros de Albañilería.
- Se sugiere trabajar con entidades gubernamentales y de construcción para impulsar normativas y estándares que favorezcan el uso de materiales reciclados en edificaciones. Esto facilitaría la aceptación de los ecoladrillos PET-HDPE en el sector de la construcción y promovería su aplicación en proyectos de viviendas y edificaciones sostenibles.
- Se recomienda explorar tecnologías más eficientes y económicas para el proceso de molienda de PET y HDPE, ya que reducir el costo de este proceso podría hacer más competitivo el precio de los ecoladrillos. Además, el uso de máquinas de bajo consumo energético y alta capacidad de producción podría optimizar los tiempos y costos de procesamiento.
- Ofrecer capacitaciones sobre el uso y beneficios de los ecoladrillos a constructores, arquitectos y otros profesionales del sector. Esto incrementará el interés y la confianza en materiales sostenibles y promoverá una construcción más amigable con el ambiente.

## REFERENCIAS

- Álzate Villamil, W. E. (2022). Elaboración ladrillos ecológicos a partir de botellas plásticas recicladas fabricadas en PET como elemento básico para la construcción de vivienda unifamiliar en el Municipio de Caldas Boyacá. Tesis para optar el título profesional de constructor en Arquitectura e Ingeniería, Universidad Santo Tomás, Facultad de construcción en Arquitectura e ingeniería, Bogotá. Obtenido de [https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/48319/2022williamedgardoal\\_zatevillamil.pdf?sequence=1](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/48319/2022williamedgardoal_zatevillamil.pdf?sequence=1)
- Ampuero Antazu AA. y Romero Bueno PL. (2020). Parámetros físicos y mecánicos de ladrillos ecológicos hechos a base de material reciclado (plástico PET) para Construcción: Una Revisión. Tesis. Universidad Peruana Unión. Lima, Perú. Obtenido de: <https://es.scribd.com/document/657212912/Parametros-fisicos-y-mecanicos-de-ladrillos-ecologicos-hechos>
- Anurag, w. (2023). Efecto en las propiedades mecánicas y físicas de los ladrillos por adición de tereftalato de polietileno residual. Professional Management and Technology.
- Araoz Escobedo, T., & Velezmoro Girón, J. (2012). Reforzamiento de viviendas existentes construidas con muros confinados hechos con ladrillos pandereta - segunda etapa. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingenierías, Lima. Obtenido de [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1203/ARAOZ\\_TANIA\\_Y\\_VELEZMORO\\_JHONATAN\\_REFORZAMIENTO\\_VIVIENDAS\\_LADRILLOS\\_PANDERETA.pdf?sequence=1](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1203/ARAOZ_TANIA_Y_VELEZMORO_JHONATAN_REFORZAMIENTO_VIVIENDAS_LADRILLOS_PANDERETA.pdf?sequence=1)
- Ayrtor Pastor, J. P. (2015). DISEÑO DE PLANTA PRODUCTORA. 99.
- Barranzuela Lescano, J. (2014). Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región Piura. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Piura. Obtenido de
- Benavides Rubio. DY. (2023). Evaluación del Ladrillo Sólido de Concreto Adicionando Cal Hidratada y Plástico PET Reciclado, Chota. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de Chota. Cajamarca, Perú. Obtenido de: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNCH\\_1b9bbb9d4f82a9844c4968a6c fb60eb5](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNCH_1b9bbb9d4f82a9844c4968a6c fb60eb5)

- Calcina Paredes MR. y Delgado Medina CA. (2019). Análisis de la utilización de residuos plásticos HDPE como reemplazo parcial de los componentes del concreto para
- Contreras, U., & Andres, D. (2019). Análisis Técnico de la Albañería DE Eco-ladrillos.
- Cornejo Cueva, C. (2019). Evaluación comparativa de las características físico - mecánicas de unidades de ladrillo tipo King Kong de 18 huecos elaboradas en la ladrillera latesan con arcillas y arenas de las canteras de piñipampa y san jeronimo - cusco según la norma E 0.70. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil , Universidad Andina de Cusco , Facultad de Ingeniería y Arquitectura . Obtenido de [https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/3192/Aldo\\_Tesis\\_bachiller\\_2019\\_Part.2.pdf?sequence=2&isAllowed=y#:~:text=El%20alabeo%20est%C3%A1%20relacionado%20con,un%20incremento%20de%20material%20usado.](https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/3192/Aldo_Tesis_bachiller_2019_Part.2.pdf?sequence=2&isAllowed=y#:~:text=El%20alabeo%20est%C3%A1%20relacionado%20con,un%20incremento%20de%20material%20usado.)
- Del Carpio Bellido Guillén, C. (2021). Estudio de factibilidad para la instalación de una planta productora de ladrillos a partir de botellas de plástico PET en la ciudad de Arequipa. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial, Universidad Católica Santa Maria, Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales, Arequipa. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/11099/44.0755.II.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Echevarría Garro, E. R. (2017). Ladrillos de concreto con plástico PET reciclado. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de ingenierías , Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1501/LADRILLOS%20DE%20CONCRETO%20CON%20PL%C3%81STICO%20PET%20RECICLADO.pdf?sequence=1>
- El peruano. (2014). Norma Técnica Peruana 334.090.
- Febres Ballon, G., & Vargas Guerra , M. (2021). Estudio de prefactibilidad para la elaboración de ladrillos ecológicos a base de material reciclado PET. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial, Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima Obtenido de <https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/14042/Febres-Gaggino.>
- Gaggino. (2008). Componentes Constructivos Elaborados con una Mezcla Cementicia.
- Gallegos, H., & Casabonne, C. (2005). Albañilería Estructural.

- Garzón Castro, L. N., & Guzmán Serrano, L. F. (2019). Ladrillo de plástico como material sostenible para la construcción. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Facultad de Ingeniería, Girardot.
- González Bernal, R., Zamudio Guerrero, C., Piña Castillo, J., Trujillo Jiménez, J., & Tinoco Reyes, F. (2022). Diseño de prensa hidráulica para reciclar polietileno de alta densidad (HDPE) en forma de placas. *Ciencia Nicolaíta*, 86, 136-148. doi: <https://doi.org/10.35830/cn.vi86.682>
- Guadalupe Huamán, J. (2019). Diseño de ladrillo artesanal con vidrio triturado y puzolana para mejorar sus propiedades físico - mecánicas. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Peruana de los Andes, Facultad de Ingeniería . Obtenido de <https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/796/Guadalupe%20Huam%C3%A1n%20Janneth%20Yesica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>  
[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1755/ICI\\_199.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1755/ICI_199.pdf)
- Huayama, K., & Ruesta, J. (2021). Incorporación de Fibras de Polipropileno para aumentar la resistencia a la compresión de los ecoladrillos, Moyobamba, 2021. Tesis para la obtención del título de Ingeniero Civil, Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Moyobamba. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/83291>
- INACAL. (2018). Norma Técnica Peruana 400.037.
- Josefina, I., & Valderrama, C. (2019). Análisis Técnico, Económico y Medioambiental de la Fabricación de Bloques de Hormigón con Polietileno Tereftalato Reciclado (PET). Scielo.
- Martínez Amariz, A. D., & Cote Jiménez, M. L. (2014). Diseño y fabricación de Ladrillo reutilizando materiales a base de PET\*. *INGE CUC*, 10(2), 76-80. Obtenido de <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/2603/Dise%c3%b1o%20y%20fabricaci%c3%b3n%20de%20ladrillo%20reutilizando%20materiales%20a%20base%20de%20PET.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mathios Castro, A. C. (2020). Elaboración de ladrillos ecológicos a base de plásticos PET reutilizados y aserrín de la especie Huayruro (*ormosia coccinea*) de las industrias madereras en Ucayali, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2021). Norma E.070 Albañilería. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.

- Mireya, G., Marcial, A., Diana, P., Fara, B., & Hugo, V. (2020). Nuevo Material Sustentable: Ladrillos ecológicos a base de residuos inorgánicos. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*.
- Molina, Schirley A. V. (17 de 8 de 2007). Estudio de las características físico-mecánicas de ladrillos. 157.
- Núñez Crisanto, S. B. (2020). Uso de botellas PET como material estructural para vivienda ecológica en Piura-2020. Para optar el título profesional de: ingeniero civil, Universidad Nacional de Piura, Facultad de Ingeniería Civil, Piura. Obtenido de <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2643>
- Par, R. (2016).. Reutilización de Plástico PET, Papel y Bagazo de Caña de Azúcar, 173.
- Patiño Ortiz, B. C. (2020). Fábrica de ladrillos plásticos en base a residuos PET para la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Tesis para optar el título profesional de Arquitecta, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de arquitectura y urbanismo, Arequipa. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12773/11780>
- Pérez Collantes, D. S. (2021). “Influencia del plástico PET en las propiedades de ladrillos de concreto ecológicos para viviendas unifamiliares, Carabayllo – 2021. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil , Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,Lima. ¿Obtenido de [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/85019/P%C3%A9rez\\_CDS-SD.pdf?sequence=1](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/85019/P%C3%A9rez_CDS-SD.pdf?sequence=1)
- Piñeros Moreno, M. E., & Herrera Muriel, R. D. (2018). Proyecto de factibilidad económica para la fabricación de bloques con agregados de plástico reciclado (PET), aplicados en la construcción de vivienda. Tesis de Grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Bogotá. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/b7d5ff9a-9471-49b4-9733b5467c1485ae/content>
- Ramirez Agurto, N. N. (2018). Resistencia a compresión de un ladrillo de concreto F´C 175 kg/cm<sup>2</sup> sustituyendo al cemento por 10% y 15% de Zeolita. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil , Universidad San Pedro, Facultad de Ingeniería. ¿Obtenido de [http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/8014/Tesis\\_58890.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/8014/Tesis_58890.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- resistencias  $f'c = 210$  y  $280 \text{ kg/cm}^2$ , en la ciudad de Arequipa. Tesis. Universidad Católica de Santa María. Obtenido de:  
file:///C:/Users/Usuario/Downloads/45.0311.IC.pdf
- Ripley, G., & Dana, C. (2023). La nueva enciclopedia americana vol. III.
- Rodríguez Bonilla, K. A. (2019). Influencia del plástico polietileno de alta densidad utilizado como agregado grueso en el concreto. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Peruana los Andes, Facultad de Ingeniería, Huancayo. ¿Obtenido de  
[https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/1695/T037\\_71232746\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/1695/T037_71232746_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Romaña Vilca AJ. (2021). reutilización de plástico polietilen-tereftalato (pet) como materia prima en la elaboración de ecoladrillos para albañilería como alternativa sostenible para la construcción. Tesis. Univeridad Catolica de Santa Maria. Arequipa, Peru. Obtenido de: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/45.0361.IC.pdf
- Ruiz, C., & Linda Almendra, C. M. (2020). ELABORACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS A BASE DE PLÁSTICOS PET REUTILIZADOS Y ASERRÍN DE LA ESPECIE HUAYRURO (ORMOSIA. Ucayali.
- Ruth, S., Diber, P., Krystle, G., & Jhonatan, H. (2019). Análisis de mezclas de residuos sólidos orgánicos empleadas en la fabricación de ladrillos ecológicos no estructurales. Revista de Ciencias Ambientales.
- San Bartolome, A. (1994). Construcciones de Albañilería (Primer Edición ed.). Lima: Fondo editorial de la Pontificia Universidad Católica.
- San Bartolomé, A., Quiun, D., & Silva, W. (2018). Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería (Segunda edición ed.). Lima: Fondo Editorial Pontifical Universidad Católica del Perú.
- SENCICO. (2020). Norma Técnica Peruana E.070.
- Valdivia Huaman, R. (2019). Evaluación de las características físico-mecánicas de ladrillos tipo iv compuesto de arena gruesa y de polímeros pet en base a la norma técnica e-070. Cusco.Valparaíso.
- Vargas Saire, E. (2021). Influencia del cemento portland tipo IP en las propiedades del adobe comprimido artesanalmente en San Jerónimo - Cusco en el año 2021. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Continental,

Facultad de Ingeniería, Huancayo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11097>

Villaquirán, M., Hernández, E., Agudelo, K., Arias, J., Viera, M., & Carvajal, D. (2021). Evaluación del desempeño térmico de ladrillos ecoamigables con incorporación de residuos de mullita. Scielo.



## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Metodología
<p><b>Problema general:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál sería el proceso para crear un ecoladrillo hecho de plástico PET y HDPE peletizado que cumpla con los requisitos de la normativa peruana y sea accesible económicamente para la construcción de viviendas?</li> </ul> <p><b>Problemas específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál será el reemplazo porcentual más óptimo entre el 30% y 50% del agregado grueso por PET Y HDPE peletizado para la elaboración de un ecoladrillo factible?</li> <li>¿De qué manera se llevará a cabo la evaluación de las características físicas y mecánicas de los ecoladrillos hechos a partir de PET con el fin de garantizar que cumplan con los estándares establecidos en la norma E. 070?</li> <li>¿En qué medida los ecoladrillos a base de PET y HDPE resultan como una opción favorable a la hora de evaluar el</li> </ul>	<p><b>Objetivo general:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Usar el HDPE-PET como reemplazo de manera total en el agregado grueso para el diseño viable de un nuevo eco ladrillo para albañilería que cumpla con la normativa peruana de vivienda, a través de su evaluación estructural.</li> </ul> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Determinar la influencia del reemplazo total entre el 30%,35%,40%,45% , 50%.55% y 60% del agregado grueso por (PET) y (HDPE) en el diseño de mezcla de un ecoladrillo para albañilería.</li> <li>Evaluar las propiedades físicas y mecánicas del ecoladrillo a base de tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad reciclado peletizado (HDPE) de acuerdo con la Norma Técnica Peruana E 0.70.</li> <li>Realizar un Análisis de Precios Unitarios de la fabricación de los ecoladrillos a base de PET y HDPE, que permita conocer las</li> </ol>	<p><b>Hipótesis general:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El uso viable del HDPE-PET como reemplazo total del agregado grueso para la elaboración de ecoladrillos de albañilería que cumpla con las exigencias requeridas por la normativa peruana, permitiría una alternativa sostenible en la construcción de viviendas en el Perú</li> </ul> <p><b>Hipótesis específica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Es posible elaborar ecoladrillos a base de tereftalato de polietileno (PET) y polietileno de alta densidad (HDPE) que cumplan las propiedades físicas y mecánicas de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 0.70</li> <li>Es posible determinar la influencia del reemplazo porcentual total de HDPE Y PET que determinará cuál es el porcentaje más óptimo y factible para nuestro ecoladrillo.</li> <li>La realización de Análisis de</li> </ul>	<p><b>Tipo de investigación</b></p> <p><b>Descriptiva</b></p> <p>El tipo de investigación es aplicada ya que el objetivo es que el conocimiento ya adquirido debe ser utilizado y así poder determinar cuáles son los resultados</p> <p><b>Experimental</b></p> <p>Empleo de forma intencional de una o más variables con el objetivo de poder analizar sus consecuencias en otras variables y esto se produce en un entorno controlado. Asimismo, este diseño de investigación nos permitirá distinguir en una situación determinada la certidumbre de las hipótesis formuladas.</p> <p><b>Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos</b></p> <p><b>Cuantitativa</b></p> <p>Se opta por la técnica cuantitativa debido a que se va a emplear y utilizar el tema de la estadística lo cual nos brindara una mayor confiabilidad ya que el objetivo es la recolección de datos de una manera precisa donde existirá especificaciones técnicas y un sistema que brindara datos numéricos específicos.</p> <p><b>Observación</b></p>

<p>ámbito económico?</p>	<p>ventajas o desventajas económicas del uso de los mismos.</p>	<p>Precios Unitarios de la fabricación de los ecoladrillos a base de PET y HDPE, permitirá conocer los beneficios económicos del uso de los mismos</p>	<p>Mediante una agrupación de categorías y subcategorías se llevará un registro y este debe ser fidedigno, permitido y sistémico con el fin observar las situaciones y el comportamiento. El investigador se encontrará presente durante las pruebas de laboratorio en donde observará el momento en el cual se adicionará el Tereftalato de polietileno y Polietileno de alta densidad en sus diversas proporciones.</p>
--------------------------	---	--	---



## Anexo 2. Panel fotográfico

**Ilustración 12.** *Polietileno de alta densidad (HDPE) peletizado*



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 13.** *Tereftalato de polietileno*



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 14.** Mezcla de concreto adicionando HDPE Y PET



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 15.** Preparación de las dosificaciones



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 16.** Rotura de ecoladrillos Primera dosificación, diseños 14-11 a 7 días.



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 17.** Ecoladrillos después del ensayo de resistencia a 28 días

*(Primera dosificación 7)*



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 18.** Ecoladrillos a 7 días, después del fraguado (Primera dosificación 1,2,3,4,8,12,13,15 y 16)



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 19.** Ecoladrillos después del ensayo de resistencia a 7 días (Segunda dosificación 5)



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 20.** Ecoladrillos después del ensayo de resistencia a 7 días (Segunda dosificación 3)



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 21.** Ecoladrillo diseño 2 Segunda dosificación. Cemento 25%, HDPE 7.5%, PET 47.5%, A gruesa 15%



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 22.** Ecoladrillo diseño 3 Segunda dosificación. Cemento 25%, HDPE 10%, PET 45%, A gruesa 15%



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 23.** Ensayo de succión en muestra 1



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 24.** *Ensayo de succión en muestra 2*



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 25.** *Ensayo de variación de dimensiones en muestra 1*



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 26.** *Ensayo de variación de dimensiones en muestra 1*



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 27.** *Ensayo de alabeo en muestra 1*



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 28.** *Ensayo de compresión de pilas .Dosificación Tipo 1*



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 29.** *Ensayo de compresión de pilas. Dosificación Tipo 2*



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 30.** *Elaboración de muretes*



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 31.** *Elaboración de muretes y pilas*



*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 32.** *Ensayo de compresión de muretes. Dosificación 1, Mortero 1:4*



*El murete tiene una dimensión de 60cm x 60cm y se tendrá cuidado en el traslado del murete evitando golpes , sacudidas y volteos y centrar bien los cabezales superiores como inferiores.*

*Fuente:* Elaboración propia

**Ilustración 33.** *Ensayo de compresión de muretes. Dosificación 1, Mortero 1:4*



*Se puede observar la falla por cortante en el murete*

*Fuente:* Elaboración propia