



**Universidad Científica del Perú - UCP**  
Registrado en el Asiento N° A00010 de la Partida N° 11000318, Personas Jurídicas de Iquitos,  
Superintendencia de los Registros Públicos - SUNARP

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**  
**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“INFLUENCIA DEL MATERIAL PET EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS  
DEL LADRILLO KING KONCRETO DE MORTERO HIDRÁULICO, IQUITOS – PERÚ  
2021”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR (es):**

**BACH. SALDAÑA RODRIGUEZ, GENESIS MARGARITA.**

**BACH. UTIA AHUANARI, FÉLIX OTONIEL.**

**ASESOR (es):**

**Ing. IRIGOIN CABRERA, ULISES OCTAVIO Msc**

**Código ORCID: 0009-0007-6168-7415**

**CO – ASESOR:**

**Ing. PRADO ESPINO, ROSSANA CAROL**

**Código ORCID: 0009-0003-0353-696X**

**Iquitos – Perú**  
**2021**

## **DEDICATORIA**

A mis amados padres Limber Saldaña y Lila Rodríguez para que a través de esta tesis vean coronado sus esfuerzos del día a día ya que ellos nunca dejaron de brindarme su apoyo incondicional.

A Walter Marcial Romero Bardales para que sepa que sus palabras, consejos y apoyo me impulsaron a la consecución de este trabajo.

A mis hermanos Marina y Luis que con su ejemplo me inspiraron a seguir creciendo y alcanzar nuevas metas.

### **Génesis Margarita Saldaña Rodríguez**

A mi madre la Sra. **ELVA AHUANARI SOSA**, que ha sabido dirigirme por un buen camino, formando en mí, una persona de valores, para poder salir adelante en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi padre el sr. **ARMANDO UTIA COHIQUINA** que me enseñó a ser perseverante y a luchar hasta conseguir mis metas.

A mi hermosa familia que fueron cimiento y sustento de mi vida; ellos fueron mi mayor motivación para no rendirme en los momentos difíciles que pasé como estudiante y encontré en ellos la imperación de seguir adelante hasta cumplir mis sueños.

A mis tíos por creer y confiar en mí.

**Felix Otoniel Utia Ahuanari**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por la vida, por guiarnos nuestros pasos y ser nuestra fortaleza para continuar y seguir adelante con los proyectos personales y profesionales que nos hemos propuesto.

A nuestras familias, por su comprensión y apoyo brindado durante los años de preparación académica; por su entrega, dedicación y compañía.

Al Sr. Deomar Hermes Raí Lima Morote por su interés y contribución a la investigación.

Para ellos nuestro sincero agradecimiento.

*“Año de la Unidad, la paz y el desarrollo”*

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP**

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

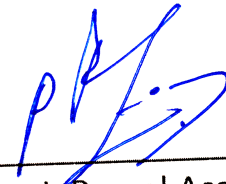
La Tesis titulada:

**“INFLUENCIA DEL MATERIAL PET EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y  
MECÁNICAS DEL LADRILLO KING KONCRETO DE MORTERO  
HIDRÁULICO, IQUITOS – PERÚ 2021”**

De los alumnos: **GÉNESIS MARGARITA SALDAÑA RODRIGUEZ Y FELIX  
OTONIEL UTIA AHUANARI**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó  
satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un  
porcentaje de **14% de similitud**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que  
estime conveniente.

San Juan, 04 de Mayo del 2023.



Dr. César J. Ramal Asayag  
Presidente del Comité de Ética – UCP

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

**FACULTAD DE  
CIENCIAS E  
INGENIERÍA**

### FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal **Nº461-2022-UCP-FCEI** de fecha 13 de Mayo de 2022, La FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- |   |            |
|---|------------|
| • Ing. Carol Begoña García Langer, M. Sc. | Presidente |
| • Ing. Félix Wong Ramírez, M.Sc.          | Miembro    |
| • Ing. Jefree Stefano Arévalo Flores, Mg. | Miembro    |

Como Asesor: **Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, M. Sc**

Como Co Asesora: **Ing. Rossana carol Prado Espino**

En la ciudad de Iquitos, siendo las 11:00 horas del día Martes 30 de Mayo del 2023, de manera presencial supervisado por el secretario académico del programa académico de Ingeniería civil de la facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Científica del Perú, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: **“INFLUENCIA DEL MATERIAL PET EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL LADRILLO KING KONCRETO DE MORTERO HIDRÁULICO, IQUITOS – PERÚ 2021”**.

Presentado por los sustentantes:

**GENESIS MARGARITA SALDAÑA RODRIGUEZ Y  
FELIX OTONIEL UTIA AHUANARI**

Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: **ABSUELTAS**

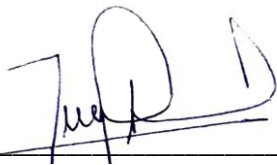
El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: **APROBADA POR UNANIMIDAD**

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.



Presidente



Miembro



JEFREES ARÉVALO FLORES  
INGENIERO CIVIL  
CIP. Nº 163914

Miembro

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTO .....	3
ACTA DE SUSTENTACIÓN .....	5
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	6
ÍNDICE DE TABLAS .....	9
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	10
RESUMEN.....	11
ABSTRACT .....	12
<b>CAPITULO I: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	13
1.1.1. Antecedentes Internacionales.....	13
1.1.2. Antecedentes Nacionales .....	17
1.2. Bases teóricas.....	27
1.2.1. Unidad de Albañilería.....	27
1.2.1.1. Características Generales.....	27
1.2.1.2. Clasificación para Fines Estructurales .....	27
1.2.1.3. Limitaciones en su Aplicación.....	29
1.2.1.4. Pruebas.....	29
1.2.1.5. Aceptación de la Unidad.....	30
1.2.2. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto .....	31
1.2.2.1. Selección de los Especímenes para los ensayos .....	31
1.2.2.2. Número de especímenes .....	32
1.2.2.3. Identificación.....	32
<b>1.2.2.4. Medición de Dimensiones.....</b>	<b>33</b>
1.2.2.4.1. Aparatos.....	33
1.2.2.4.2. Especímenes .....	33
1.2.2.4.3. Dimensiones.....	33
<b>1.2.2.5. Resistencia a La Compresión .....</b>	<b>34</b>
1.2.2.5.1. Aparatos.....	34
1.2.2.5.2. Especímenes de prueba.....	35
<b>1.2.2.6. ABSORCIÓN .....</b>	<b>38</b>
<b>1.2.2.7. CÁLCULOS.....</b>	<b>39</b>

<b>1.2.3. Tereftalato de Polietileno (PET)</b> .....	43
1.2.3.1. Historia .....	43
1.2.3.2. Definición .....	44
1.2.3.3. Propiedades del material PET.....	45
1.2.3.4. Desventajas del Tereftalato de Polietileno – PET .....	49
1.2.3.5. Comparación del PET con otros materiales.....	49
1.3. Definición de Términos Básicos.....	51
<b>CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	56
2.1. Descripción del Problema .....	56
2.2. Formulación del problema.....	58
2.2.1. Problema general .....	58
2.2.2. Problemas específicos.....	58
2.3. Objetivos .....	58
2.3.1. Objetivo general .....	58
2.3.2. Objetivos específicos.....	58
2.4. Hipótesis .....	59
2.4.1. Hipótesis General .....	59
2.4.2. Hipótesis Específicas.....	59
2.5. Variables:.....	59
2.5.1. Identificación de las variables. ....	59
2.5.2. Definición conceptual y operacional de las variables. ....	60
2.5.3. Operacionalización de las variables.....	60
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b> .....	62
3.1. Tipo y diseño de investigación. ....	62
3.1.1. Tipo de investigación .....	62
3.1.2. Diseño de investigación.....	62
3.2. Población y muestra.....	63
3.2.1. Población.....	63
3.2.2. Muestra .....	63
3.3. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos .....	63
3.3.1. Técnicas de recolección de Datos .....	63
3.3.2. Instrumentos de recolección de Datos.....	64
3.3.3. Procedimientos de recolección de Datos .....	64
3.4. Procesamiento y análisis de datos. ....	65
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS</b> .....	66

<b>4.1. Características físicas de los agregados</b> .....	66
4.1.1. Análisis granulométrico.....	66
4.1.2. Peso unitario suelto de los agregados .....	67
4.1.3. Peso unitario compactado del agregado.....	68
4.1.4. Gravedad específica y absorción del agregado .....	69
<b>4.2. Diseños definitivos</b> .....	70
<b>4.3. Propiedades físicas de las unidades de ladrillo en estado fresco y endurecido</b> .....	70
4.3.1. Consistencia.....	70
4.3.2. Densidad .....	71
4.3.3. Absorción .....	73
4.3.4. Alabeo .....	75
<b>4.4. Propiedades mecánicas del concreto endurecido</b> .....	78
<b>4.4.1. Resistencia a la compresión</b> .....	78
<b>4.4.2. Comparación de la resistencia a la compresión f<sub>b</sub> de los diseños ensayados</b> .....	80
<b>4.5. Prueba de Hipótesis (Análisis Inferencial)</b> .....	81
4.5.1. Análisis para la Densidad (gr/cm <sup>2</sup> ) .....	81
4.5.2. Análisis para la absorción en %.....	86
<b>4.6. Análisis de Precio Unitario del ladrillo King Koncreto con adición PET al 0%, 10%, 15% y 20%</b> .....	96
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	99
<b>5.1. Discusión de resultados</b> .....	99
<b>5.2. Conclusiones</b> .....	102
<b>5.3. Recomendaciones</b> .....	104
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	105
<b>ANEXOS</b> .....	107
<b>ANEXO N° 01: Matriz De Consistencia</b> .....	108
<b>MATRIZ DE CONSISTENCIA</b> .....	109



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factores de corrección de la relación altura a espesor para los ensayos de compresión en segmentos de unidades de muros de contención .....	41
Tabla 2 Sistema de Identificación de Envases PET .....	44
Tabla 3: Características Técnicas del material PET .....	46
Tabla 4: Operacionalización de las Variables .....	60
Tabla 5: Normativa ASTM para Ensayos .....	65
Tabla 6: Análisis Granulométrico por Tamizado - Agregado fino.....	66
Tabla 7: Análisis Granulométrico por Tamizado – PET triturado .....	67
Tabla 8: Peso Unitario Suelto y porcentaje de vacíos en el Agregado fino .....	68
Tabla 9: Peso Unitario Suelto y porcentaje de vacíos en el aditivo PET triturado.....	68
Tabla 10: Peso Unitario Compactado y porcentaje de vacíos en el Agregado fino .....	68
Tabla 11: Peso Unitario Compactado y porcentaje de vacíos en el aditivo PET triturado.....	69
Tabla 12: Ensayo Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino – Arena Blanca. (ASTM C – 128) .....	69
Tabla 13: Ensayo Gravedad Específica y Absorción del aditivo PET triturado (ASTM C – 127) .	70
Tabla 14: Valores de Diseño de Mezcla – Con y sin aditivo PET triturado .....	70
Tabla 15: Asentamiento de los Diseños de Ladrillo de mortero hidráulico .....	71
Tabla 16: Densidad del ladrillo de concreto – Diseño sin adición de PET .....	71
Tabla 17: Densidad del ladrillo de concreto – Diseño con adición de PET al 10% .....	72
Tabla 18: Densidad del ladrillo de concreto – Diseño con adición de PET al 15% .....	72
Tabla 19: Densidad del ladrillo de concreto – Diseño con adición de PET al 20% .....	72
Tabla 20: Resumen de las densidades promedio obtenidas en los diseños de ladrillo de mortero ..	73
Tabla 21: Absorción del ladrillo de concreto – Diseño sin adición de PET.....	74
Tabla 22: Absorción del ladrillo de concreto – Diseño con adición de PET al 10% .....	74
Tabla 23: Absorción del ladrillo de concreto – Diseño con adición de PET al 15% .....	74
Tabla 24: Absorción del ladrillo de concreto – Diseño con adición de PET al 20% .....	74
Tabla 25: Resumen de la absorción promedio obtenida en los diseños de ladrillo de mortero.....	75
Tabla 26: Alabeo de los ladrillos de mortero– Diseño sin adición de PET.....	76
Tabla 27: Alabeo de los ladrillos de mortero – Diseño con adición de PET al 10% .....	76
Tabla 28: Alabeo de los ladrillos de mortero – Diseño con adición de PET al 15% .....	77
Tabla 29: Alabeo de los ladrillos de mortero – Diseño con adición de PET al 20% .....	77
Tabla 30: Resumen de los resultados de Alabeo en los diseños de ladrillo de mortero con y sin adición de PET .....	78
Tabla 31: Ensayo de Compresión para ladrillos de mortero sin adición de PET triturado a los 28 días .....	78
Tabla 32: Ensayo de Compresión para ladrillos de mortero con adición del 10% de PET triturado (28 días).....	79
Tabla 33: Ensayo de Compresión para ladrillos de mortero con adición del 15% de PET triturado (28 días).....	79
Tabla 34: Ensayo de Compresión para ladrillos de mortero con adición del 20% de PET triturado (28 días).....	80
Tabla 35: Comparación de la Resistencia a la Compresión obtenida en los cuatro diseños .....	80
Tabla 36: APU por cada millar de ladrillos tipo King Koncreto Sin adición de PET triturado .....	97
Tabla 37: APU por cada millar de ladrillos tipo King Koncreto con adición de 10% de PET triturado .....	97

Tabla 38: APU por cada millar de ladrillos tipo King Koncreto con adición de 15% de PET triturado .....	98
Tabla 39: APU por cada millar de ladrillos tipo King Koncreto con adición de 20% de PET triturado .....	98
Tabla 40: Precio por unidad de ladrillo King Koncreto según el tipo de Diseño.....	99

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1: Curva Granulométrica Agregado fino.....	66
Gráfica 2: Curva Granulométrica PET triturado .....	67
Gráfica 3: Comparación de los asentamientos de los diseños de mezcla para ladrillos con y sin adición de PET triturado .....	71
Gráfica 4: Comparación de las densidades obtenidas en los ladrillos con y sin adición de PET triturado .....	73
Gráfica 5: Comparación de la absorción promedio en los ladrillos con y sin adición de PET triturado .....	75
Gráfica 6: Comparación de las densidades obtenidas en los ladrillos con y sin adición de PET triturado .....	81

## RESUMEN

Los objetivos del presente estudio consisten en determinar la influencia de la incorporación del material PET reciclado y triturado en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de mortero hidráulico, basado en los parámetros de la norma NTP 399.602, en base a lo indicado en la norma NTP 399.604. La investigación es del tipo descriptiva, en cuanto a los agregados y experimental por el uso en diferentes proporciones de adición del material PET triturado en la elaboración de la mezcla, la cual se consideró debía tener como resistencia a la compresión mínima  $f'_{b}=50\text{kg/cm}^2$ , a fin de ser utilizado con fines estructurales y en base a lo normado en la Norma E-070 Albañilería del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Como resultado de esta investigación, se mostró que, en el caso de las propiedades físicas como la densidad, sólo cumplen con los parámetros de la norma, los diseños que consideran adición de material PET triturado menor o igual al 15%, mientras que los valores de la absorción se encuentran fuera de los parámetros. En cuanto a la resistencia a la compresión solo el diseño sin adición de material PET, con un  $f'_{b}=59\text{kg/cm}^2$ , cumple con lo establecido en la Norma E-070 Albañilería.

**PALABRAS CLAVE:** Unidad de Albañilería, resistencia a la compresión, densidad, Tereftalato de poliestireno.

## **ABSTRACT**

The objectives of this study consist of determining the influence of the incorporation of recycled and crushed PET material on the physical and mechanical properties of the hydraulic mortar brick, based on the parameters of the NTP 399.602 standard, based on what is indicated in the NTP standard 399,604. The research is of the descriptive type, in terms of the aggregates and experimental due to the use in different proportions of addition of the crushed PET material in the preparation of the mixture, which was considered to have a minimum compression resistance of  $f'b=50\text{kg. /cm}^2$ , in order to be used for structural purposes and based on the provisions of Standard E-070 Masonry of the National Building Regulations.

As a result of this investigation, it was shown that in the case of physical properties such as density, only the designs that consider the addition of crushed PET material less than or equal to 15% comply with the standard parameters, while the values of the absorption is outside the parameters. Regarding compression resistance, only the design without the addition of PET material, with a  $f'b=59\text{kg/cm}^2$ , complies with the provisions of the E-070 Masonry Standard.

**KEY WORDS:** Masonry unit, compressive strength, density, polystyrene terephthalate.

## CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1.1. Antecedentes internacionales

Angumba (2016), ante el incremento de contaminación provocada por la indiscriminada disposición de los Residuos Sólidos Urbanos y la falta de cultura de reciclaje, en su tesis de maestría, realizó investigaciones sobre “Ladrillos elaborados con plástico reciclado (PET), para mampostería no portante. El autor consideró, dentro de sus metas introducir los ladrillos de cemento con adición PET, como un material alternativo de uso masivo en mamposterías en la ciudad de Cuenca, Ecuador; los cuales deberían de cubrir las expectativas exigidas en cuanto aspectos técnicos, económicos, sociales y ecológicos.

Los ladrillos estudiados tuvieron como dimensiones 20 x 10 x 6 cm respectivamente, y se diseñaron considerando adiciones PET al 10%, 25%, 40%, 55%, 65% y 70% en sustitución del árido, y fueron comparados con muestras de ladrillos de arcilla, siendo sometidos a ensayos de compresión por unidad de albañilería, así como en muretes de 3 ladrillos.

Dentro de las principales conclusiones de esta investigación se tiene:

“El PET al ser materia inerte no produce emisiones toxicas tanto para el hormigón como para los ambientes interiores y exteriores de viviendas.” (pág. 65)

“Para futuras investigaciones el ladrillo MORTERO/PET puede implementar tecnologías de producción que no contamine el medio ambiente y disminuya el consumo de recursos naturales como la tierra y madera utilizada en la elaboración de ladrillos artesanales de la zona.” (pág. 65)

“Durante el proceso de elaboración de los ladrillos, se pudo evidenciar que al reemplazar el polímero por el árido fino en especial en las dosificaciones 10%, 25% y 40% las mezclas de los materiales se vuelven muy fácil el hacerlo, no así aquellas dosificaciones restantes, debido a que el aumento de PET genera un esponjamiento del producto (ladrillo), provocando un incremento de los vacíos.” (pág. 65)

“Por el contrario, el esponjamiento produce un alivianamiento significativo, lo que se podría reflejar en la considerable reducción de carga muerta a las diferentes edificaciones que se podrían construir con éste materia de construcción.” (pág. 65)

“En los ensayos de ladrillos se pudo observar que a medida que se incrementa la adición del polímero, se reduce considerablemente la resistencia de ladrillos patrón, es decir, la adición del PET tiene considerable éxito, pero hasta ciertos niveles de incremento de la adición, lo que se evidencia principalmente en la dosificación del 25%, que alcanza un valor promedio de 284,60 kg/cm<sup>2</sup>.” (pág. 65)

“La adición del polímero en diferentes porcentajes ha permitido tener una idea cierta sobre los efectos que ocasiona este material en la resistencia final del elemento, por lo tanto la hipótesis plantean inicialmente en presente trabajo de investigación, “Los ladrillos de *polímero*, pueden ser elaborados con Polientilen - tereftalato (PET), transformándose en una alternativa para la construcción de mamposterías para edificaciones y ser un material más amigable con el medio ambiente” ha sido demostrada.” (pág. 65)

“La reutilización de un material (RSU) muy contaminante en procesos constructivos transforma a los ladrillos de MORTERO/PET en una alternativa para la construcción de mamposterías para edificaciones y ser un material más amigable con el medio ambiente.” (pág. 65)

“El éxito de este nuevo material radica principalmente en su proceso de elaboración, específicamente durante el proceso de moldeado y curado. El primer proceso se realizó en una maquina compactadora a una presión de 10.000 lb/ cm<sup>2</sup> y el segundo proceso de curado se lo efectuó en cámaras de vapor en un tiempo de 12 horas.” (pág. 65)

“Por lo tanto, la implementación de ladrillo PET como elemento no estructural en mamposterías, garantizan mejor aislación térmica y baja pérdida de calor, por ende, mejores niveles de confort en viviendas en climas templados como en caso de la ciudad de Cuenca.” (Angumba Aguilar, 2016, pág. 65)

Cevallos y Endara (2018), en la ciudad de Quito, en su trabajo de Titulación desarrollaron las “Bases de diseño para la construcción sostenible con mampostería de ladrillo tipo PET, tercera etapa”, buscando maneras de mitigar la contaminación existente en su localidad y en base a estudios anteriores. Durante esta investigación los autores consideraron el uso de poliestireno expandido (espuma Flex) y paja, como material de relleno de las botellas recicladas, los autores realizaron ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los elementos que conforman la mampostería optimizada, comprobando la adherencia entre el mortero y el ladrillo tipo PET; llegando a las siguientes conclusiones:

“Los valores obtenidos de los ensayos a compresión en prismas, nos indican que son menores a lo normativo (2MPa)”. (pág. 152)

“Los prismas con los elementos PET configurados alternadamente por fila y sin uso de aditivo mejorador de adherencia, obtuvieron los mejores resultados, obteniendo una menor densidad con respecto a las anteriores investigaciones y en resistencia logrando superar a la primera

etapa, pero siendo mucho menor a los valores máximos obtenidos en la segunda etapa.” (pág. 152)

“El uso del aditivo mejorador de adherencia MAXICRIL, hace que la mezcla se vuelva más pegajosa y tenga mayor trabajabilidad, pero [...] hace que la resistencia baje significativamente en un 25% aproximadamente, en comparación a las otras dos pruebas realizadas, además el aditivo mencionado no cumple con su función de mejorar la adherencia del conjunto ladrillo PET-mortero de pega.” (Cevallos Beltrán & Endara Moran, 2018, pág. 153)

“Al utilizar el poliestireno expandido como relleno de botellas, hace que se reduzca el peso de la mampostería PET y a su vez el peso por metro cuadrado, obteniéndose 301.73 kg/m<sup>2</sup>, [...] cumpliendo uno de los objetivos principales de la investigación, el cual era el reducir el peso propio de mampostería.” (pág. 153)

“Los valores de carga vertical resistente calculados para la mampostería PET de esta etapa, muestran una disminución con respecto a las etapas predecesoras. Resistiendo a la carga actuante (PU) significativamente, siendo la carga resistente de 33.37 ton y la actuante 5.73 ton. Con respecto a la carga horizontal, [...] los cálculos realizados muestran que el valor de carga horizontal resistente de 7.859 ton cumple debido a que es mayor a la resistencia de carga horizontal actuante con un valor de 7.50 ton.” (pág. 153 - 154)

“El empleo del ladrillo PET elaborado en esta investigación, es una alternativa viable y sostenible para mitigar la contaminación ambiental, debido a que se genera un proceso de reciclaje y reutilización de dos elementos altamente contaminantes, como son, las botellas PET y el poliestireno expandido (espuma Flex), obteniendo un impacto ambiental positivo extra con respecto a las anteriores investigaciones las cuales



solo se reciclaba las botellas PET.” (Cevallos Beltrán & Endara Moran, 2018, pág. 154)

### 1.1.2. Antecedentes nacionales

Paz (2014), en su tesis “Análisis de la Determinación de las propiedades físico y mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado” quien a partir de una inquietud ecológica y con el fin de elaborar ladrillos de menor costo, en comparación a los comercializados en la región Arequipa, evalúa el uso materiales plásticos reciclados y triturados en partículas de 1cm aproximadamente, de material PET (Polietilen – tereftalato) con un 70% de composición y el HDPE (polietileno de alta densidad) en un 30% de composición; analizando sus propiedades físicas y mecánicas.

A diferencia de otros estudios, esta investigación utilizó solo material plástico para la elaboración de ladrillos, Las dimensiones de las muestras de ladrillo ensayadas tenían como dimensiones 22,1 cm de largo, 11,5 cm de ancho y 5,1 cm de alto, y fueron sometidas a los ensayos de medición del tamaño, alabeo y la ortogonalidad, ensayo de peso unitario, absorción, y resistencia a la compresión y flexión, obteniendo las siguientes conclusiones:

“El ladrillo de plástico reciclado utilizado en el proyecto tiene una combinación de 70% de PET y 30% de PEAD lo que lo hace un ladrillo liviano por el peso específico de la materia prima y a su vez por su alto contenido de PET un material combustible de muy baja propagación de llama y buen aislante térmico.” (Pág. 56)

“Al ser sometido al ensayo de alabeo el ladrillo de plástico reciclado presento caras uniformes lo que lo haría de fácil instalación y acoplamiento; y en su ortogonalidad presentó una desviación de 0.8mm

la cual se mejoraría por la utilización del molde optimizado expuesto en el proyecto.” (Pág. 56)

“Es duradero y al exponerse a la intemperie no presenta alteraciones dimensionales ni daños aparentes al ser sometido a los rayos ultravioleta y a humedad del medio ambiente. Además, el plástico es un compuesto que dura muchos años en degradarse.” (Pág. 56)

“De los ensayos físico - mecánicos realizados al ladrillo de plástico reciclado tipo estándar se concluye lo siguiente teniendo en cuenta como referencia las Normas Técnicas Peruanas: tiene muy bajo porcentaje de absorción de agua en promedio de 0,29%, al ser sometidos a fuerzas de flexión el ladrillo se rompe a un ángulo de 45° aproximadamente soportando una presión promedio de 831.312,88Pa, lo que lo hace un ladrillo altamente resistente a la rotura, el ladrillo de plástico reciclado tiene un alto grado de resistencia a la compresión horizontal de 212,6 Kgf/cm<sup>2</sup> y verticalmente 239Kgf/cm<sup>2</sup> y se clasifica como un material frágil según su análisis de esfuerzo –deformación.” (Pág. 56)

“Se debe considerar defecto principal, el no cumplimiento de la resistencia y como defecto secundario el no cumplimiento de la absorción. El no cumplimiento de la resistencia motiva además al rechazo de los especímenes, mientras que el incumplimiento de la absorción queda condicionado a los demás requisitos de calidad que establece la norma.” (Pág. 56)

“El costo del ladrillo plástico reciclado es económico por: la materia prima y su técnica para su fabricación, porque se requiere de mano de obra no calificada, baja infraestructura, rendimiento en su proceso constructivo debido a su ensamble al utilizar el ladrillo de plástico reciclado optimizado y su materia prima no necesita ser lavada para su fabricación.” (Pág. 56)

“Para efecto de este proyecto resulta más económico el ladrillo de plástico que un ladrillo de arcilla ya que la totalidad de los costos de materia prima y fabricación son asumidos por los residuos sólidos los cuales tienen un costo muy bajo para su obtención.” (Paz Gonzales, 2014, pág. 57)

Echeverría (2017), cita a Sultz Ronald de la siguiente manera: “una tecnología constructiva se considerará apropiada si no requiere grandes gastos de energía, no causa desechos ni contaminación, es climáticamente aceptable, segura frente a inclemencias de tiempo y peligros naturales, emplea fuerza laboral local tanto para la producción como para el mantenimiento y reparación, usa materiales locales (abundantes, renovables, disponibles, de poco peso y fácil manipulación, durables y de calidad), es socialmente aceptable, evita herramientas o equipos de alto costo, requiere baja especialización, fácil aprendizaje, ... y tiene escasa incidencia sobre el medio”, y bajo estos principios investiga a cerca de los “Los ladrillos de concreto con plástico PET reciclado”, indicando en su hipótesis que “las propiedades físico mecánicas del ladrillo de concreto se mejoran al incrementar el porcentaje de reemplazo de agregados por hojuelas de plástico PET reciclado, además cumplen los requisitos de la norma técnica E.070 – Albañilería”; para lo cual durante su investigación realizo ensayos de para determinar las propiedades físico mecánicas de los agregados, la resistencia a compresión de los ladrillos de concreto con plástico PET reciclado, la resistencia a corte en muretes, la resistencia a compresión en pilas, así como la resistencia del mortero.

Para esto, durante su investigación considero el diseño de mezcla a utilizarse en ladrillos de 22cm x 13 cm x 9 cm, a los cuales se adiciono el material PET reciclado y triturado en porcentajes de 0%, 3%, 6% y 9%; obteniendo las siguientes conclusiones:

“Las propiedades físicas de los tres tipos de ladrillo de concreto - PET (3%, 6%, 9% PET) en lo que respecta a variación dimensional, contenido de humedad, porcentaje de vacíos y alabeo no varía sustancialmente comparado con el ladrillo patrón (0% PET), pues estas características están relacionadas con la geometría, proceso de fabricación y condiciones de almacenamiento de los ladrillos, que fueron los mismos para todos los tipos.” (Pág. 72)

“Las propiedades físicas de los tres tipos de ladrillo de concreto - PET (3%, 6%, 9% PET) en lo que respecta a succión y absorción aumentan a medida que se incluye el PET en la mezcla, este comportamiento es atribuido a la geometría de las hojuelas de PET reciclado, pues no permiten un óptimo acomodo de las partículas del concreto, generando así mayores poros en éste.” (Pág. 72)

“Las propiedades físicas de los tres tipos de ladrillo de concreto - PET (3%, 6%, 9% PET) en lo que respecta a el peso unitario volumétrico disminuye un máximo de 14% comparado con el ladrillo patrón (0% PET), debido a que el peso específico de los agregados reemplazados es mayor al peso específico del PET reemplazante.” (Pág. 72)

“La resistencia a compresión de los tres tipos de ladrillo de concreto – PET son  $f'_b = 127.08 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'_b = 118.80$  y  $f'_b = 110.46 \text{ kg/cm}^2$  para porcentajes de 3%, 6% y 9%, y presentan una disminución máxima de la resistencia a compresión de  $51.5 \text{ kg/cm}^2$  o 31.8%, respecto del ladrillo patrón (0% PET)  $f'_b = 161.96 \text{ kg/cm}^2$ . Clasificando al ladrillo patrón (0% PET) como unidad de albañilería Clase IV y a los ladrillos de concreto - PET (3%, 6%, 9% PET) como unidad de albañilería Clase III.”

“Las pilas de ladrillo de concreto vibrado proporcionaron la resistencia a compresión axial característica de  $f'_m = 100.83 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'_m$

= 79.79 kg/cm<sup>2</sup> y  $f'm = 76.75$  kg/cm<sup>2</sup> para porcentajes de 3%, 6% y 9%, habiendo una disminución máxima de 51.8kg/cm<sup>2</sup> o 40.3%, respecto de la mezcla patrón (0% PET)  $f'm = 128.55$  kg/cm<sup>2</sup>. y cumplen con los valores referenciales de la norma E.070:2006.” (Pág. 72 - 73)

“Los muretes de ladrillo de concreto vibrado proporcionaron la resistencia característica a corte de  $V'm = 12.83$  kg/cm<sup>2</sup>,  $V'm = 13.17$  kg/cm<sup>2</sup> y  $V'm = 9.96$  kg/cm<sup>2</sup> para porcentajes de 3%, 6% y 9%, habiendo una disminución máxima de 6.51kg/cm<sup>2</sup> o 39.5%, respecto de la mezcla patrón (0% PET)  $V'm = 16.47$  kg/cm<sup>2</sup>, cumpliendo los valores referenciales superando los valores de diseño estructural estipulados en la norma E.070:2006.” (Pág. 73)

“El mortero tuvo una proporción en pesos secos de 1:4.01 / 23 lt/bolsa y una resistencia a compresión 178.80 kg/cm<sup>2</sup>, similar a la resistencia de los ladrillos, lo que le proporcionó un comportamiento idealmente monolítico a la albañilería. El mortero clasificó como mortero P2.” (Pág. 73)

“Los tres tipos de ladrillos de concreto – PET (3%, 6%, 9% PET) según sus propiedades se clasifican como ladrillos Clase III y el ladrillo patrón (0% PET) se clasifica como ladrillo Clase IV, todos pudiendo ser utilizados estructuralmente.” (Echeverría Garro, 2017, pág. 73)

Campos *et al.* (2019), presento el “Diseño del Proceso de Producción de ladrillos basados en Plástico Reciclado”, ante la problemática de contaminación ambiental que presenta la ciudad de Piura debido a la gran cantidad residuos plásticos, 20 toneladas de botellas anualmente, y al mínimo porcentaje de reciclaje de los mismos, 0,3%, como indican los autores en este estudio.

Basando los estudios en esa realidad, los autores tenían como objetivo diseñar un material alternativo a los ladrillos de arcilla,

comúnmente comercializados, con el fin de verificar la viabilidad de una industria en este sector económico a futuro. Con este fin señalaron sus metas buscando determinar la dosificación adecuada de materiales que necesita un ladrillo ecológico para considerarse de igual o superior calidad que uno convencional, utilizar el estudio de mercado para determinar el segmento de mercado, obtener el prototipo de un ladrillo ecológico óptimo con un color uniforme, sin vitrificaciones, sin fracturas ni vetas blanquecinas, determinar la ubicación de cada área que una fábrica de ladrillos ecológicos debería de tener, elaborar un plan de marketing para poder posicionar el producto en el mercado, establecer los procesos óptimos que necesitan realizarse para que el ladrillo ecológico cumpla con las especificaciones requeridas, determinar y saber reconocer las fuentes confiables en las cuales se encontrarán la información necesaria, establecer un presupuesto por medio de la investigación, el cual se respete durante el desarrollo del proyecto, aprender a elaborar citas bibliográficas para registrar las fuentes a las cuales se concurren en busca de información, establecer un cronograma el cual sea cumplido a lo largo del proyecto, determinar los costos finales que demandará la realización del proyecto.

Debido a la extensión del estudio, los autores realizaron diversos estudios, entre ellos, los estudios para determinar un prototipo que cumpla con lo establecidos en la norma técnica peruana E- 070 considerando determinar el porcentaje óptimo de plástico triturado a ser adicionado a bloques de ladrillo macizos de concreto, y comparando las propiedades de este material, en contraste con ladrillos de concreto macizo sin aditivo, a fin de que se pueda clasificar como un ladrillo de tipo III.

Para la elección de la dosificación óptima, los autores compararon múltiples estudios similares e indicaron que el diseño debería considerar 3% de adición de material PET, mientras que las dimensiones de las

muestras de ladrillo a ser ensayadas fueron 24 cm x 13 cm x 9 cm. Entre los ensayos a los que sometieron estuvieron los ensayos de dimensionamiento, absorción, alabeo y compresión, llegando a las siguientes conclusiones:

“El diseño de mezcla óptimo para ladrillos basados en plástico reciclado es aquel que está compuesto por bajos porcentajes de hojuelas de plástico PET (<15%).” (Pág. 145)

“Se cometió un error al compactar los bloques sin PET únicamente con las varillas compresoras pequeñas y no las grandes (que sí fueron usadas para los bloques con PET), esto explica la resistencia inferior en los resultados, lo cual evita que se pueda realizar una comparación real y precisa sobre la variación de rendimiento entre ambos tipos de bloque.” (Pág. 145)

“El bloque basado en plástico cumple con los estándares de calidad establecidos por las normas técnicas peruanas para Ladrillos de Tipo IV (y, por lo tanto, también los de Tipo III, que era lo esperado).” (Pág. 145)

“Es importante preparar un volumen de mezcla superior al volumen necesario para obtener la cantidad de bloques deseada, para evitar problemas en la experimentación por pérdidas.” (Pág. 145)

“La decisión de incluir una mayor proporción de agua en el diseño de mezcla, en comparación con el de Echevarría (2017), 8%, dio resultados positivos, pues se obtuvo una resistencia a la compresión significativamente más alta.” (Pág. 145)

“Es importante utilizar un cemento de calidad (42.5R, alta resistencia a la compresión) para obtener concreto que ofrezca mejores propiedades mecánicas. Además, la arena y la piedra utilizadas para la

mezcla deben tener el tamaño de partícula ideal y consistente en todo su volumen.” (Pág. 145 - 146)

“Se debería realizar los ensayos con un mayor número de especímenes, [...] con una edad de los ladrillos de 28 días, para obtener los resultados exactos, que no dependen de una estimación que puede generar errores.” (Pág. 146)

“Utilizar un molde de metal podría resultar en especímenes con dimensiones más consistentes, lo que permitiría obtener bloques de mejor calidad. Reduciendo la desviación del dimensionamiento, el bloque de PET podría haber obtenido una clasificación de tipo V en el ensayo de dimensionamiento, y así tener una clasificación final de tipo V y no IV.” (Campos, et al., 2019, Pág. 146)

Marron (2020), siguiendo la línea de investigación “Nuevas Tecnologías y Procesos”, con la Tesis titulada “Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos artesanales en muros de albañilería adicionando tereftalato de polietileno y porcelanato” en consideración a los problemas de deterioro en las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales de arcilla en el distrito del Tambo, propuso la elaboración de ladrillos hechos de agregados, cemento y adición de polietileno y poliestireno triturado.

Dentro de su investigación, Marron buscó determinar la influencia de la adición del tereftalato de polietileno, considerando su masa, en función a los porcentajes de 10%, 15% y 20% del agregado fino, evaluando las propiedades físicas y mecánicas de este nuevo material para unidades de albañilería, así como en pilas y muretes de ladrillos artesanales; llegando a las siguientes conclusiones:

“De la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos artesanales en muros de albañilería, la adición tereftalato de polietileno y porcelanato influye positivamente en los ladrillos



artesanales, además cumple con lo establecido en la norma E.070 del Reglamento Nacional de Edificaciones.” (Pág. 118)

“La adición de 10 %, 15 % y 20 % de tereftalato de polietileno y porcelanato, influye positivamente en las propiedades físicas de ladrillos PET-porcelanato; siendo el ladrillo con 10 % de tereftalato de polietileno y 10 % de porcelanato, el que obtuvo las mejores propiedades de alabeo, variación dimensional, absorción, densidad; las cuales se encuentran dentro de los parámetros de la norma E.070. Cabe mencionar, que el ladrillo artesanal común se clasifica como tipo II, mientras que los tres ladrillos con los respectivos porcentajes de PET-porcelanato se clasifican como ladrillo tipo V.” (Pág. 118)

“Adicionar 10 %, 15 % y 20 % de tereftalato de polietileno y porcelanato influye positivamente en la resistencia a compresión ( $f'_{b}$ ) de ladrillos PET porcelanato. Se pudo constatar que los tres ladrillos con los porcentajes mencionados mejoran la resistencia a compresión ( $f'_{b}$ ), en comparación con el ladrillo artesanal. los ladrillos con el 10 % y 15 % de PET-porcelanato, fueron quienes presentaron mejores propiedades ( $f'_{b}$ ), clasificando, como ladrillo tipo III. Mientras el ladrillo con 20 % de PET-porcelanato clasifican como tipo I. Así mismo se ensayó el ladrillo artesanal, lo cual no clasifica a ningún tipo de ladrillo. Estas unidades de albañilería fueron reglamentadas por la norma E.070.” (Pág. 118)

“Incorporar el 10 %, 15 % y 20 % de tereftalato de polietileno y porcelanato inciden positivamente en la resistencia a compresión diagonal en pilas  $f'_{m}$ , en comparación con las pilas hechos con ladrillo artesanales, los ladrillos con 10 % y 15 % de PET-porcelanato se clasifican como ladrillo tipo IV, mientras que el ladrillo con 20 % de PET-porcelanato, se clasifica como ladrillo tipo III. El ladrillo artesanal convencional no cuenta con clasificación.” (Pág. 118 - 119)

“La incorporación de 10 %, 15 % y 20 % de tereftalato de polietileno y porcelanato influye positivamente en la resistencia a compresión diagonal en muretes  $v_m$ , en comparación con los muretes hechos con ladrillo artesanales convencionales. En este sentido los ladrillos con 10 % de PET-porcelanato clasifican como ladrillo tipo IV y el ladrillo con el 15 % de PET-porcelanato clasifican como ladrillo tipo III, así mismo el ladrillo con 20 % de PET porcelanato se clasifica como ladrillo tipo I. Los cuales estos especímenes cuentan con clasificación respectiva dentro de la norma E.070. Con respecto al ladrillo artesanal convencional que no cuentan con clasificación.” (Pág. 119)

Así mismo, dentro de sus recomendaciones Marron indica el posible uso de los ladrillos ensayados, a partir del porcentaje de adición de material PET en su fabricación, de la siguiente forma:

“Se recomienda usar ladrillos con el 10 % de tereftalato de polietileno y 10 % de porcelanato para la construcción de muros portantes y muros donde se requieran durabilidad.” (Pág. 120)

“Se recomienda usar ladrillos con el 15 % de tereftalato de polietileno y 15 % de porcelanato en muros portantes con moderada carga o en la construcción de viviendas con hasta 3 pisos.” (Pág. 120)

“Se recomienda que los ladrillos artesanales con el 20 % de tereftalato de polietileno y 20 % de porcelanato, se puede emplear en el diseño de muros portantes de zonas con baja sismicidad, debido a su moderada resistencia a compresión, axial y resistencia a compresión diagonal. También es dable resaltar que, se pueden usar en cercos perimétricos, parapetos y muros divisores.” (Marron Asto, 2020, pág. 120)

## 1.2. Bases teóricas

### 1.2.1. Unidad de albañilería

El Reglamento Nacional de Edificaciones, mediante la Norma Técnica E - 070 Albañilería, presenta los siguientes alcances en referencia a las unidades de albañilería.

#### 1.2.1.1. Características generales

- a) Se denomina ladrillo a aquella unidad cuya dimensión y peso permite que sea manipulada con una sola mano. Se denomina bloque a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manipuleo.
- b) Las unidades de albañilería a las que se refiere esta norma son ladrillos y bloques en cuya elaboración se utiliza arcilla, sílice-cal o concreto, como materia prima.
- c) Estas unidades pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares y podrán ser fabricadas de manera artesanal o industrial.
- d) Las unidades de albañilería de concreto serán utilizadas después de lograr su resistencia especificada y su estabilidad volumétrica.
- e) Para el caso de unidades curadas con agua, el plazo mínimo para ser utilizadas será de 28 días, que se comprobará de acuerdo a la NTP 399.602. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006)

#### 1.2.1.2. Clasificación para fines estructurales

Para efectos del diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las características indicadas en la siguiente imagen.

**Imagen N° 1 Clase de unidad de albañilería para fines estructurales**

**TABLA 1**  
**CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES**

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSION (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN $f_k$ 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 <sup>(1)</sup>	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP <sup>(2)</sup>	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

- (1) Bloque usado en la construcción de muros portantes  
(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E- 070 (2006).  
(Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006)

“Las cinco clases de ladrillos de la tabla anterior son descritas por San Bartolomé (1994), de la siguiente manera:” (Echeverría Garro, 2017, pág. 25)

“**Tipo I.** Estos ladrillos tienen una resistencia y durabilidad muy baja; son aptos para ser empleados bajo condiciones de exigencias mínimas (viviendas de 1 o 2 pisos), evitando el contacto directo con la lluvia o el suelo.” (Pág. 25)

“**Tipo II.** En esta categoría clasifican los ladrillos de baja resistencia y durabilidad; son aptos para usarse bajo condiciones de servicio moderadas (no deben estar en contacto directo con la lluvia, suelo o agua).” (Pág. 25)

“**Tipo III.** Son ladrillos de mediana resistencia y durabilidad, aptos para emplearse en construcciones expuestas bajo condiciones de intemperismo.” (Pág. 25)

“**Tipo IV.** Estos ladrillos son de alta resistencia y durabilidad; aptos para ser utilizados bajo condiciones de servicio rigurosas. Pueden estar sujetos a condiciones de intemperismo moderado, en contacto con lluvias intensas, suelo y agua.” (Pág. 25)

“**Tipo V.** Tienen una resistencia y durabilidad elevada; son aptos para emplearse en condiciones de servicio muy rigurosas, pueden estar sujetos a condiciones de intemperismo similares al Tipo IV.” (Pág. 25)

### 1.2.1.3. Limitaciones en su aplicación

El uso o aplicación de las unidades de albañilería estará condicionado a lo indicado en la tabla presentada a continuación:

**Imagen N° 2 Limitaciones en el uso de Unidad de albañilería para fines Estructurales**

LIMITACIONES EN EL USO DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES			
TIPO	ZONA SÍSMICA 2 Y 3		ZONA SÍSMICA 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a mas	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Sólido Artesanal*	No	Si, hasta 2 pisos	Si
Sólido Industrial	Si	Si	Si
Alveolar	Si	Si	Si
	Celdas totalmente rellenas con grout	Celdas parcialmente rellenas con grout	Celdas parcialmente rellenas con grout
Hueca	No	No	Si
Tubular	No	No	Si, hasta dos pisos

\*Las limitaciones indicadas establecen condiciones mínimas que pueden ser exceptuadas con el respaldo de un informe y memoria de cálculo sustentada por un ingeniero civil.

Fuente: Echeverría (2017)

### 1.2.1.4. Pruebas

- a) **Muestreo.** - El muestreo será efectuado a pie de obra. Por cada lote compuesto por hasta 50 millares de unidades se seleccionará al azar una muestra de 10 unidades, sobre las que se efectuarán las pruebas de variación de dimensiones y de alabeo. Cinco de

estas unidades se ensayarán a compresión y las otras cinco a absorción.

- b) **Resistencia a la Compresión.** - Para la determinación de la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería, se efectuará los ensayos de laboratorio correspondientes, de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.613 y 339.604.

La resistencia característica a compresión axial de la unidad de albañilería ( $f'_b$ ) se obtendrá restando una desviación estándar al valor promedio de la muestra.

- c) **Variación Dimensional.** - Para la determinación de la variación dimensional de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicado en las Normas NTP 399.613 y 399.604.
- d) **Alabeo.** - Para la determinación del alabeo de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicado en la Norma NTP 399.613.
- e) **Absorción.** - Los ensayos de absorción se harán de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.604 y 399.613.

#### 1.2.1.5. Aceptación de la unidad

- a) Si la muestra presentase más de 20% de dispersión en los resultados (coeficiente de variación), para unidades producidas industrialmente, o 40 % para unidades producidas artesanalmente, se ensayará otra muestra y de persistir esa dispersión de resultados, se rechazará el lote.

- b) La absorción de las unidades de arcilla y sílico calcáreas no será mayor que 22%. El bloque de concreto clase, tendrá una absorción no mayor que 12% de absorción. La absorción del bloque de concreto NP, no será mayor que 15%.
- c) El espesor mínimo de las caras laterales correspondientes a la superficie de asentado será 25 mm para el Bloque clase P y 12 mm para el Bloque clase NP.
- d) La unidad de albañilería no tendrá materias extrañas en sus superficies o en su interior, tales como guijarros, conchuelas o nódulos de naturaleza calcárea.
- e) La unidad de albañilería de arcilla estará bien cocida, tendrá un color uniforme y no presentará vitrificaciones. Al ser golpeada con un martillo, u objeto similar, producirá un sonido metálico.
- f) La unidad de albañilería no tendrá resquebrajaduras, fracturas, hendiduras grietas u otros defectos similares que degraden su durabilidad o resistencia.
- g) La unidad de albañilería no tendrá manchas o vetas blanquecinas de origen salitroso o de otro tipo.

(Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006)

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

Según lo indicado por la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI, 2002) en relación a los métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto, se considera lo siguiente:

##### 1.2.2.1. Selección de los especímenes para los ensayos

Los especímenes serán representativos del lote total de unidades de los cuales han sido seleccionados. Si los especímenes para el ensayo son seleccionados en obra, las

unidades para el ensayo del contenido de humedad serán muestreadas de la remesa del comprador y colocadas en un envase sellado hasta que el peso recibido ( $W_r$ ) sea determinado. Los especímenes seleccionados tendrán configuración y dimensiones similares. (Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI, 2002)

El término “lote” se refiere a cualquier número de unidades de albañilería de concreto de cualquier configuración o dimensión fabricado por el productor usando los mismos materiales, diseño de mezcla de concreto, proceso de fabricación, y método de curado.

#### 1.2.2.2. Número de especímenes

Para determinar la resistencia a la compresión, absorción, peso unitario (densidad), y contenido de humedad, se seleccionarán seis unidades de cada lote de 10 000 unidades o menos y 12 unidades de cada lote de más de 10 000 y menos de 100 000 unidades. Para lotes de más de 100 000 unidades, se seleccionarán seis unidades por cada 50 000 unidades o fracción. Especímenes adicionales se pueden tomar por acuerdo del comprador y el vendedor.

#### 1.2.2.3. Identificación

- Marcar cada espécimen de manera que puedan ser identificados en cualquier momento. Las marcas cubrirán no más del 5 % del área superficial del espécimen.
- Pesar las unidades para los ensayos del contenido de humedad inmediatamente después de muestreadas, marcar y registrar como  $W_r$  (peso recibido).



#### **1.2.2.4. Medición de dimensiones**

##### **1.2.2.4.1. Aparatos**

Medir todas las dimensiones con una regla de acero graduada en divisiones de 1,0 mm. Los espesores de las paredes laterales y los tabiques se medirán con un calibre Vernier (pie de rey), graduado en divisiones de 0,4 mm y con quijadas paralelas de no menos de 12,7 mm ni más de 25,4 mm de longitud.

##### **1.2.2.4.2. Especímenes**

Se medirán tres unidades enteras para el ancho, la altura, longitud, y los espesores mínimos de las paredes laterales y tabiques.

Los mismos especímenes podrán utilizarse en otros ensayos.

##### **1.2.2.4.3. Dimensiones**

- Para cada unidad, se medirá y registrará, el ancho (A) en la longitud media de las superficies de apoyo superior e inferior, la altura (H) en la longitud media de cada cara, y la longitud (L) en la altura media de cada cara.
- Para cada unidad, se medirá el espesor de la pared lateral y el espesor del tabique en la parte más delgada de cada elemento a 12,7 mm encima del plano de la cama de mortero y a la división más cercana de la regla o calibrador. Cuando la parte más delgada lateral opuesta de la pared difiera en espesor por lo menos en 3,0 mm, promediar sus medidas para determinar el espesor mínimo de pared lateral de la unidad. No considerar los surcos de la banda, los empalmes simulados, y detalles similares en las mediciones.

### 1.2.2.5. Resistencia a la compresión

#### 1.2.2.5.1. Aparatos

- a. **Máquina de ensayo:** La máquina será equipada con dos bloques de soporte de acero, uno de los cuales es una rótula con plato que transmitirá la carga a la superficie superior del espécimen de albañilería, y la otra un bloque rígido plano sobre el cual descansará el espécimen. Cuando el área de los bloques no sea suficiente para cubrir la sección del espécimen de albañilería refrentado, se colocará entre éstos y el espécimen placas de acero que cumplan los requisitos, después que el centroide de la superficie de apoyo de la albañilería se haya alineado con el centro de la rótula.
- b. **Bloques de soporte de acero y platos:** Las superficies de los bloques de soporte de acero y las placas no se apartarán de un plano por más de 0,025 mm en cualquier dimensión de 152,4 mm. El centro de la esfera de la rótula coincidirá con el centro de su cara de apoyo. Si se utiliza placa de apoyo, el centro de la esfera de la rótula reposará en una línea que pasa verticalmente a través del centroide de la cara de apoyo del espécimen. El plato de la rótula podrá girar en cualquier dirección. El diámetro de la cara de los bloques de soporte será por lo menos de 152,4 mm. Cuando el área de los bloques no sea suficiente para cubrir el área del espécimen, se colocará entre éstos y el espécimen refrentado, placas de acero con un espesor no menor de 25,4 mm. La longitud y el ancho de la placa de acero serán de por lo menos 15 mm mayor que la longitud y ancho del espécimen.

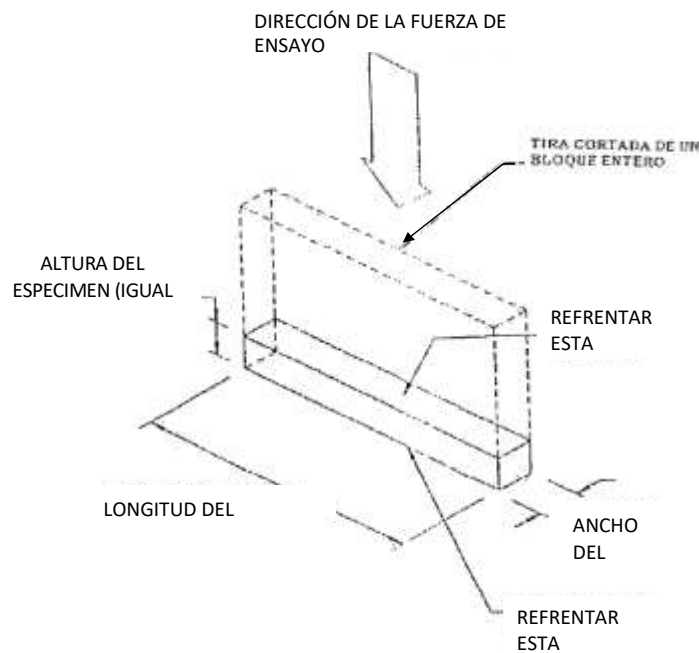
#### 1.2.2.5.2. Especímenes de prueba

- a. De las seis unidades muestreadas, tres serán ensayadas en compresión. Después de la llegada al laboratorio, almacene (no apiladas y separadas por no menos de 13 mm en todos sus lados) en aire a una temperatura de  $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa de menos de 80 % por no menos de 48 horas. Alternativamente, si los resultados de la compresión son requeridos prontamente, almacene unidades no apiladas en el mismo ambiente descrito arriba con una corriente de aire proporcionada por un ventilador eléctrico que pase sobre ellas por un período no menor de 4 horas. Se continúa hasta que dos pesadas sucesivas a intervalos de 2 horas muestren un incremento de pérdida no mayor que 0,2 % del peso previo determinado del espécimen y hasta que ninguna humedad o mancha de humedad sea visible sobre cualquiera de las superficies de la unidad. Los especímenes no serán sometidos a secado en horno.
  
- b. En este método de ensayo, el área neta se determina con otros especímenes distintos de los sujetos al ensayo de compresión. El método de la resistencia a la compresión se basa en la asunción que las unidades utilizadas para determinar el volumen neto (especímenes de absorción) tienen el mismo volumen neto que las unidades usadas para el ensayo de compresión. Las unidades con caras partidas, que tienen superficies irregulares, se deben separar al mismo tiempo que son muestreadas del lote, de tal modo que los especímenes del ensayo de absorción tengan un volumen neto que sea visualmente representativo y un peso que sea representativo de los especímenes del ensayo de compresión.

- c. Las proyecciones sin apoyo que tienen una longitud mayor que su espesor serán removidas por cortadora. Para unidades con tabiques rebajados, se cortarán las caras laterales al mismo nivel para proporcionar una superficie de sustento completa sobre la sección transversal neta de la unidad. Cuando la altura de la unidad que resulta quede reducida por más de un tercio de la altura original de la unidad, la unidad cortada será ensayada.
  
- d. Cuando las unidades enteras para el ensayo de compresión sean demasiado grandes para los bloques de la máquina de ensayo o excedan la capacidad de carga de la misma, cortar las unidades para adecuarlas correctamente con las capacidades de la máquina de ensayo. El espécimen resultante no tendrá proyecciones de las caras laterales ni tabiques irregulares y constará de celda o celdas completas de 4 caras. La resistencia a la compresión del segmento será considerada como la resistencia a la compresión de la unidad entera.
  
- e. Cuando las unidades del ensayo de compresión tengan dimensiones y formas inusuales (tales como, pero no limitadas a, unidades en enlace de vigas, unidades del extremo abierto, y unidades de pilastras), los especímenes serán aserrados para quitar cualquier proyección de la cara lateral. El espécimen resultante será una celda o celdas que contienen cuatro caras que aseguren una superficie de apoyo del 100 %. Cuando el corte no dé lugar a una unidad con cuatro lados, el espécimen será un segmento cortado de la cara lateral de cada unidad. Este segmento cortado tendrá una relación altura espesor de 2 a 1 antes del refrentado y una relación de longitud a espesor de 4 a 1. El segmento será

cortado de la unidad de modo que su altura esté en la misma dirección que la altura de la unidad entera. La resistencia a la compresión del segmento será la resistencia a la compresión del área neta de la unidad entera.

### Imagen N° 3: Esquema de ensayo de compresión



**Fuente:** Norma Técnica Peruana 399.604 (Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI, 2002)

- f. Para el ensayo de resistencia a la compresión de segmentos cortados de muros, los especímenes ensayados serán no menos del 75 % sólidos y tendrán una relación de altura a espesor de no menos que 1:1 y no más que 2:1.

El aserrado será realizado de una manera exacta y competente sometiendo al espécimen a la mínima vibración posible de la sierra. Utilizar una sierra de diamante con dureza apropiada. Si el

espécimen se moja durante el aserrado, permita que el espécimen se seque a las condiciones del aire del laboratorio antes del ensayo utilizando los procedimientos indicados.

Si los especímenes del ensayo de compresión han sido cortados de unidades enteras y el área neta de compresión de los especímenes de prueba no puede ser determinada, cortar tres unidades adicionales con las dimensiones y configuración de los tres especímenes del ensayo de compresión. El área neta promedio de los especímenes de compresión cortados será el promedio del área neta de las tres unidades adicionales cortadas. Los volúmenes netos calculados de los especímenes cortados no deberán usarse en el cálculo del espesor equivalente.

#### **1.2.2.6. ABSORCIÓN**

- a. Aparato: La balanza utilizada será sensible dentro del 0,5 % del peso del espécimen más pequeño probado.
- b. Ensayo de especímenes: Se utilizarán tres unidades enteras que hayan sido marcadas, pesadas, y registradas. Las pruebas serán realizadas en unidades enteras cuando los resultados de la prueba deben ser utilizados para determinar el contenido de o espesor equivalente.

Las pruebas serán realizadas en unidades enteras o especímenes cortados de unidades enteras. Los valores calculados de absorción y densidad de piezas reducidas serán considerados como representativas de la unidad entera. La razón de la reducción será incluida en el informe del ensayo.

### c. Procedimiento

**Saturación:** Sumergir los especímenes de prueba en agua a una temperatura de 15,6 °C a 26,7 °C por 24 horas. Pesar los especímenes mientras están suspendidos por un alambre de metal y sumergidos totalmente en agua y registrar  $W_i$  (peso sumergido).

Sacar del agua y permitir el drenado por 1 minuto colocándolo en una malla de alambre más grueso de 9,5 mm, retirando el agua superficial visible con un paño húmedo; pesar y registrar como  $W_s$  (peso saturado).

**Secado:** Subsecuente a la saturación, secar los especímenes en un horno ventilado a 100 °C a 115 °C por no menos de 24 horas y hasta que dos pesadas sucesivas en intervalos de 2 horas muestren un incremento de la pérdida no mayor que 0,2 % del peso último previamente determinado del espécimen. Registrar los pesos de los especímenes secados  $W_d$  (peso secado al horno).

#### 1.2.2.7. CÁLCULOS

a. **Absorción:** Calcular la absorción como sigue:

$$\text{Absorción, kg/m}^3 = [ (W_s - W_d) / (W_s - W_i) ] \times 1000$$

$$\text{Absorción, \%} = [ (W_s - W_d) / W_d ] \times 100 \quad (1)$$

donde:

$W_s$  = peso saturado del espécimen, (kg)

$W_i$  = peso sumergido del espécimen, (kg)

$W_d$  = peso seco al horno del espécimen, (kg).

**b. Contenido de humedad:** Calcular el contenido de humedad como sigue:

$$\text{Contenido de humedad, \% de absorción total} \\ = [ (W_r - W_d) / (W_s - W_d) ] \times 100 \quad (2)$$

donde:

$W_r$  = peso recibido de la unidad, (kg),

$W_d$  = peso seco al horno de la unidad, (kg), y

$W_s$  = peso saturado de la unidad, (kg)

**c. Densidad:** Calcular la densidad seca al horno como sigue:

$$\text{Densidad (D), kg/m}^3 = [ W_d / (W_s - W_i) ] \times 1000 \quad (3)$$

donde:

$W_d$  = peso seco al horno del espécimen, (kg).

$W_s$  = peso saturado del espécimen, (kg), y

$W_i$  = peso sumergido del espécimen, (kg).

**d. Área neta media:** Calcular el área neta media como sigue:

$$\text{Volumen neto (Vn), mm}^3 = W_d / D = (W_s - W_i) \times 10^4 \quad (4)$$

$$\text{Área Neta Media (An), mm}^2 = V_n / H$$

donde:

$V_n$  = volumen neto del espécimen.

$W_d$  = peso seco al horno del espécimen, kg

$D$  = Densidad seca al horno del espécimen, kg/m<sup>3</sup>

$W_s$  = peso saturado del espécimen, kg

$W_i$  = peso sumergido del espécimen, kg

$A_n$  = área neta media del espécimen, mm<sup>2</sup>,

$H$  = altura media del espécimen, mm



d. A excepción de los especímenes de forma irregular, tales como aquellos con superficies con hendiduras, calcular el área neta de los segmentos de ensayo y aquellos especímenes cuyas áreas de la sección transversal neta en cada plano paralelo a la superficie de apoyo sea el área bruta de la sección transversal medida en el mismo plano, como sigue:

- **Área neta** ( $A_n$ ),  $\text{mm}^2 = L \times W$  **(5)**

donde:

$A_n$  = área neta del segmento de ensayo o espécimen,  $\text{mm}^2$

$L$  = longitud promedio del segmento de ensayo del espécimen, mm, y

$W$  = anchura promedio del segmento de ensayo o espécimen, mm

**Tabla 1: Factores de corrección de la relación altura a espesor para los ensayos de compresión en segmentos de unidades de muros de contención**

$h/t^A$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
Factor de corrección	0,85	0,88	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00

**Fuente:** Norma Técnica Peruana 399.604 (Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI, 2002)

<sup>A</sup>  $h/t$  = relación de altura del espécimen a la menor dimensión lateral medida.

- **Área bruta:** Calcular el área bruta como sigue:

$$\text{Área bruta } (A_g), \text{ mm}^2 = L \times W \quad \mathbf{(6)}$$

donde:

$A_g$  = área bruta del espécimen,  $\text{mm}^2$ ,

$L$  = longitud promedio del espécimen, mm y

$W$  = ancho promedio del espécimen, mm

El área bruta de la sección transversal de un espécimen es el área total de la sección perpendicular a la dirección de la carga, incluyendo áreas dentro de las celdas y espacios reentrantes, a menos que estos espacios vayan a ser ocupados por porciones de la albañilería adyacente.

- **Esfuerzo de compresión**

**Esfuerzo de compresión del área neta:** Calcular el esfuerzo de compresión del área neta del espécimen como sigue:

$$\begin{aligned} &\text{Esfuerzo de compresión del área neta, MPa} \\ &= P_{\text{máx}} / A_n \qquad \qquad \qquad (7) \end{aligned}$$

donde:

P máx = carga de compresión máxima

A<sub>n</sub> = área neta promedio del espécimen, mm<sup>2</sup>

**Esfuerzo de compresión del área bruta:** Calcular el esfuerzo de compresión del área bruta del espécimen como sigue:

$$\begin{aligned} &\text{Esfuerzo de compresión del área bruta, MPa} \\ &= P_{\text{máx.}} / A_g \qquad \qquad \qquad (8) \end{aligned}$$

donde:

P máx. = carga, (N), y

A<sub>g</sub> = área bruta del espécimen, mm<sup>2</sup>

### 1.2.3. Tereftalato de polietileno (PET)

#### 1.2.3.1. Historia

Méndez Silva, 2012, recoge los acontecimientos más resaltantes sobre el desarrollo de del material PET en las siguientes estrofas:

“El PET se desarrolló primero para su uso en las fibras sintéticas por dos químicos ingleses, John Rex Whinfield y James Tennant Dickson, las impresoras Callicó británica en 1941. Los derechos de patente se vendieron a DuPont e ICI que luego culpó a licencias regionales a otras empresas.” (Mendez Silva, 2012, pág. 25)

“Comenzó a ser utilizado en películas de embalaje en los años 60. En los primeros años 70 fue desarrollado comercialmente la técnica para “soplar” botellas de Bi - orientado. Las botellas son responsables de la gran mayoría del consumo de resina de PET. En los años 80 desarrolló el CPET, polietileno tereftalato cristalizado, lo que permite su uso en hornos de microondas como en hornos convencionales. Más recientemente, el PETG, glicol de polietileno tereftalato, en alternativa ecológica al mercado de tarjetas en general (tarjetas de crédito, por ejemplo). También se utiliza en otras aplicaciones que requieren termoformado.” (Mendez Silva, 2012, pág. 25)

“El PET es un producto transparente, resistente y ultraligero. Estas características contribuyen en gran medida a su éxito en películas, como las botellas. Por ejemplo, las bebidas pueden generar presión dentro de la botella que supere los 6 bares. Sin embargo, esta alta presión, gracias a la alineación de las macromoléculas (cristalización) que ocurre durante la producción de resina y durante el proceso de moldeado como “golpe”

no es capaz de deformar la botella ni provocar su explosión.” (Mendez Silva, 2012, pág. 26)

“Las películas basadas en PET-también tienen una resistencia superior a otros materiales plásticos existentes: resistencia a la tracción = 45 N / mm<sup>2</sup> y un alargamiento a la rotura = 300%.” (Mendez Silva, 2012, pág. 26)

### 1.2.3.2. Definición

Mendes, en el 2012, define el material tereftalato (PET) como [...] “un Poliéster Termoplástico” que [...] “se produce a partir de dos compuestos principalmente: Ácido Tereftálico y Etilenglicol, aunque también puede obtenerse utilizando Dimetiltereftalato en lugar de Ácido Tereftálico. Este material tiene una baja velocidad de cristalización y puede encontrarse en estado amorfo-transparente o cristalino.” Señalando que “el Polietileno Tereftalato en general se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. De acuerdo a su orientación presenta propiedades de transparencia y resistencia química.” (pág. 26)

**Tabla 2 Sistema de Identificación de Envases PET**

Tipo de termoplástico	Clave	Tipo de uso
Tereftalato de polietileno (PET o PETE)	1	Se utiliza para botellas de refresco carbonatado y para recipientes de comida
Polietileno de alta densidad (HDPE O PEAD)	2	Empleado en las botellas de leche, detergente, bolsas, entre otros
Policloruro de vinilo (PVC)	3	Frecuente en los envases de película fina y envolturas
Polietileno de baja densidad (LDPE)	4	Este plástico fuerte, flexible y transparente se puede encontrar en algunas botellas y bolsas muy diversas (de la compra o para comida congelada, pan, etc.)
Polipropileno (PP)	5	Usado para las cajas de botellas, maletas, tapas y etiquetas
Poliestireno (PS)	6	Empleado en la producción de vasos y platos de estereofón y artículos moldeados por inyección
Otros	7	Todas las demás resinas y materiales multilaminados. Son utilizados en productos que no tienen grandes especificaciones (defensas de autos, postes, etc.)

Fuente: Méndez, 2012, Léctor y Villarreal 2017

### 1.2.3.3. Propiedades del material PET

Díaz Bardales, el PET presenta las siguientes propiedades relevantes:

“Alta resistencia al desgaste y corrosión”.

“Alta resistencia al desgaste”.

“Muy buen coeficiente de deslizamiento”.

“Buena resistencia química”.

“Muy buena barrera a CO<sub>2</sub>, aceptable barrera a O<sub>2</sub> y humedad”.

“Alta rigidez y dureza”.

“Altísima resistencia a los esfuerzos permanentes”. (pág. 58)

Asimismo, entre otras propiedades del PET se señala:

**Propiedades Únicas:** “Claridad, brillo, transparencia, barrera a gases u aromas, impacto, termoformabilidad, fácil de imprimir con tintas, permite cocción en microondas” (Díaz Bardales, 2022, pág. 58)

**Costo / Performance:** “El precio del PET ha sufrido menos fluctuaciones que el de otros polímeros como PVC-PP-LDPE-GPPS en los últimos años” (Díaz Bardales, 2022, pág. 58)

**Disponibilidad:** “Hoy se produce PET en Sur y Norteamérica, Europa, Asia y Sudáfrica” (Díaz Bardales, 2022, pág. 59)

**Reciclado:** “El PET puede ser reciclado dando lugar al material conocido como RPET”, “lamentablemente el RPET no puede emplearse para producir envases para la industria alimenticia debido a que las temperaturas implicadas en el proceso no son, lo suficientemente altas, como para asegurar la esterilización del producto” (Díaz Bardales, 2022, pág. 59)

**Tabla 3: Características Técnicas del material PET**

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	1,34 – 1,39
Resistencia a la tensión	Mpa	59-72
Resistencia a la compresión	Mpa	76 - 128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0,01 – 0,04
Dureza	---	Rockwell M94 – M101
Límite elástico	%	50 - 150
Dilatación térmica	10 <sup>4</sup> /°C	15,2 - 24
Resistencia al calor	°C	80 -120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 - 15750
Constante dieléctrica (60 Hz)	---	3,65
Absorción de agua (24 horas)	%	0,02
Velocidad de combustión	Mm/min	Consumo lento
Efecto luz solar	---	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	---	Excelente
Calidad óptica	---	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 - 254

Fuente: Adaptado de Díaz Bardales, 2022

Así mismo, Quevedo Haro describe las propiedades del material PET lo indicando siguiente: (Quevedo Haro, 2017)

“Debido a la regularidad estructural que presenta la unidad del PET, muestra alta tendencia a cristalizar relacionada con la polaridad de los grupos éster, ya que el átomo de oxígeno del grupo carbonilo (de carga negativa) y el carbono (con carga positiva) se atraen mutuamente, permitiendo que los grupos éster de cadenas vecinas se alineen entre sí en una forma cristalina (C-PET). No obstante, siempre coexiste una parte cristalina y otra amorfa (A-PET), que está directamente en función de las condiciones de operación que puede alcanzan 30-40% de cristalinidad; sin embargo, la presencia del anillo aromático hace que la cristalinidad alcanzada dependa fuertemente de la velocidad de enfriamiento: si procede de manera brusca, el fundido es un producto final prácticamente amorfo, con elevada transparencia y aceptable tenacidad. Si posteriormente es calentado

a temperaturas iguales o superiores a su temperatura de transición vítrea (74°C) y en función del tiempo de tratamiento, se induce una cristalinidad desde el estado sólido (cristalización en frío), generando distorsión dimensional, contracción, opacidad e incremento de la rigidez.” (Quevedo Haro, 2017, pág. 12)

“Las propiedades del PET varían en función del grado de cristalinidad, de tal manera que el C-PET es de color blanco opaco con una densidad de 1.38 g/cm<sup>3</sup>, con altos valores de dureza y de resistencia a la abrasión; valores medios de resistencia a la propagación de grietas por tensión y baja resistencia al impacto, así como otras propiedades, que incluyen alta capacidad de absorción de agua, elevada impermeabilidad a gases, vapor de agua y aromas y aislamiento eléctrico medio. Su rango de temperatura de uso continuo abarca desde -20 °C a 100 °C, y hasta 135°C en aire caliente. El A-PET es transparente con una densidad de 1.33 g/cm<sup>3</sup> con menor rigidez y dureza que el C-PET, pero mejor resistencia al impacto; su rango de temperatura de uso continuo va de -40°C a 60°C, y en ausencia de aire alcanza 100°C; se cristaliza por encima de los 90°C (con cierta turbidez); es resistente a hidrocarburos y tiene buenas propiedades de barrera frente a gases no polares como O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.” (Quevedo Haro, 2017, pág. 12)

“En el PET existen atracciones de tipo dipolo-dipolo que favorecen una estructura microscópica de entrecruzamiento tipo ovillo. Un mínimo aporte de calor permite que éstas puedan separarse, confiriendo el llamado estado viscoelástico, de tal manera que se tiene un material transparente y muy impermeable al aire. La combinación de las propiedades de cristalinidad y viscosidad confieren diferentes grados de PET, que se procesa primero en estado amorfo y después con una orientación uniaxial (para fabricar fibras textiles, cinta y lámina) o biaxial (para fabricar envases, películas y tarros); productos que ofrecen una adecuada relación costo-beneficio en lo referente a calidad, ligereza y precios competitivos.” (Quevedo Haro, 2017, págs. 12 - 13)

Así mismo, Quevedo indica que el PET se comercializa en cuatro líneas de producción, las cuales son:

- “PET textil como filamento continuo o fibra cortada, para la fabricación de prendas de vestir, telas tejidas, cuerdas, cinturones de seguridad, hilos de costura, refuerzos de llanta y mangueras. Su alta resistencia química permite fabricar cerdas de brocha y cepillos industriales.” (Quevedo Haro, 2017, pág. 13)
- “PET grado película: para medios magnéticos (películas fotográficas, de rayos X), eléctrico (audio, capacitores, contactos), industrial y artes gráficas (estampado en caliente).” (Quevedo Haro, 2017)
- “PET para envases con características favorables en cuanto a resistencia contra agentes químicos, elevada transparencia, ligereza menores costos de fabricación y comodidad en su manejo.” (Quevedo Haro, 2017, pág. 13)
- “PET para lámina, disponible en grado amorfo, espumado y cristalino. El amorfo provee claridad, alta pureza y resistencia tanto a bajas temperaturas como a hidrocarburos clorados y capacidad de esterilización por óxido de etileno; el espumado presenta resistencia a temperaturas simultáneas de horneado-congelación.” (Quevedo Haro, 2017, pág. 13)

“Otros grados de PET y que en la actualidad están cobrando relevancia, son los reciclados (denominados RPET), algunos de los cuales provienen de desperdicios industriales o post consumo que se regeneran por tratamientos fisicoquímicos. Los RPET se recomiendan para elaborar envases de productos no alimenticios, fibras no tejidas láminas, fleje y madera plástica o para el moldeo de otros productos.” (Quevedo Haro, 2017, pág. 13)



#### 1.2.3.4. Desventajas del tereftalato de polietileno – PET

**Secado:** “Todo poliéster tiene que ser secado a fin de evitar pérdida de propiedades. La humedad del polímero al ingresar al proceso debe ser de máximo 0.005%”. (Díaz Bardales, 2022, pág. 60)

**Temperatura:** “Los poliésteres no mantienen buenas propiedades cuando se les somete a temperaturas superiores a los 70 grados. Se han logrado mejoras modificando los equipos para permitir llenado en caliente”. “A excepción del PET cristalizado (opaco) tiene buena resistencia a temperaturas de hasta 230 °C” (Díaz Bardales, 2022, pág. 60)

**Intemperie:** “No se aconseja el uso permanente en intemperie” (Díaz Bardales, 2022, pág. 60)

**Buena resistencia química a:** “Grasas y aceites presentes en alimentos, soluciones diluidas de ácidos minerales, álcalis, sales, jabones, hidrocarburos alifáticos y alcoholes” (Díaz Bardales, 2022, pág. 60)

**Poca resistencia química a:** “Solventes halogenados, aromáticos, cetonas de bajo peso molecular y bases” (Díaz Bardales, 2022, pág. 60)

#### 1.2.3.5. Comparación del PET con otros materiales

En la última década el PET ha sido el material más utilizado e importante en el mundo y en el mercado de las botellas de agua, refrescos y alimentos con una producción aproximada de 11 millones de toneladas, debido a su buena combinación de propiedades como la transparencia, baja densidad, alta resistencia, flexibilidad de formatos, buenas

propiedades organolépticas, entre otros. (Léctor Lafitte & Villarreal Brragán, 2017, pág. 67)

Las nuevas tecnologías y su uso en combinación con otros materiales son algunas de las formas de superar los puntos más débiles de la PET. Por ejemplo, la línea de las películas de Evertis destinadas a tasas mucho más bajas permeabilidad a los gases por la combinación de PET, PE y EVOH. (Mendez Silva, 2012, pág. 31)

**Imagen N° 4 Comparación del material PET con otros materiales**

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

→ Subtítulo  
 ↑ Excelente    ↑ Aceptable    ↓ Malo    ↓ Pésimo

Fuente: Méndez, 2012

### 1.3. Definición de términos básicos

Las definiciones de los siguientes términos básicos fueron acogidas de las normas NTP 399.604 y NTP 399.602. (Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI, 2002)

- **Adsorción:** Capacidad de Inhibición de agua por inmersión en las condiciones especificadas en la NTP 339.604. (Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI, 2002)
- **Albañilería o Mampostería:** Material estructural compuesto por "unidades de albañilería" asentadas con mortero o por "unidades de albañilería" apiladas, en cuyo caso son integradas con concreto líquido.
- **Albañilería Armada:** Albañilería reforzada interiormente con varillas de acero distribuidas vertical y horizontalmente e integrada mediante concreto líquido, de tal manera que los diferentes componentes actúen conjuntamente para resistir los esfuerzos. A los muros de Albañilería Armada también se les denomina Muros Armados.
- **Albañilería Confinada:** Albañilería reforzada con elementos de concreto armado en todo su perímetro, vaciado posteriormente a la construcción de la albañilería. La cimentación de concreto se considerará como confinamiento horizontal para los muros del primer nivel.
- **Albañilería No Reforzada:** Albañilería sin refuerzo (Albañilería Simple) o con refuerzo que no cumple con los requisitos mínimos de la Norma E - 070.
- **Albañilería Reforzada o Albañilería Estructural:** Albañilería armada o confinada, cuyo refuerzo cumple con las exigencias de la Norma E – 070.

- **Altura Efectiva:** Distancia libre vertical que existe entre elementos horizontales de arriostre. Para los muros que carecen de arriostres en su parte superior, la altura efectiva se considerará como el doble de su altura real.
- **Arriostre:** Elemento de refuerzo (horizontal o vertical) o muro transversal que cumple la función de proveer estabilidad y resistencia a los muros portantes y no portantes sujetos a cargas perpendiculares a su plano.
- **Bloque hueco o Perforado:** Es la unidad de albañilería que tiene una sección neta en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento, equivalente a menos del 75% de la sección bruta medida en el mismo plano.
- **Bloque de Concreto:** Pieza prefabricada a base de cemento, agua y áridos finos y/o gruesos, naturales y /o artificiales, con o sin aditivos, incluidos pigmentos, de forma sensiblemente prismática, con dimensiones modulares y ninguna mayor de 60 cm, sin armadura alguna.
- **Bloque de concreto Ligero:** Bloque cuyo concreto tiene una densidad inferior a 1300 kg/m<sup>3</sup>.
- **Bloque cara – vista:** Bloque adecuado para su uso sin revestimiento y que cumple las especificaciones correspondientes a la Norma Técnica Peruana 399.602.
- **Bloque a Revestir:** Bloque que tiene una rugosidad suficiente para proporcionar una buena adherencia al revestimiento y que cumple las

especificaciones correspondientes establecidas en la Norma Técnica Peruana 399.602.

- **Borde Libre:** Extremo horizontal o vertical no arriostrado de un muro.
- **Concreto Líquido o Grout:** Concreto con o sin agregado grueso, de consistencia fluida.
- **Columna:** Elemento de concreto armado diseñado y construido con el propósito de transmitir cargas horizontales y verticales a la cimentación. La columna puede funcionar simultáneamente como arriostre o como confinamiento.
- **Confinamiento:** Conjunto de elementos de concreto armado, horizontales y verticales, cuya función es la de proveer ductilidad a un muro portante.
- **Construcciones de Albañilería:** Edificaciones cuya estructura está constituida predominantemente por muros portantes de albañilería.
- **Dimensiones Efectivas:** Son aquellas que se obtienen por medición directa efectuada sobre el bloque.
- **Dimensiones Nominales:** Son las dimensiones establecidas en la Norma Técnica Peruana 399.602 para designar el tamaño del bloque.
- **Espesor Efectivo:** Es igual al espesor del muro sin tarrajeo u otros revestimientos descontando la profundidad de bruñas u otras indentaciones. Para el caso de los muros de albañilería armada parcialmente rellenos de concreto líquido, el espesor efectivo es igual al área neta de la sección transversal dividida entre la longitud del muro.
- **Muro Arriostrado:** Muro provisto de elementos de arriostre.

- **Muro de Arriostre:** Muro portante transversal al muro al que provee estabilidad y resistencia lateral.
- **Muro No Portante:** Muro diseñado y construido en forma tal que sólo lleva cargas provenientes de su peso propio y cargas transversales a su plano. Son, por ejemplo, los parapetos y los cercos.
- **Muro Portante:** Muro diseñado y construido en forma tal que pueda transmitir cargas horizontales y verticales de un nivel al nivel inferior o a la cimentación. Estos muros componen la estructura de un edificio de albañilería y deberán tener continuidad vertical.
- **Mortero:** Material empleado para adherir horizontal y verticalmente a las unidades de albañilería.
- **Paralelepípedo envolvente:** Es una figura convencional delimitada por los planos teóricos que originan las aristas del bloque definido por los puntos A, B, C, D, E, F, G y H.
- **Paredes Exteriores y Tabiques:** Son los distintos elementos que conforman las cavidades del bloque hueco. Las paredes exteriores son las que corresponden con las caras del bloque, siendo el resto, los tabiques. Estos últimos pueden ser longitudinales (paralelos a las paredes exteriores longitudinales) y transversales (perpendiculares a aquellas).
- **Placa:** Muro portante de concreto armado, diseñado de acuerdo a las especificaciones de la Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado.

- **Plancha:** Elemento perforado de acero colocado en las hiladas de los extremos libres de los muros de albañilería armada para proveerles ductilidad.
- **Resistencia a la compresión:** Es la relación entre la carga de rotura a compresión de un bloque y su sección bruta o neta.
- **Resistencia a la compresión nominal:** Es aquel valor de referencia establecido en la Norma Técnica Peruana 399.602 como resistencia a la compresión referida a la sección bruta y utilizado en la designación del bloque.
- **Sección Bruta:** Es la menor área susceptible de ser obtenida en un plano paralelo al de su asiento, en las condiciones especificadas en la NTP 399.604.
- **Sección neta:** Es la menor área susceptible de ser obtenida en un plano paralelo al de su asiento, al deducir la sección bruta, la superficie correspondiente a las cavidades.
- **Tabique:** Muro no portante de carga vertical, utilizado para subdividir ambientes o como cierre perimetral.
- **Unidad de Albañilería:** Ladrillos y bloques de arcilla cocida, de concreto o de sílice-cal. Puede ser sólida, hueca, alveolar o tubular.
- **Unidad de Albañilería Alveolar:** Unidad de Albañilería Sólida o Hueca con alvéolos o celdas de tamaño suficiente como para alojar el refuerzo vertical. Estas unidades son empleadas en la construcción de los muros armados.

- **Unidad de Albañilería Apilable:** Es la unidad de Albañilería alveolar que se asienta sin mortero.
- **Unidad de Albañilería de Peso Normal:** Es la unidad que en condiciones de secado tiene una densidad de 2000kg/m<sup>3</sup> o más.
- **Unidad de Albañilería Hueca:** Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente menor que el 70% del área bruta en el mismo plano.
- **Unidad de Albañilería Sólida (o Maciza):** Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área igual o mayor que el 70% del área bruta en el mismo plano.
- **Unidad de Albañilería Tubular (o Pandereta):** Unidad de Albañilería con huecos paralelos a la superficie de asiento.
- **Viga Solera:** Viga de concreto armado vaciado sobre el muro de albañilería para proveerle arriostre y confinamiento.

## CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1. Descripción del problema

En la investigación realizada en el año 2015 por Cleto Jara, en los distritos de Iquitos, San Juan Bautista, Belén y Punchana, se indica que del total de residuos sólidos domiciliarios en “Iquitos”, el plástico representa entre el 4,79 % y 15,9% (Jara Herrera, 2015). Al día, en el distrito de Iquitos se generan 85 kg de residuos sólidos plásticos, dentro de estos, 27 kg corresponden a material PET, lo que al año representa



una acumulación de 9.86 toneladas de PET en este distrito (Jara Herrera, 2015); en el distrito de San Juan Bautista zona urbana, se generan 34.89 kg de residuos sólidos plásticos al día, de los cuales, 14 kg corresponden a material PET, lo que al año representa una acumulación de 5.11 toneladas de PET en este distrito (Jara Herrera, 2015); en el distrito de Belén zona urbana, se generan 16.94 kg de residuos sólidos plásticos al día, de los cuales, 8.59 kg corresponden a material PET, lo que al año representa una acumulación de 3.14 toneladas de PET en este distrito (Jara Herrera, 2015); en el distrito de Punchana zona urbana, se generan 39.97 kg de residuos sólidos plásticos al día, de los cuales, 25.62 kg corresponden a material PET, lo que al año representa una acumulación de 9.35 toneladas de PET en este distrito (Jara Herrera, 2015). En ese sentido, si se tiene en consideración que una botella plástica demora aproximadamente 800 años en degradarse (Díaz Bardales, 2022), las cifras indicarían una acumulación de desechos equivalente a 75.21 kg de PET al día o 27.45 toneladas al año, los cuales nos acompañaran por los próximos 8 siglos como mínimo.

El problema principal que se busca resolver a través de esta investigación es la contaminación ambiental, ocasionada por el desecho de material PET (botellas plásticas), en la ciudad de Iquitos. Así mismo, se alimenta el interés de la investigación, dentro de las universidades, en la reutilización de este material, como aditivo, evitando el desmedro de las propiedades físicas y mecánicas en las unidades de albañilería, tecnología que, al estudiarse, colaborara con la eliminación parcial de este material contaminante, y al mismo tiempo presentara un nuevo producto al mercado local.

## 2.2. Formulación del problema

### 2.2.1. Problema general

¿Cómo influye la incorporación del material PET reciclado y triturado en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de mortero hidráulico, Iquitos – Perú 2021?

### 2.2.2. Problemas específicos

¿Cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de mortero hidráulico?

¿Cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de mortero hidráulico elaborado con incorporación de material PET al 0%, 10%, 15% y 20%?

¿Cómo es la variación de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de mortero hidráulico elaborado sin y con incorporación de material PET?

## 2.3. Objetivos

### 2.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la incorporación del material PET reciclado y triturado en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de mortero hidráulico, Iquitos – Perú 2021

### 2.3.2. Objetivos específicos

Estudiar cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de mortero hidráulico

Estudiar cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de mortero hidráulico elaborado con incorporación de material PET al 10%, 15% y 20%

Analizar Cómo es la variación de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de mortero hidráulico elaborado sin y con incorporación de material PET

## 2.4. Hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

H: “La adición de material reciclado PET triturado en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo altera significativamente las propiedades físicas y mecánicas definidas en la Norma Técnica Peruana 399.602.”

### 2.4.2. Hipótesis específicas

H1: “La adición de material reciclado PET triturado en 0%, 10%, 15% y 20%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo altera significativamente las propiedades físicas definidas en la Norma Técnica Peruana 399.602.”

H2: “La adición de material reciclado PET triturado en 10%, 15% y 20%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo altera significativamente las propiedades mecánicas definidas en la Norma Técnica Peruana 399.602.”

## 2.5. Variables:

### 2.5.1. Identificación de las variables.

#### **Variable Independiente X:**

**X:** Adición de porcentajes de material reciclado PET triturado en el mortero para elaboración de ladrillo

#### **Variable Dependiente Y:**

**Y:** Propiedades físicas y mecánicas del ladrillo

### 2.5.2. Definición conceptual y operacional de las variables.

**Variable Independiente X:** Adición de porcentajes de material reciclado PET triturado en el mortero para elaboración de ladrillo.

“Incorporación en porcentaje de 0%, 10%, 15% y 20% de material PET reciclado. El PET o Tereftalato de poliestireno, [...] “es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico (paraxileno) y el etilenglicol (etileno). Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres. Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad.” (Díaz Bardales, 2022)”

**Variable Dependiente Y:** Propiedades físicas y mecánicas del ladrillo

“Se entiende por propiedades físicas del ladrillo a aquellas que son visibles y se pueden medir, tales como la densidad, peso específico, absorción, Imperfecciones geométricas, Geometría, Adherencia las unidades de albañilería. Las propiedades mecánicas del ladrillo se conceptualizan como propiedades relacionadas con su capacidad de transmitir y resistir fuerzas o deformaciones, tales como la Resistencia a la Flexión y resistencia a la compresión en unidades de albañilería y bloque”

### 2.5.3. Operacionalización de las variables.

*Tabla 4: Operacionalización de las Variables*

Variable	Concepto	Indicadores
Adición de porcentajes de material reciclado PET triturado en el mortero para elaboración de ladrillo.	“Incorporación en porcentaje de 0%, 10%, 15% y 20% de material PET reciclado. El PET o Tereftalato de poliestireno, [...] “es un polímero que se obtiene	• Porcentaje por unidad de ladrillo

	<p>mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico (paraxileno) y el etilenglicol (etileno). Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres. Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad.” (Díaz Bardales, 2022)”</p>	
<p>Propiedades físicas y mecánicas del ladrillo</p>	<p>“Se entiende por propiedades físicas del ladrillo a aquellas que son visibles y se pueden medir, tales como la densidad, peso específico, absorción, Imperfecciones geométricas, Geometría, Adherencia las unidades de albañilería. Las propiedades mecánicas del ladrillo se conceptualizan como propiedades relacionadas con su capacidad de transmitir y resistir fuerzas o deformaciones, como la resistencia a la compresión en unidades de albañilería y bloque”</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidad</li> <li>• Peso específico</li> <li>• Absorción</li> <li>• Imperfecciones geométricas</li> <li>• Geometría</li> <li>• Adherencia</li> <li>• Resistencia a la Compresión de la unidad de albañilería al 0%, 10%, 15% y 20%</li> <li>• Resistencia a la Compresión en bloque de albañilería al 0%, 10%, 15% y 20%</li> </ul>

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Tipo y diseño de investigación.

#### 3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de diseño corresponde a un modelo Descriptivo - Pre Experimental, siendo considerado descriptivo porque los materiales son estudiados como se encuentra en la realidad (arena de cantera y material PET, como se compra en los talleres de reciclaje) y se considera pre experimental porque se observa la influencia en las propiedades físicas y mecánicas de la incorporación de diferentes dosificaciones de PET en las muestras de estudio.

Las modalidades de investigación que serán utilizadas son:

- a) Documental Bibliográfico. - Se ha consultado material bibliográfico sobre las propiedades del ladrillo cemento arena y la influencia del material PET en estas, evaluándolo posteriormente según lo indicado en la NTP.
- b) Laboratorio. – Se han realizado los estudios correspondientes a las muestras de ladrillo cemento – arena, buscando determinar la influencia de este material en los ensayos propios de las unidades de albañilería.

#### 3.1.2. Diseño de investigación

Diseño:

##### a. **Descriptivo.** –

M	O
---	---

**Donde:**

**M:** Muestra con quien o en quien se va a realizar el estudio

**O:** Observación a la variable. Información relevante o de interés de la muestra

##### b. **Pre Experimental.** –

G	X	O
---	---	---

Donde:

**G:** Grupo

**X:** Experimento o tratamiento (V.I.)

**O:** Observación de resultados (V.D.)

### 3.2. Población y muestra

#### 3.2.1. Población

La población consistió en 1.0 m<sup>3</sup> de concreto, el cual se ha utilizado en la fabricación de ladrillos de cemento de 0.24 m (20cm) de largo, 0.13 (10cm)m de ancho y 0.09 (14cm) m de alto, valores que se encuentran dentro de los parámetros de la norma técnica peruana 399.602, tabla 2: Dimensiones de la Unidad.

#### 3.2.2. Muestra

La muestra utilizada durante los ensayos consistió en 344 unidades de albañilería del tipo IV, ladrillos King Koncreto. Las unidades de albañilería serán sometidas a los ensayos mencionados en este anteproyecto de manera conveniente.

### 3.3. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

#### 3.3.1. Técnicas de recolección de datos

- a) Revisión Bibliográfica: Se ha realizado la revisión de las publicaciones existentes a nivel local, nacional e internacional, de las investigaciones que tengan relación con las variables del presente estudio.
  
- b) Observación directa y ensayos en laboratorio: Mediante esta técnica se ha obtenido la información detallada, como resultado de los ensayos de laboratorio y producto de la experimentación del uso del aditivo (material PET) en diferentes porcentajes.

### 3.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos utilizados durante esta investigación consistieron en los instrumentos proporcionados por el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la UCP, los cuales consisten en Equipos, herramientas y formatos para procesar la información obtenida de los ensayos. Así mismo, se contará con una libreta de apuntes destinada a detallar todos los ensayos de prueba elaborados, así como el procedimiento y sus resultados.

### 3.3.3. Procedimientos de recolección de datos

La recolección de datos consistirá en la aplicación de las técnicas e instrumentos de recolección durante la etapa previa a los ensayos de laboratorio y durante la ejecución de la misma.

#### a. Análisis de Información Bibliográfica:

Durante esta etapa se realizó la exploración bibliográfica de los antecedentes y se recopiló datos necesarios para la elaboración de las muestras. Esta información base, sirvió para determinar un diseño ideal en la investigación, la cual fue previamente ensayada antes de considerarse apta.

#### b. Ensayos de Laboratorio

Para realizar la recolección de los datos durante la ejecución de este estudio, se dividió el trabajo de laboratorio en dos etapas: estudio de los agregados y elaboración de los ladrillos con aditivo PET y ensayos definitivos.



➤ Estudio de los agregados:

Se inició con el transporte del agregado grueso de ¾" y ½", desde el acopio de venta del material hacia las instalaciones del Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la UCP. En este caso, se utilizó material comercializado en el Distrito de San Juan Bautista, por ser el punto de comercialización más cercano a la Universidad Científica del Perú.

Los ensayos elaborados durante esta etapa, buscaban determinar las características físicas del agregado y se realizaron conforme a las siguientes normas:

*Tabla 5: Normativa ASTM para Ensayos*

<b>ENSAYO</b>	<b>NORMATIVA ASTM</b>
Peso Unitario Suelto	ASTM C – 29
Peso Unitario Compactado	ASTM C – 29
Peso Específico	ASTM C – 128, ASTM C -127
Absorción	ASTM C – 128, ASTM C -127
Granulometría	ASTM C – 136
Módulo de Finura	ASTM C – 33
Contenido de Humedad	ASTM – 70

*Fuente: Propia (2021)*

➤ Ensayos Definitivos

Al determinarse los 4 diseños, partiendo del diseño sin material PET, se procedió a evaluar en los 344 ladrillos de muestra a través de los ensayos planteados, para determinar las propiedades en estado fresco y endurecido, conforme la norma técnica peruana 399.604.

3.4. Procesamiento y análisis de datos.

El procesamiento de los datos obtenidos de los ensayos se realizará utilizando el software estadístico Excel de Windows.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Características físicas de los agregados

#### 4.1.1. Análisis granulométrico

A fin de elaborar los diseños de mezcla para las diferentes proporciones de aditivo PET, se determinó el módulo de fineza del agregado y el aditivo mediante el análisis granulométrico por tamizado, según lo indicado en la norma ASTM C – 136.

Los resultados se pueden ver a continuación y en el anexo N° 2.1:

Tabla 6: Análisis Granulométrico por Tamizado - Agregado fino

Tamices ASTM	Abertura mm.	Peso Retenido	%Retenido		% Que Pasa	OBSERVACIONES
			Parcial	Acumulado		
3"	76.000					
2 1/2"	63.300					L. Líquido : N.P.
2"	50.600					L. Plástico : N.P.
1 1/2"	38.100					I. Plástico : N.P.
1"	25.400					Clas. SUCS : SP
3/4"	19.050					Clas. AASHTO : A-3 (0)
1/2"	12.700				100.00	
3/8"	9.525				100.00	<b>Peso de Muestra en Gr.</b>
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00	Muestra Seca : <b>303.47</b>
N°04	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00	Muestra Lavada: <b>297.56</b>
N°08	2.380	0.09	0.03	0.03	99.97	
N°16	1.190	1.70	0.56	0.59	99.41	
N°30	0.590	11.27	3.71	4.30	95.70	
N°50	0.297	161.61	53.25	57.56	42.44	
N°100	0.149	108.40	35.72	93.28	6.72	
N°200	0.074	14.49	4.77	98.05	1.95	
Pasa N°200		5.91	1.95			<b>MF : 1.56</b>

Gráfica 1: Curva Granulométrica Agregado fino

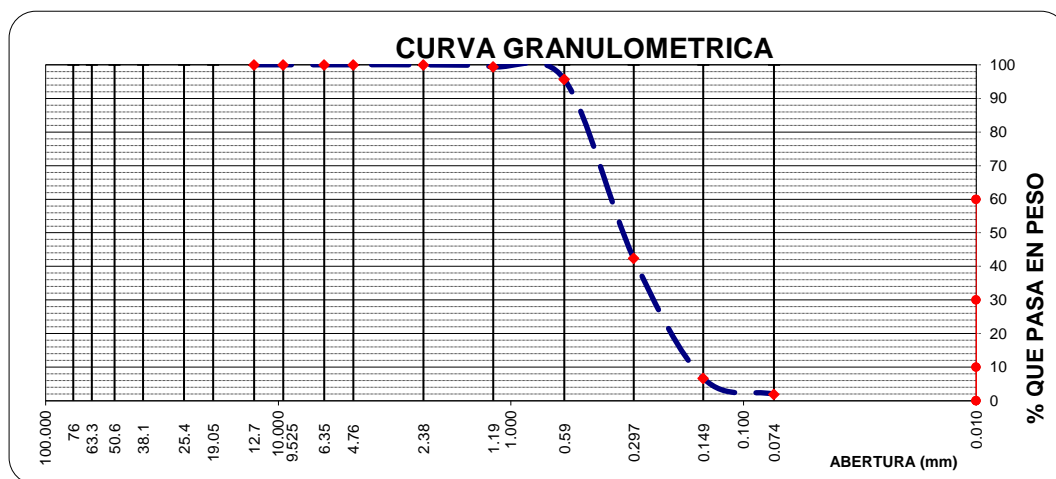
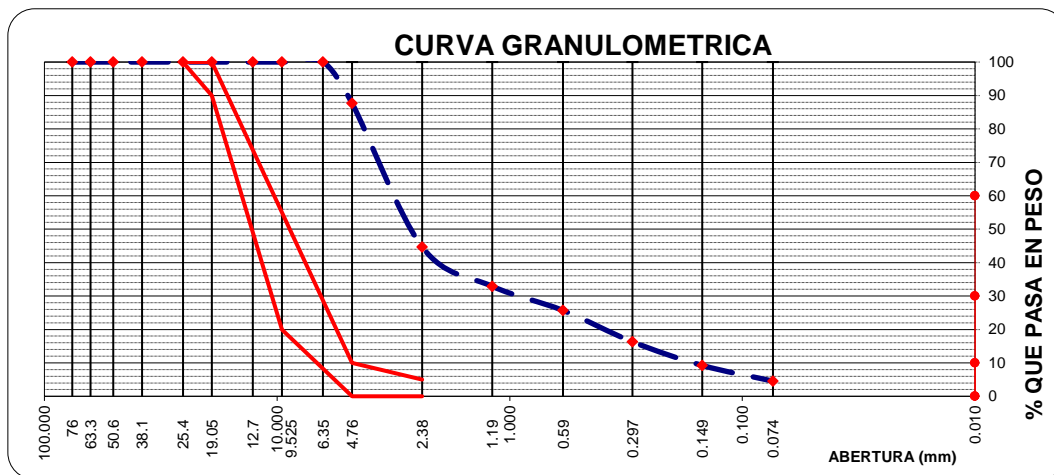


Tabla 7: Análisis Granulométrico por Tamizado – PET triturado

Tamices ASTM	Abertura mm.	Peso Retenido	%Retenido		% Que Pasa	OBSERVACIONES
			Parcial	Acumulado		
3"	76.000	0.00	0.00	0.00	100.00	
2 1/2"	63.300	0.00	0.00	0.00	100.00	L. Líquido : N.P.
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00	L. Plástico : N.P.
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	I. Plástico : N.P.
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	Clas. SUCS : SP
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00	Clas. AASHTO : A-1-a (0)
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	<b>Peso de Muestra en Gr.</b>
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00	Muestra Seca : <b>300.00</b>
N°04	4.760	37.04	12.35	12.35	87.65	Muestra Lavada: <b>286.34</b>
N°08	2.380	128.88	42.96	55.31	44.69	
N°16	1.190	35.33	11.78	67.08	32.92	
N°30	0.590	21.68	7.23	74.31	25.69	
N°50	0.297	28.14	9.38	83.69	16.31	
N°100	0.149	21.17	7.06	90.75	9.25	
N°200	0.074	14.10	4.70	95.45	4.55	
Pasa N°200		13.66	4.55			
						<b>MF : 3.83</b>
						<b>TMN :</b>

Gráfica 2: Curva Granulométrica PET triturado



#### 4.1.2. Peso unitario suelto de los agregados

Para determinar el peso unitario suelto de los agregados y el aditivo PET triturado, que conformaron los diseños de mezcla planteados en las hipótesis, se ha desarrollado los ensayos según lo establecido en la norma ASTM C-29.

Los resultados se pueden ver a continuación y en el anexo N°2.5

Tabla 8: Peso Unitario Suelto y porcentaje de vacíos en el Agregado fino

N° DE ENSAYOS	1	2	3
PESO DE MUESTRA + MOLDE (gr.)	7038	7002	7025
PESO DE MOLDE (gr.)	2905	2905	2905
PESO DE MUESTRA	4133	4097	4120
VOLUMEN DE MOLDE	2827	2827	2827
PESO UNITARIO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.462	1.449	1.457
<b>PROMEDIO PESO UNITARIO (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,456</b>		
<b>VACÍOS EN EL AGREGADO (%)</b>	<b>45.47</b>		

Tabla 9: Peso Unitario Suelto y porcentaje de vacíos en el aditivo PET triturado

N° DE ENSAYOS	1	2	3
PESO DE MUESTRA + MOLDE (gr.)	4031	4031	4034
PESO DE MOLDE (gr.)	2905	2905	2905
PESO DE MUESTRA	1126	1126	1129
VOLUMEN DE MOLDE	2827	2827	2827
PESO UNITARIO	0.398	0.398	0.399
<b>PROMEDIO PESO UNITARIO (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>398</b>		
<b>VACÍOS EN EL AGREGADO (%)</b>	<b>58.63</b>		

#### 4.1.3. Peso unitario compactado del agregado

Para determinar el peso unitario compactado del agregado fino y el aditivo PET triturado para desarrollar los diseños planeados en la hipótesis, se ha desarrollado los ensayos según lo establecido en la norma ASTM C-29.

Los resultados se pueden ver a continuación y en el anexo N°2.8

Tabla 10: Peso Unitario Compactado y porcentaje de vacíos en el Agregado fino

N° DE ENSAYOS	1	2	3
PESO DE MUESTRA + MOLDE (gr.)	7413	7418	7416
PESO DE MOLDE (gr.)	2905	2905	2905
PESO DE MUESTRA	4508	4513	4511
VOLUMEN DE MOLDE	2827	2827	2827
PESO UNITARIO	1.595	1.596	1.596
<b>PROMEDIO PESO UNITARIO (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,596</b>		
<b>VACÍOS EN EL AGREGADO (%)</b>	<b>40.23</b>		

Tabla 11: Peso Unitario Compactado y porcentaje de vacíos en el aditivo PET triturado

N° DE ENSAYOS	1	2	3
PESO DE MUESTRA + MOLDE (gr.)	4265	4282	4270
PESO DE MOLDE (gr.)	2905	2905	2905
PESO DE MUESTRA	1360	1377	1365
VOLUMEN DE MOLDE	2827	2827	2827
PESO UNITARIO	0.481	0.487	0.483
<b>PROMEDIO PESO UNITARIO (Kg/m3)</b>	<b>484</b>		
<b>VACÍOS EN EL AGREGADO (%)</b>	<b>49.69</b>		

#### 4.1.4. Gravedad específica y absorción del agregado

Para determinar los valores de gravedad específica y absorción del agregado y el aditivo PET triturado que conforman los diseños establecidos en la hipótesis, se ha desarrollado los ensayos según lo establecido en las normas ASTM C – 128, para los agregados finos, y ASTM C – 127, para el aditivo PET.

Los resultados se pueden ver a continuación y en el anexo N°2.11

Tabla 12: Ensayo Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino – Arena Blanca. (ASTM C – 128)

N° DE ENSAYOS	1	2	3	PROMEDIO
<b>Peso de tara + Peso Muestra completamente seca</b>	<b>612.56</b>	<b>675.47</b>	<b>646.66</b>	
<b>Peso de tara</b>	<b>371.88</b>	<b>368.29</b>	<b>377.4</b>	
<b>A</b> Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en aire)	241.25	308.21	269.56	
<b>B</b> Peso Frasco + H2O	719.23	707.46	676.32	
<b>C</b> Peso Frasco + H2O + A = (A+B)	960.48	1015.67	945.88	
<b>D</b> Peso de Mat. + H2O en el Frasco	872.66	898.50	842.31	
<b>E</b> Vol. Masa + Vol. de Vacío = (C-D)	87.82	117.17	103.57	
<b>F</b> Peso de Mat. Seco en Estufa (105°C)	240.68	307.18	269.26	
<b>G</b> Vol. Masa = (E-A+F)	87.25	116.14	103.27	
Peso Específico de Masa (Base Seca)= (F/E)	2.741	2.622	2.600	<b>2.654</b>
Peso Específico de Masa (S.S.S) = (A/E)	2.747	2.630	2.603	<b>2.660</b>
Peso Específico Aparente = (F/G)	2.759	2.645	2.607	<b>2.670</b>
% de Absorción = ((A-F)/F)*100	0.24	0.34	0.11	<b>0.23</b>

Tabla 13: Ensayo Gravedad Específica y Absorción del aditivo PET triturado (ASTM C – 127)

N° DE ENSAYOS		1	2	PROMEDIO
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en aire)	133.36	140.06	
B	Peso Frasco + H2O	719.23	707.46	
C	Peso Frasco + H2O + A = (A+B)	852.59	847.52	
D	Peso de Mat. + H2O en el Frasco	756.19	752.89	
E	Vol. Masa + Vol. de Vacío = (C-D)	96.40	94.63	
F	Peso de Mat. Seco en Estufa (105°C)	132.89	139.58	
G	Vol. Masa = (E-A+F)	95.93	94.15	
Peso Específico de Masa (Base Seca) = (F/E)		1.379	1.475	<b>1.427</b>
Peso Específico de Masa (S.S.S) = (A/E)		1.383	1.480	<b>1.432</b>
Peso Específico Aparente = (F/G)		1.385	1.483	<b>1.434</b>
% de Absorción = ((A-F)/F)*100		0.35	0.34	<b>0.35</b>

## 4.2. Diseños definitivos

A continuación, se detallan los valores de diseño corregidos para la elaboración de las muestras de ladrillo.

Tabla 14: Valores de Diseño de Mezcla – Con y sin aditivo PET triturado

DISEÑO	VALORES DE DISEÑO DE MEZCLA			
	CEMENTO (KG/M3)	ARENA (KG/M3)	ADITIVO PET (KG/M3)	AGUA (LT/M3)
<b>SIN PET</b>	400	802	-	204
<b>10% PET</b>	438.5	1159.2	69.2	285
<b>15% PET</b>	438.5	1114.9	103.9	267.7
<b>20% PET</b>	438.5	1049.3	138.5	258.9

## 4.3. Propiedades físicas de las unidades de ladrillo en estado fresco

### 4.3.1. Consistencia

Mediante el ensayo Cono de Abrams se ha determinado el Slump de cada diseño, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 15: Asentamiento de los Diseños de Ladrillo de mortero hidráulico

DISEÑO DE MEZCLA	ASENTAMIENTO (cm)
DISEÑO SIN PET	0.6
DISEÑO CON 10% DE PET	1.1
DISEÑO CON 15% DE PET	1.2
DISEÑO CON 20% DE PET	1.5

Gráfica 3: Comparación de los asentamientos de los diseños de mezcla para ladrillos con y sin adición de PET triturado



#### 4.3.2. Densidad

Esta propiedad se determinó según lo establecido en la norma ASTM C-29. Del total de especímenes existentes, se consideró evaluar la densidad de manera aleatoria cinco muestras obteniendo los siguientes resultados para cada diseño:

Tabla 16: Densidad del ladrillo de concreto – Diseño sin adición de PET

Nº Mst.	Descripcion	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad promedio (g/cm <sup>3</sup> )
M-1	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	3648	4286	1937	1.553	<b>1.527</b>
M-2	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	3535	4226	1815	1.466	

M-3	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	3511	4171	1983	1.605
M-4	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	3279	3955	1755	1.490
M-5	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	3341	3906	1712	1.523

Tabla 17: Densidad del ladrillo de concreto – Diseño con adición de PET al 10%

Nº Mst.	Descripcion	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Densidad (g/cm3)	Densidad promedio (g/cm3)
M-1	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	3514	4115	2010	1.669	<b>1.709</b>
M-2	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	3593	4096	1975	1.694	
M-3	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	3900	4412	2228	1.786	
M-4	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	3688	4227	2030	1.679	
M-5	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	3608	4119	2019	1.718	

Tabla 18: Densidad del ladrillo de concreto – Diseño con adición de PET al 15%

Nº Mst.	Descripcion	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Densidad (g/cm3)	Densidad promedio (g/cm3)
M-1	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	2947	3544	1825	1.714	<b>1.677</b>
M-2	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	3493	4029	2228	1.939	
M-3	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	2784	3486	1738	1.593	
M-4	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	2778	3440	1689	1.587	
M-5	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	3352	4340	2181	1.553	

Tabla 19: Densidad del ladrillo de concreto – Diseño con adición de PET al 20%

Nº Mst.	Descripcion	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Densidad (g/cm3)	Densidad promedio (g/cm3)
M-1	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	2635	3278	1423	1.420	<b>1.250</b>
M-2	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	2573	3356	1334	1.273	
M-3	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	2572	3345	1384	1.312	

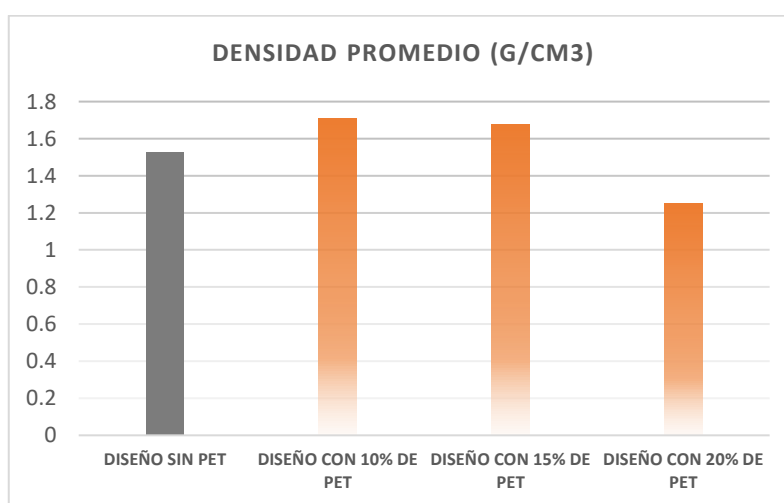


M-4	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	2391	3431	1115	1.032
M-5	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	2433	3543	1537	1.213

*Tabla 20: Resumen de las densidades promedio obtenidas en los diseños de ladrillo de mortero*

DISEÑO DE MEZCLA	DENSIDAD PROMEDIO (G/CM3)
DISEÑO SIN PET	1.527
DISEÑO CON 10% DE PET	1.709
DISEÑO CON 15% DE PET	1.677
DISEÑO CON 20% DE PET	1.250

*Gráfica 4: Comparación de las densidades obtenidas en los ladrillos con y sin adición de PET triturado*



### 4.3.3. Absorción

Las muestras de ladrillo de mortero hidráulico elaborados en base a los 4 diseños, indicados en el punto 4.2. se evaluaron según lo establecido en la norma ASTM C-67, para determinar el grado de absorción promedio de cada diseño, para este fin se designaron de manera aleatoria cinco muestras obteniendo los siguientes resultados para cada diseño:

Tabla 21: Absorción del ladrillo de concreto – Diseño sin adición de PET

Nº Mst.	Descripcion	Peso seco (gr)	Peso saturado (gr)	Contenido de agua absorbida (%)	Promedio de contenido de agua absorbida (%)
M-1	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	3648.00	4286.00	17.49	18.67
M-2	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	3535.00	4226.00	19.55	
M-3	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	3511.00	4171.00	18.80	
M-4	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	3279.00	3955.00	20.62	
M-5	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	3341.00	3906.00	16.91	

Tabla 22: Absorción del ladrillo de concreto – Diseño con adición de PET al 10%

Nº Mst.	Descripcion	Peso seco (gr)	Peso saturado (gr)	Contenido de agua absorbida (%)	Promedio de contenido de agua absorbida (%)
M-1	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	3514.00	4115.00	17.10	14.60
M-2	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	3593.00	4096.00	14.00	
M-3	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	3900.00	4412.00	13.13	
M-4	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	3688.00	4227.00	14.61	
M-5	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	3608.00	4119.00	14.16	

Tabla 23: Absorción del ladrillo de concreto – Diseño con adición de PET al 15%

Nº Mst.	Descripcion	Peso seco (gr)	Peso saturado (gr)	Contenido de agua absorbida (%)	Promedio de contenido de agua absorbida (%)
M-1	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	2947.00	3544.00	20.26	22.82
M-2	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	3493.00	4029.00	15.34	
M-3	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	2784.00	3486.00	25.22	
M-4	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	2778.00	3440.00	23.83	
M-5	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	3352.00	4340.00	29.47	

Tabla 24: Absorción del ladrillo de concreto – Diseño con adición de PET al 20%

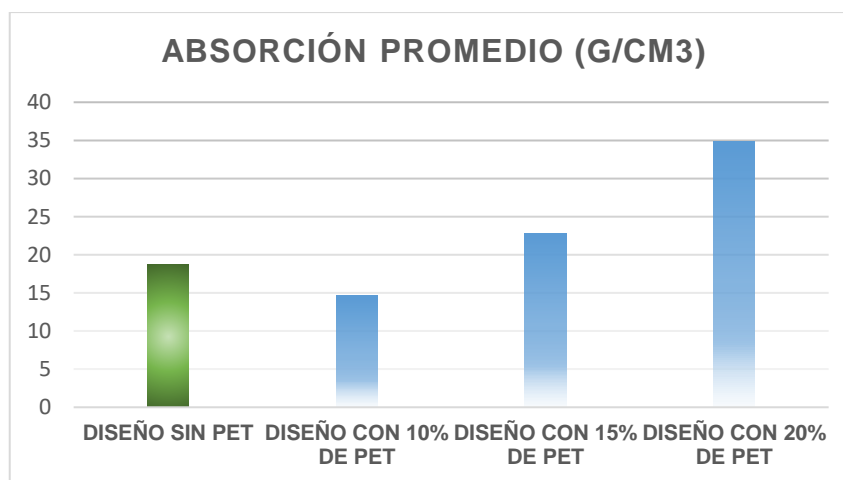
Nº Mst.	Descripcion	Peso seco (gr)	Peso saturado (gr)	Contenido de agua absorbida (%)	Promedio de contenido de agua absorbida (%)
M-1	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	2635.00	3278.00	24.40	34.80

M-2	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	2573.00	3356.00	<b>30.43</b>	
M-3	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	2572.00	3345.00	<b>30.05</b>	
M-4	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	2391.00	3431.00	<b>43.50</b>	
M-5	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	2433.00	3543.00	<b>45.62</b>	

Tabla 25: Resumen de la absorción promedio obtenida en los diseños de ladrillo de mortero

DISEÑO DE MEZCLA	ABSORCIÓN PROMEDIO (%)
DISEÑO SIN PET	18.67
DISEÑO CON 10% DE PET	14.60
DISEÑO CON 15% DE PET	22.82
DISEÑO CON 20% DE PET	34.80

Gráfica 5: Comparación de la absorción promedio en los ladrillos con y sin adición de PET triturado



#### 4.3.4. Alabeo

Las muestras de ladrillo de mortero hidráulico elaborados en base a los 4 diseños, indicados en el punto 4.2. se evaluaron según lo establecido en la norma NTP 399.613, para determinar la medida del alabeo de las unidades de ladrillo de mortero de cada diseño, para este fin se designaron de manera aleatoria diez muestras obteniendo los siguientes resultados para cada diseño:

Tabla 26: Alabeo de los ladrillos de mortero– Diseño sin adición de PET

Nº Mst.	Descripcion	CARAS MAYORES			
		CARA SUPERIOR (mm)		CARA INFERIOR (mm)	
		Cóncavo	convexo	Cóncavo	convexo
M-1	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	0.00	0.00	0.00	0.00
M-2	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	0.00	0.00	0.00	0.00
M-3	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	0.00	0.00	0.00	0.00
M-4	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	0.00	0.00	0.00	0.00
M-5	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	1.00	0.00	0.00	0.00
M-6	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	0.00	0.00	0.00	0.00
M-7	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	0.00	1.00	0.00	1.00
M-8	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	0.00	0.00	0.00	0.00
M-9	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	0.00	1.00	0.00	0.00
M-10	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	0.00	1.00	0.00	1.00

Tabla 27: Alabeo de los ladrillos de mortero – Diseño con adición de PET al 10%

Nº Mst.	Descripcion	CARAS MAYORES			
		CARA SUPERIOR (mm)		CARA INFERIOR (mm)	
		Cóncavo	convexo	Cóncavo	convexo
M-1	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	0.00	0.00	0.00	0.00
M-2	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	0.00	0.00	0.00	0.00
M-3	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	0.00	0.00	0.00	0.00
M-4	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	0.00	0.00	0.00	0.00
M-5	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	0.00	0.00	0.00	0.00
M-6	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	0.00	0.00	1.00	0.00
M-7	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	1.00	0.00	0.00	0.00
M-8	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	0.00	0.00	0.00	0.00
M-9	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	0.00	0.00	0.00	1.00
M-10	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	1.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 28: Alabeo de los ladrillos de mortero – Diseño con adición de PET al 15%

Nº Mst.	Descripcion	CARAS MAYORES			
		CARA SUPERIOR (mm)		CARA INFERIOR (mm)	
		Cóncavo	convexo	Cóncavo	convexo
M-1	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	0.00	0.00	0.00	0.00
M-2	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	0.00	0.00	0.00	0.00
M-3	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	0.00	0.00	0.00	0.00
M-4	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	1.00	0.00	0.00	0.00
M-5	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	0.00	0.00	1.00	0.00
M-6	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	0.00	0.00	0.00	0.00
M-7	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	0.00	1.00	0.00	0.00
M-8	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	0.00	0.00	0.00	0.00
M-9	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	0.00	0.00	0.00	1.00
M-10	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 29: Alabeo de los ladrillos de mortero – Diseño con adición de PET al 20%

Nº Mst.	Descripcion	CARAS MAYORES			
		CARA SUPERIOR (mm)		CARA INFERIOR (mm)	
		Cóncavo	convexo	Cóncavo	convexo
M-1	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	0.00	0.00	0.00	0.00
M-2	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	1.00	0.00	1.00	0.00
M-3	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	0.00	0.00	0.00	0.00
M-4	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	0.00	0.00	0.00	0.00
M-5	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	1.00	0.00	0.00	0.00
M-6	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	0.00	0.00	0.00	0.00
M-7	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	0.00	0.00	0.00	0.00
M-8	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	0.00	0.00	0.00	0.00
M-9	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	0.00	1.00	0.00	0.00
M-10	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 30: Resumen de los resultados de Alabeo en los diseños de ladrillo de mortero con y sin adición de PET

<b>DISEÑO DE MEZCLA</b>	<b>CONCAVIDAD DE CARAS MAYORES (mm)</b>	<b>CONVEXIDAD DE CARAS MAYORES (mm)</b>
<b>DISEÑO SIN PET</b>	0.05	0.25
<b>DISEÑO CON 10% DE PET</b>	0.15	0.05
<b>DISEÑO CON 15% DE PET</b>	0.1	0.1
<b>DISEÑO CON 20% DE PET</b>	0.15	0.05

#### 4.4. Propiedades mecánicas de las unidades de ladrillo en estado endurecido

##### 4.4.1. Resistencia a la compresión

En base a lo establecido en la norma NTP 399.604, se desarrolló los ensayos de compresión de las unidades de ladrillo de mortero con y sin aditivo PET triturado, correspondiente a los diseños indicados en la sección 4.2. Este ensayo consideró 10 especímenes de las muestras elaboradas, por cada diseño de mezcla, y se ejecutó a los 7 y 28 días, obteniendo la resistencia a la compresión  $f'b$  para las mismas.

Tabla 31: Ensayo de Compresión para ladrillos de mortero sin adición de PET triturado a los 28 días

<b>Nº Mst.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Área superior (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Área inferior (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Área bruta (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga Max.(kN)</b>	<b>f´b (kgf)</b>	<b>f´b (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resist. Promedio</b>
M-1	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	202.28	203.49	202.89	103.83	10588	52	<b>59</b>
M-2	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	196.98	200.70	198.84	106.37	10847	55	
M-3	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	203.79	215.56	209.67	107.98	11011	53	
M-4	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	203.82	213.60	208.71	103.10	10513	50	
M-5	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	205.38	215.63	210.51	158.55	16168	77	
M-6	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	205.33	207.08	206.20	110.82	11300	55	
M-7	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	205.49	222.34	213.91	141.40	14419	67	
M-8	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	208.64	215.44	212.04	139.46	14221	67	
M-9	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	209.62	212.75	211.18	113.77	11601	55	

M-10	Ladrillo King Koncreto de mortero: SIN PET	204.04	210.15	207.10	125.78	12826	62	
------	--	--------	--------	--------	--------	-------	----	--

Tabla 32: Ensayo de Compresión para ladrillos de mortero con adición del 10% de PET triturado (28 días)

Nº Mst.	Descripcion	Área superior (cm2)	Área inferior (cm2)	Área bruta (cm2)	Carga Max.(kN)	f´b (kgf)	f´b (kg/cm2)	Resist. Promedio
M-1	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	204.15	204.88	204.51	66.18	6748	33	<b>36</b>
M-2	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	204.32	210.22	207.27	71.15	7255	35	
M-3	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	207.37	208.80	208.09	84.12	8578	41	
M-4	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	209.03	215.02	212.02	69.23	7059	33	
M-5	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	204.78	210.08	207.43	88.16	8990	43	
M-6	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	208.46	209.44	208.95	93.11	9495	45	
M-7	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	207.76	210.96	209.36	98.31	10025	48	
M-8	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	208.27	210.69	209.48	44.50	4538	22	
M-9	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	205.94	212.02	208.98	60.55	6174	30	
M-10	Ladrillo King Koncreto de mortero: 10%	203.18	211.28	207.23	65.75	6705	32	

Tabla 33: Ensayo de Compresión para ladrillos de mortero con adición del 15% de PET triturado (28 días)

Nº Mst.	Descripcion	Área superior (cm2)	Área inferior (cm2)	Área bruta (cm2)	Carga Max.(kN)	f´b (kgf)	f´b (kg/cm2)	Resist. Promedio
M-1	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	201.88	201.48	201.68	31.69	3231	16	<b>21</b>
M-2	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	204.42	207.21	205.82	42.61	4345	21	
M-3	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	202.05	214.24	208.15	41.17	4198	20	
M-4	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	205.49	208.43	206.96	44.18	4505	22	
M-5	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	206.16	212.23	209.20	44.18	4505	22	
M-6	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	207.41	210.79	209.10	48.90	4986	24	
M-7	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	207.16	211.26	209.21	48.05	4900	23	
M-8	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	207.27	208.82	208.04	47.10	4803	23	

M-9	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	207.10	209.52	208.31	41.27	4208	20
M-10	Ladrillo King Koncreto de mortero: 15%	205.71	206.78	206.24	43.16	4401	21

*Tabla 34: Ensayo de Compresión para ladrillos de mortero con adición del 20% de PET triturado (28 días)*

Nº Mst.	Descripción	Área superior (cm <sup>2</sup> )	Área inferior (cm <sup>2</sup> )	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Carga Max.(kN)	f´b (kgf)	f´b (kg/cm <sup>2</sup> )	Resist. Promedio
M-1	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	207.18	209.95	208.56	9.33	951	5	<b>6</b>
M-2	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	206.83	207.89	207.36	10.16	1036	5	
M-3	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	206.82	208.28	207.55	14.11	1439	7	
M-4	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	205.61	211.17	208.39	9.93	1013	5	
M-5	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	206.87	209.87	208.37	12.14	1238	6	
M-6	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	207.75	209.53	208.64	14.21	1449	7	
M-7	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	207.10	209.71	208.41	13.61	1388	7	
M-8	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	208.02	206.72	207.37	11.06	1128	5	
M-9	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	209.39	206.78	208.08	17.81	1816	9	
M-10	Ladrillo King Koncreto de mortero: 20%	208.35	207.10	207.72	18.15	1851	9	

#### 4.4.2. Comparación de la resistencia a la compresión f´b de los diseños ensayados

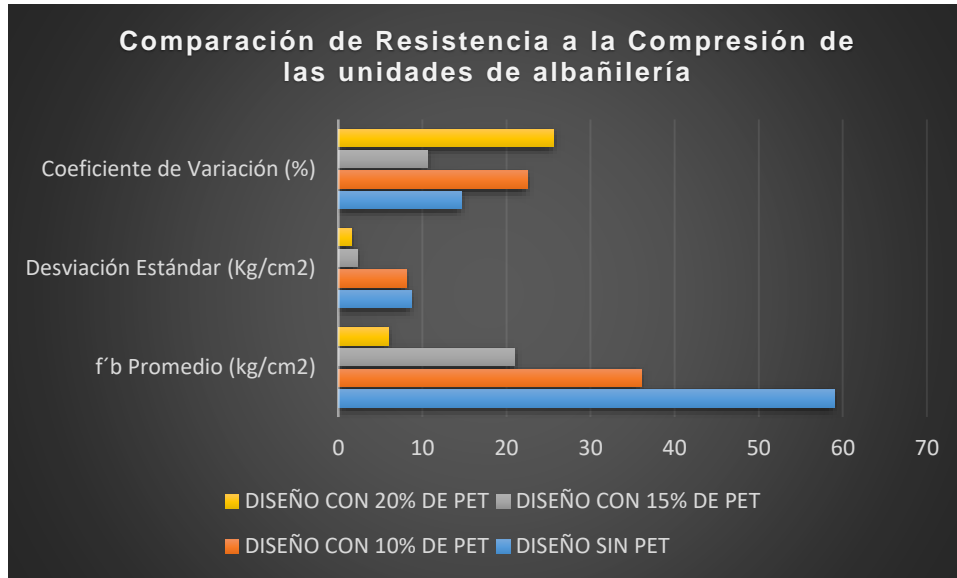
Se procedió a realizar la comparación de los resultados de los ensayos de compresión de todos los diseños, establecidos en el numeral 4.2.

Tabla 35: Comparación de la Resistencia a la Compresión obtenida en los cuatro diseños

Diseños de Mezclas	f´b Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Variación (%)
DISEÑO SIN PET	59	8.68	14.71
DISEÑO CON 10% DE PET	36	8.09	22.46
DISEÑO CON 15% DE PET	21	2.23	10.63
DISEÑO CON 20% DE PET	6	1.54	25.59



Gráfica 6: Comparación de las densidades obtenidas en los ladrillos con y sin adición de PET triturado



#### 4.5. Prueba de hipótesis (análisis inferencial)

##### 4.5.1. Análisis para la densidad (gr/cm<sup>2</sup>)

Según “Norma Técnica Peruana 399.602.”, la densidad optima se encuentra en el intervalo [1.3 gr/cm<sup>2</sup> a 2.0 gr/cm<sup>2</sup>]

##### 4.5.1.1. Densidad sin material reciclado PET., 0%

###### a) Formulación de hipótesis:

**Hipótesis alterativa:** La adición de material reciclado PET triturado en 0%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física densidad si cumple con los valores aceptables [1.3 gr/cm<sup>2</sup> a 2.0 gr/cm<sup>2</sup>] de la Norma Técnica Peruana 399.602.

**Hipótesis nula:** La adición de material reciclado PET triturado en 0%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física densidad no cumple con los valores aceptables [1.3 gr/cm<sup>2</sup> a 2.0 gr/cm<sup>2</sup>] de la Norma Técnica Peruana 399.602.

###### b) Nivel de significación: $\alpha=0.05=5\%$

c) Estadística de prueba: se utiliza el intervalo de confianza

$$P\left[\bar{X} - t_0 \frac{\hat{S}}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + t_0 \frac{\hat{S}}{\sqrt{n}}\right] = 1 - \alpha$$

d) Cálculos:

$$P\left[1.52742073 - 2.776 \frac{0.5421459}{2.23606798} \leq \mu \leq 1.52742073 + 2.776 \frac{0.5421459}{2.23606798}\right] = 0.95$$

$$P[1.46011 \text{ gr/cm}^2 \leq \mu \leq 1.5947 \text{ gr/cm}^2] = 0.95$$

e) **Decisión:** los valores aceptables de la Norma Técnica Peruana 399.602 están contenidos en el intervalo [1.3 gr/cm<sup>2</sup> a 2.0 gr/cm<sup>2</sup>], en la investigación se determinó valores [1,460 gr/cm<sup>2</sup>, 1,595 gr/cm<sup>2</sup>], resultado que está contenido en la norma técnica, por tanto, se rechaza la hipótesis nula.

f) **Conclusión:** La adición de material reciclado PET triturado en 0%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física densidad si cumple con los valores aceptables [1.3 gr/cm<sup>2</sup> a 2.0 gr/cm<sup>2</sup>] de la Norma Técnica Peruana 399.602.

#### 4.5.1.2. Densidad con adición de 10% de PET.

a) Formulación de hipótesis:

**Hipótesis alterativa:** La adición de material reciclado PET triturado en 10%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física densidad si cumple con los valores aceptables [1.3 gr/cm<sup>2</sup> a 2.0 gr/cm<sup>2</sup>] de la Norma Técnica Peruana 399.602.

**Hipótesis nula:** La adición de material reciclado PET triturado en 10%, en la mezcla de mortero para elaboración

de ladrillo la propiedad física densidad no cumple con los valores aceptables [1.3 gr/cm<sup>2</sup> a 2.0 gr/cm<sup>2</sup>] de la Norma Técnica Peruana 399.602.

b) **Nivel de significación:**  $\alpha=0.05=5\%$

c) Estadística de prueba: se utiliza el intervalo de confianza

$$P\left[\bar{X} - t_0 \frac{\hat{S}}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + t_0 \frac{\hat{S}}{\sqrt{n}}\right] = 1 - \alpha$$

d) Cálculos:

$$P\left[1.709167 - 2.776 \frac{0.0465958}{2.23606798} \leq \mu \leq 1.709167 + 2.776 \frac{0.0465958}{2.23606798}\right] = 0.95$$

$$P[1.651 \text{ gr/cm}^2 \leq \mu \leq 1.767 \text{ gr/cm}^2] = 0.95$$

e) **Decisión:** los valores aceptables de la Norma Técnica Peruana 399.602, están contenidos en el intervalo [1.3 gr/cm<sup>2</sup> a 2.0 gr/cm<sup>2</sup>], en la investigación se determinó valores [1,651gr/cm<sup>2</sup>, 1,767gr/cm<sup>2</sup>], resultado que está contenido en la norma técnica, por tanto, se rechaza la hipótesis nula.

f) **Conclusión:** La adición de material reciclado PET triturado en 10%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física densidad si cumple con los valores aceptables [1.3 gr/cm<sup>2</sup> a 2.0 gr/cm<sup>2</sup>] de la Norma Técnica Peruana 399.602.

#### 4.5.1.3. Densidad con adición de 15% de PET.

a) Formulación de hipótesis:

**Hipótesis alterativa:** La adición de material reciclado PET triturado en 15%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física densidad si cumple con los valores aceptables [1.3 gr/cm<sup>2</sup> a 2.0 gr/cm<sup>2</sup>] de la Norma Técnica Peruana 399.602.

**Hipótesis nula:** La adición de material reciclado PET triturado en 15%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física densidad no cumple con los valores aceptables [1.3 gr/cm<sup>2</sup> a 2.0 gr/cm<sup>2</sup>] de la Norma Técnica Peruana 399.602.

b) **Nivel de significación:**  $\alpha=0.05=5\%$

c) Estadística de prueba: se utiliza el intervalo de confianza

$$P\left[\bar{X} - t_0 \frac{\hat{S}}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + t_0 \frac{\hat{S}}{\sqrt{n}}\right] = 1 - \alpha$$

d) Cálculos:

$$P\left[1.6771 - 2.776 \frac{0.15896}{\sqrt{5}} \leq \mu \leq 1.6771 + 2.776 \frac{0.15896}{\sqrt{5}}\right] = 0.95$$

$$P[1.4798 \text{ gr/cm}^2 \leq \mu \leq 1.8744 \text{ gr/cm}^2] = 0.95$$

e) **Decisión:** los valores aceptables de la Norma Técnica Peruana 399.602, están contenidos en el intervalo [1.3 gr/cm<sup>2</sup> a 2.0 gr/cm<sup>2</sup>], en la investigación se determinó valores [1,4798gr/cm<sup>2</sup>, 1,8744gr/cm<sup>2</sup>], resultado que está contenido en la norma técnica, por tanto, se rechaza la hipótesis nula.

f) **Conclusión:** La adición de material reciclado PET triturado en 15%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física densidad si cumple con los valores aceptables [1.3 gr/cm<sup>2</sup> a 2.0 gr/cm<sup>2</sup>] de la Norma Técnica Peruana 399.602.

4.5.1.4. Densidad con adición de 20% de PET.

a) Formulación de hipótesis:

**Hipótesis alterativa:** La adición de material reciclado PET triturado en 20%, en la mezcla de mortero para elaboración

de ladrillo la propiedad física densidad si cumple con los valores aceptables [1.3 gr/cm<sup>2</sup> a 2.0 gr/cm<sup>2</sup>] de la Norma Técnica Peruana 399.602.

**Hipótesis nula:** La adición de material reciclado PET triturado en 20%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física densidad no cumple con los valores aceptables [1.3 gr/cm<sup>2</sup> a 2.0 gr/cm<sup>2</sup>] de la Norma Técnica Peruana 399.602.

b) **Nivel de significación:**  $\alpha=0.05=5\%$

c) Estadística de prueba: se utiliza el intervalo de confianza

$$P\left[\bar{X} - t_0 \frac{\hat{S}}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + t_0 \frac{\hat{S}}{\sqrt{n}}\right] = 1 - \alpha$$

d) Cálculos:

$$P\left[1.2499 - 2.776 \frac{0.14326}{\sqrt{5}} \leq \mu \leq 1.6771 + 2.776 \frac{0.14326}{\sqrt{5}}\right] = 0.95$$

$$P[1.072 \text{ gr/cm}^2 \leq \mu \leq 1.4278 \text{ gr/cm}^2] = 0.95$$

e) **Decisión:** los valores aceptables de la Norma Técnica Peruana 399.602, están contenidos en el intervalo [1.3 gr/cm<sup>2</sup> a 2.0 gr/cm<sup>2</sup>], en la investigación se determinó valores [1,072gr/cm<sup>2</sup>, 1,4278gr/cm<sup>2</sup>], resultado que no está contenido en la norma técnica, por tanto, se rechaza la hipótesis nula.

f) **Conclusión:** La adición de material reciclado PET triturado en 20%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física densidad no cumple con los valores aceptables [1.3 gr/cm<sup>2</sup> a 2.0 gr/cm<sup>2</sup>] de la Norma Técnica Peruana 399.602.

#### 4.5.2. Análisis para la absorción en %

La absorción Según “Norma Técnica Peruana 399.602.”, se considera como menor del 12%

##### 4.5.2.1. Análisis PET al 0%

a) Formulación de hipótesis:

###### **Hipótesis Nula:**

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_{\text{ absorción}} < 12\%$ : La adición de material reciclado PET triturado en 0%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física absorción cumple con los valores aceptables menores del 12% de la Norma Técnica Peruana 399.602.

###### **Hipótesis alternativa:**

**H<sub>a</sub>:**  $\mu_{\text{ absorción}} > 12\%$ :

La adición de material reciclado PET triturado en 0%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física absorción no cumple con los valores aceptables menores del 12% de la Norma Técnica Peruana 399.602

b) **Nivel de significación:**  $\alpha=0.05=5\%$

c) Estadística de prueba: se utiliza T de student.

$$te = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{\hat{S}}$$

d) Cálculos:

$$te = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{\hat{S}}$$

$$te = \frac{(18.6723 - 12)\sqrt{5}}{1.5051} = 9.913$$

e) **Decisión:**  $t_e < t_0$ , se acepta la hipótesis nula caso contrario se rechaza:

En el estudio ( $t_e=9.913 > 2.132$ ), se rechaza la hipótesis nula

f) **Conclusión:** La adición de material reciclado PET triturado en 0%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física absorción no cumple con los valores aceptables menores del 12% de la Norma Técnica Peruana 399.602, en el estudio es mayor del 12%.

#### 4.5.2.2. Análisis PET al 10%

a) Formulación de hipótesis:

**Hipótesis Nula:**

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_{\text{absorción}} < 12\%$ : La adición de material reciclado PET triturado en 10%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física absorción cumple con los valores aceptables menores del 12% de la Norma Técnica Peruana 399.602.

**Hipótesis alternativa:**

**H<sub>a</sub>:**  $\mu_{\text{absorción}} > 12\%$ :

La adición de material reciclado PET triturado en 10%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física absorción no cumple con los valores aceptables menores del 12% de la Norma Técnica Peruana 399.602

b) **Nivel de significación:**  $\alpha=0.05=5\%$

c) Estadística de prueba: se utiliza T de student.

$$t_e = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{\hat{S}}$$

d) Cálculos:

$$t_e = \frac{(14.6017 - 12)\sqrt{5}}{1.4916} = 3.882$$

$$t_{0.95(4)} = 2.132.$$

e) **Decisión:**  $t_e < t_0$ , se acepta la hipótesis nula caso contrario se rechaza:

En el estudio, ( $t_e=3.882 > t_0=2.132$ ), se rechaza la hipótesis nula

f) **Conclusión:** La adición de material reciclado PET triturado en 10%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física absorción no cumple con los valores aceptables menores del 12% de la Norma Técnica Peruana 399.602. En el estudio se determinó valor mayor del 12%

#### 4.5.2.3. Análisis PET al 15%

a) Formulación de hipótesis:

**Hipótesis Nula:**

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_{\text{absorción}} < 12\%$ : La adición de material reciclado PET triturado en 15%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física absorción cumple con los valores aceptables menores del 12% de la Norma Técnica Peruana 399.602.

**Hipótesis alternativa:**

**H<sub>a</sub>:**  $\mu_{\text{absorción}} > 12\%$ :

La adición de material reciclado PET triturado en 15%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física absorción no cumple con los valores aceptables menores del 12% de la Norma Técnica Peruana 399.602.

b) **Nivel de significación:**  $\alpha=0.05=5\%$



c) Estadística de prueba: se utiliza T de student.

$$te = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{\hat{S}}$$

d) Cálculos:

$$te = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{\hat{S}}$$

$$te = \frac{(22.8247 - 12)\sqrt{5}}{5.3265} = 4.544$$

$$t_{0.95(4)} = 2.132.$$

e) **Decisión:**  $t_e < t_0$ , se acepta la hipótesis nula caso contrario se rechaza:

En el estudio, ( $t_e=4.544 > t_0=2.132$ ), se rechaza la hipótesis nula

f) **Conclusión:** La adición de material reciclado PET triturado en 15%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física absorción no cumple con los valores aceptables menores del 12% de la Norma Técnica Peruana 399.602. En el estudio se determinó valor mayor del 12%.

#### 4.5.2.4. Análisis PET al 20%

a) Formulación de hipótesis:

**Hipótesis Nula:**

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_{\text{absorción}} < 12\%$ : La adición de material reciclado PET triturado en 20%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física absorción cumple con los valores aceptables menores del 12% de la Norma Técnica Peruana 399.602.

**Hipótesis alternativa:**

**H<sub>a</sub>:**  $\mu_{\text{ absorción }} > 12\%$ :

La adición de material reciclado PET triturado en 20%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física absorción no cumple con los valores aceptables menores del 12% de la Norma Técnica Peruana 399.602

b) **Nivel de significación:**  $\alpha=0.05=5\%$

c) Estadística de prueba: se utiliza T de student.

$$te = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{\hat{S}}$$

d) Cálculos:

$$te = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{\hat{S}}$$

$$te = \frac{(34.8014 - 12)\sqrt{5}}{9.2531} = 5.510$$

$$t_{0.95(4)} = 2.132.$$

e) **Decisión:**  $t_e < t_0$ , se acepta la hipótesis nula caso contrario se rechaza:

En el estudio, ( $t_e=5.510 > t_0=2.132$ ), se rechaza la hipótesis nula

f) **Conclusión:** La adición de material reciclado PET triturado en 20%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física absorción no cumple con los valores aceptables menores del 12% de la Norma Técnica

Peruana 399.602. En el estudio se determinó valor mayor del 12%.

### **Conclusión general de absorción**

La adición de material reciclado PET triturado en porcentajes de 0%,10%, 15% y 20%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física absorción no cumple con los valores aceptables menores del 12% de la Norma Técnica Peruana 399.602.

#### 4.5.3. Análisis de la resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión, Según “Norma Técnica Peruana 399.602.”,  $\mu \geq 50 \text{ kg/cm}^2$

##### 4.5.3.1. Análisis PET al 0%

a) Formulación de hipótesis:

###### **Hipótesis Nula:**

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_{\text{resistencia}} < 50 \text{ kg/cm}^2$ : La adición de material reciclado PET triturado en 0%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física resistencia a la compresión no cumple con los valores aceptables mayor de  $50 \text{ kg/cm}^2$  de la Norma Técnica Peruana 399.602.

###### **Hipótesis alternativa:**

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_{\text{resistencia}} \geq 50 \text{ kg/cm}^2$ : La adición de material reciclado PET triturado en 0%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física resistencia a la compresión si cumple con los valores aceptables mayor de  $50 \text{ kg/cm}^2$  de la Norma Técnica Peruana 399.602.

b) **Nivel de significación:**  $\alpha=0.05=5\%$

c) Estadística de prueba: se utiliza T de student.

$$te = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{\hat{S}}$$

d) Cálculos:

$$te = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{\hat{S}}$$

$$te = \frac{(59.257 - 50)\sqrt{10}}{8.67607316} = 3.3740$$

$$t_{0.95(9)} = 1.833.$$

e) **Decisión:**  $t_e < t_0$ , se acepta la hipótesis nula caso contrario se rechaza:

En el estudio, ( $t_e = 3.374 > t_0 = 1.833$ ), se rechaza la hipótesis nula

f) **Conclusión:** La adición de material reciclado PET triturado en 0%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física resistencia a la compresión si cumple con los valores aceptables mayor de 50 kg/cm<sup>2</sup> de la Norma Técnica Peruana 399.602.

#### 4.5.3.2. Análisis PET al 10%

Según "Norma Técnica Peruana 399.602.",  $\mu \geq 50$  kg/cm<sup>2</sup>

a) Formulación de hipótesis:

**Hipótesis Nula:**

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_{\text{resistencia}} < 50$  kg/cm<sup>2</sup>: La adición de material reciclado PET triturado en 10%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física resistencia a la

compresión no cumple con los valores aceptables mayor de 50 kg/cm<sup>2</sup> de la Norma Técnica Peruana 399.602.

**Hipótesis alternativa:**

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_{\text{resistencia}} \geq 50 \text{ kg/cm}^2$ : La adición de material reciclado PET triturado en 10%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física resistencia a la compresión si cumple con los valores aceptables mayor de 50 kg/cm<sup>2</sup> de la Norma Técnica Peruana 399.602.

- b) **Nivel de significación:**  $\alpha=0.05=5\%$
- c) Estadística de prueba: se utiliza T de student.

$$te = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{\hat{S}}$$

- d) Cálculos:

$$te = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{\hat{S}}$$

$$te = \frac{(36.273 - 50)\sqrt{10}}{8.08694153} = -5.368$$

$$t_{0.95(9)} = 1.833.$$

- e) **Decisión:**  $t_e < t_0$ , se acepta la hipótesis nula caso contrario se rechaza:

En el estudio, ( $t_e = -5.368 < t_0 = 1.833$ ), se acepta la hipótesis nula

- f) **Conclusión:** La adición de material reciclado PET triturado en 10%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física resistencia a la compresión no

cumple con los valores aceptables mayor de 50 kg/cm<sup>2</sup> de la Norma Técnica Peruana 399.602.

#### 4.5.3.3. Análisis PET al 15%

Según “Norma Técnica Peruana 399.602.”,  $\mu \geq 50 \text{ kg/cm}^2$

a) Formulación de hipótesis:

**Hipótesis Nula:**

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_{\text{resistencia}} < 50 \text{ kg/cm}^2$ : La adición de material reciclado PET triturado en 15%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física resistencia a la compresión no cumple con los valores aceptables mayor de 50 kg/cm<sup>2</sup> de la Norma Técnica Peruana 399.602.

**Hipótesis alternativa:**

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_{\text{resistencia}} \geq 50 \text{ kg/cm}^2$ : La adición de material reciclado PET triturado en 15%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física resistencia a la compresión si cumple con los valores aceptables mayor de 50 kg/cm<sup>2</sup> de la Norma Técnica Peruana 399.602.

b) **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05 = 5\%$

c) Estadística de prueba: se utiliza T de student.

$$te = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{\hat{S}}$$

d) Cálculos:

$$te = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{\hat{S}}$$

$$t_e = \frac{(21.25 - 50)\sqrt{10}}{2.23240777} = -40.725$$

$$t_{0.95(9)} = 1.833.$$

e) **Decisión:**  $t_e < t_0$ , se acepta la hipótesis nula caso contrario se rechaza:

En el estudio, ( $t_e = -40.725 < t_0 = 1.833$ ), se acepta la hipótesis nula.

f) **Conclusión:** La adición de material reciclado PET triturado en 15%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física resistencia a la compresión no cumple con los valores aceptables mayor de 50 kg/cm<sup>2</sup> de la Norma Técnica Peruana 399.602.

#### 4.5.3.4. Análisis PET al 20%

Según "Norma Técnica Peruana 399.602.",  $\mu \geq 50$  kg/cm<sup>2</sup>

a) Formulación de hipótesis:

**Hipótesis Nula:**

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_{\text{resistencia}} < 50$  kg/cm<sup>2</sup>: La adición de material reciclado PET triturado en 20%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física resistencia a la compresión no cumple con los valores aceptables mayor de 50 kg/cm<sup>2</sup> de la Norma Técnica Peruana 399.602.

**Hipótesis alternativa:**

**H<sub>a</sub>:**  $\mu_{\text{resistencia}} \geq 50$  kg/cm<sup>2</sup>: La adición de material reciclado PET triturado en 20%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física resistencia a la compresión si cumple con los valores aceptables mayor de 50 kg/cm<sup>2</sup> de la Norma Técnica Peruana 399.602.

b) **Nivel de significación:**  $\alpha = 0.05 = 5\%$

c) Estadística de prueba: se utiliza T de student.

$$te = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{\hat{S}}$$

d) Cálculos:

$$te = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{\hat{S}}$$

$$te = \frac{(6.397 - 50)\sqrt{10}}{1.53548436} = -89.799$$

$$t_{0.95(9)} = 1.833.$$

e) **Decisión:**  $t_e < t_0$ , se acepta la hipótesis nula caso contrario se rechaza:

En el estudio, ( $t_e = -89.799 < t_0 = 1.833$ ), se acepta la hipótesis nula

f) **Conclusión:** La adición de material reciclado PET triturado en 20%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo la propiedad física resistencia a la compresión no cumple con los valores aceptables mayor de 50 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.6. Análisis de precio unitario del ladrillo King Koncreto con adición PET al 0%, 10%, 15% y 20%

En base a los diseños de mezcla presentados durante la investigación, se ha elaborado el análisis del precio unitario por cada millar de ladrillo King Koncreto, obteniendo finalmente el precio por unidad de ladrillo, mediante las siguientes tablas:



Tabla 36: APU por cada millar de ladrillos tipo King Koncreto Sin adición de PET triturado

Partida	Ladrillo de mortero Sin Adición de PET		Costo unitario directo por : millar		1,683.17	
Rendimiento	MO. 3.0000	EQ. 3.0000				
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
<b>Mano de Obra</b>						
0147010001	CAPATAZ	h-h	0.2000	0.5333	31.46	16.78
0147010002	OPERARIO	h-h	1.0000	2.6667	26.22	69.92
0147010003	OFICIAL	h-h	1.0000	2.6667	20.60	54.93
0147010004	PEON	h-h	10.0000	26.6667	18.65	497.33
0147000020	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	h-h	2.0000	5.3333	27.35	145.87
						<b>784.83</b>
<b>Materiales</b>						
0221000001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)	bis		26.1438	30.00	784.31
0239050000	AGUA	m3		0.5667	5.00	2.83
0205010002	ARENA FINA	m3		2.2278	33.00	73.52
205010008	GASOLINA 84 OCTANOS	Gln		0.8333	15.90	13.25
205010009	ACEITE PARA MOTOR SAE - 30	Gln		0.0276	32.00	0.89
						<b>874.80</b>
<b>Equipos</b>						
0337010004	HERRAMIENTAS MANUALES, EPP E IMPLEMENTO(N)MO			3.0000	784.83	23.54
337010006	MOLDE 20CM X 10 CM X 14 CM		0.2000	0.5333	25.00	0.13
337010005	MEZCLADORA CONCRETO TAMBOR 18HP 11P3	hm	2.0000	5.3333	10.00	0.53
						<b>23.54</b>

Tabla 37: APU por cada millar de ladrillos tipo King Koncreto con adición de 10% de PET triturado

Partida	Ladrillo de Mortero con Adición del 15% de PET			Costo unitario directo por : und		2,349.34	
Rendimiento	MO: 3.0000	EQ: 3.0000					
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0147010001	CAPATAZ	h-h	0.2000	0.5333	31.46	16.78	
0147010002	OPERARIO	h-h	1.0000	2.6667	26.22	69.92	
0147010003	OFICIAL	h-h	1.0000	2.6667	20.60	54.83	
0147010004	PEON	h-h	10.0000	26.6667	18.65	497.33	
0147000020	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	h-h	2.0000	5.3333	27.35	145.87	
							<b>784.83</b>
<b>Materiales</b>							
205010007	PET TRITURADO	KG		192.3333	3.00	577.00	
0221000001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)	bs		28.6600	30.00	859.80	
0239050000	AGUA	m3		7.4050	5.00	37.03	
0205010002	ARENA FINA	m3		1.6062	33.00	53.00	
205010008	GASOLINA 84 OCTANOS	Gln		0.8333	15.90	13.25	
205010009	ACEITE PARA MOTOR SAE - 30	Gln		0.0278	32.00	0.89	
							<b>1,546.97</b>
<b>Equipos</b>							
0337010004	HERRAMIENTAS MANUALES, EPP E IMPLEMENTO %MO			3.0000	784.83	23.54	
337010006	MOLDE 20CM X 10 CM X 14 CM		0.2000	0.5333	25.00	0.13	
337010005	MEZCLADORA CONCRETO TAMBOR 18HP 11P3	hm	2.0000	5.3333	10.00	0.53	
							<b>23.54</b>

Tabla 38: APU por cada millar de ladrillos tipo King Koncreto con adición de 15% de PET triturado

Partida	Ladrillo de Mortero con Adición del 15% de PET			Costo unitario directo por : millar		2,601.59	
Rendimiento	MO: 3.0000	EQ: 3.0000					
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0147010001	CAPATAZ	h-h	0.2000	0.5333	31.46	16.78	
0147010002	OPERARIO	h-h	1.0000	2.6667	26.22	69.92	
0147010003	OFICIAL	h-h	1.0000	2.6667	20.60	54.93	
0147010004	PEON	h-h	10.0000	26.6667	18.65	497.33	
0147000020	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	h-h	2.0000	5.3333	27.35	145.87	
							<b>784.83</b>
<b>Materiales</b>							
205010007	PET TRITURADO	KG		288.5000	3.00	865.50	
0221000001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)	bs		28.6601	30.80	882.80	
0239050000	AGUA	m3		0.7437	5.00	3.72	
0205010002	ARENA FINA	m3		1.5170	33.00	50.06	
205010008	GASOLINA 84 OCTANOS	Gln		0.8333	15.90	13.25	
205010009	ACEITE PARA MOTOR SAE - 30	Gln		0.0278	32.00	0.89	
							<b>1,793.22</b>
<b>Equipos</b>							
0337010004	HERRAMIENTAS MANUALES, EPP E IMPLEMENTO %MO			3.0000	784.83	23.54	
337010006	MOLDE 20CM X 10 CM X 14 CM		0.2000	0.5333	25.00	0.13	
337010005	MEZCLADORA CONCRETO TAMBOR 18HP 11P3	hm	2.0000	5.3333	10.00	0.53	
							<b>23.54</b>

Tabla 39: APU por cada millar de ladrillos tipo King Koncreto con adición de 20% de PET triturado

Partida	Ladrillo de Mortero con Adición del 20% de PET		Costo unitario directo por : und		2,887.27	
Rendimiento	MO: 3.0000	EQ: 3.0000	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Código	Descripción Recurso	Unidad				
<b>Mano de Obra</b>						
0147010001	CAPATAZ	h-h	0.2000	0.5333	31.46	16.78
0147010002	OPERARIO	h-h	1.0000	2.6667	26.22	69.92
0147010003	OFICIAL	h-h	1.0000	2.6667	20.60	54.93
0147010004	PEON	h-h	10.0000	26.6667	18.65	497.33
01470100020	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	h-h	2.0000	5.3333	27.35	145.87
						<b>784.83</b>
<b>Materiales</b>						
205010007	PET TRITURADO	KG		384.7222	3.00	1,154.17
0221000001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)	bte		28.6583	30.00	859.75
0239050000	AGUA	m <sup>3</sup>		0.7469	5.00	3.73
0205010002	ARENA FINA	m <sup>3</sup>		1.4277	33.00	47.11
205010008	GASOLINA 84 OCTANOS	lit		0.8333	15.90	13.25
205010009	ACEITE PARA MOTOR SAE - 30	lit		0.0278	32.00	0.89
						<b>2,078.90</b>
<b>Equipos</b>						
0337010004	HERRAMIENTAS MANUALES, EPP E IMPLEMENTO %MO			3.0000	784.83	23.54
337010006	MOLDE 20CM X 10 CM X 14 CM		0.2500	0.5333	25.00	0.13
337010005	MEZCLADORA CONCRETO TAMBOR 18HP 11P3	hm	2.0000	5.3333	10.00	0.53
						<b>23.54</b>

Tabla 40: Precio por unidad de ladrillo King Koncreto según el tipo de Diseño

TIPO DE DISEÑO	PRECIO UNITARIO DE LADRILLO
SIN PET	1.68317
10% PET	2.34934
15% PET	2.60159
20% PET	2.88727

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en el capítulo anterior, sobre los diseños de mezclas ensayados, los cuales consideran la adición de material PET triturado en 0%, 10%, 15% y 20%, muestran con un 95% de confiabilidad que ha existido una gran variación respecto a los valores esperados, los cuales se encuentran definidos en la Norma Técnica Peruana 399.602.

En base a los diseños de mezcla estudiados, los cuales consideran la adición de material PET triturado en 0%, 10%, 15% y 20%, se ha evaluado siguientes propiedades físicas: Consistencia, densidad, absorción y alabeo.

Mientras que propiedades como la consistencia, que obtuvo valores menores a 1" (2,54 cm) de asentamiento (0.60 cm, 1.1. cm, 1.2 cm y 1.5 cm respectivamente) y el alabeo, con valores menores a 3 mm, en concavidad y convexidad de las caras mayores; se encuentran dentro de los parámetros señalados en la NTP 399.602, propiedades como la densidad sólo se encuentran dentro de los parámetros establecidos siempre y cuando la adición del material PET sea menor o igual a 15%. En el otro extremo, la propiedad de densidad para todos los diseños presentados ha tenido como resultado valores superiores a 14.60% (absorción promedio para el diseño con 10 % de adición de PET), los cuales, al ser mayores del 12%, no cumplen con los valores establecidos en la norma.

La propiedad mecánica evaluada en los cuatro diseños de mezcla, considero como valor mínimo admisible 50 kg/cm<sup>2</sup>, en base a lo indicado en la Norma Técnica E-070 Albañilería, del Reglamento Nacional de Edificaciones, para ladrillos elaborados de concreto, obteniendo como resultado, que el ladrillo tipo King concreto sin adición de material PET, cumplía con la resistencia mínima requerida para su uso con fines estructurales, mientras que los ladrillos con adición de material PET triturado al 10%, 15% y 20% no cumplen con la resistencia mínima requerida, por lo que su uso con fines estructurales no es adecuado.

En comparación a los resultados obtenidos en el presente estudio, Angumba en el 2016, en su tesis de maestría "Ladrillos elaborados con plástico reciclado (PET), para mampostería no portante" quien considero dimensiones similares para ladrillos de concreto con adición PET (20 x 10 x 6 cm) y adiciones PET al 10%, 25%, 40%, 55%, 65% y 70% en sustitución del árido, obtuvo como resultados que al reemplazar el polímero por el árido fino en especial en las dosificaciones 10%, 25% y 40% las mezclas de los materiales tienen mayor manejabilidad, en comparación con los otros diseños, los cuales presentan mayor esponjamiento, así mismo, el esponjamiento produce un alivianamiento significativo, y una considerable reducción de carga muerta a las diferentes edificaciones. En cuanto a

las propiedades mecánicas de los ladrillos se pudo observar que a medida que se incrementa la adición del polímero, se reduce considerablemente la resistencia de ladrillos patrón, es decir, la adición del PET tiene considerable éxito, pero hasta ciertos niveles de incremento de la adición, lo que se evidencia principalmente en la dosificación del 25%, que alcanza un valor promedio de 284,60 kg/cm<sup>2</sup>. El comportamiento de las propiedades físicas de los ladrillos en ambos estudios es similar, sin embargo se muestra una gran diferencia en cuanto a las propiedades mecánicas obtenidas; al comparar ambos diseños de mezcla donde se consideran proporciones de material PET similares, la diferencia entre estos consiste en la presencia de material pétreo, agregado grueso, así mismo, se debe considerar que el agregado fino utilizado en ambos diseños puede tener módulos de fineza diferentes, siendo estos materiales los que están influyendo en la diferencia de los resultados.

Bajo el mismo criterio se comparó los resultados obtenidos en el presente estudio con los obtenidos por Echeverría en el 2017, el cual consideró ladrillos de dimensiones 22cm x 13 cm x 9 cm, a los cuales se adiciono el material PET reciclado y triturado en porcentajes de 0%, 3%, 6% y 9%. Al estudiar la variación de las propiedades físicas de los tres tipos de ladrillo de concreto - PET (3%, 6%, 9% PET) con el ladrillo patrón 0% PET, obtuvo como resultado que la variación dimensional, contenido de humedad, porcentaje de vacíos y alabeo no varía sustancialmente, mientras que la succión y absorción de los ladrillos aumentan a medida que se incluye el PET en la mezcla, atribuyendo este comportamiento a la geometría de las hojuelas de PET reciclado; así mismo, el peso unitario ha disminuido un máximo de 14% comparado con el ladrillo patrón (0% PET). En cuanto a las propiedades mecánicas, los resultados muestran que la resistencia a compresión de los tres tipos de ladrillo de concreto – PET son  $f'b = 127.08$  kg/cm<sup>2</sup>,  $f'b = 118.80$  y  $f'b = 110.46$  kg/cm<sup>2</sup> para porcentajes de 3%, 6% y 9%, y presentan una disminución máxima de la resistencia a compresión de 51.5kg/cm<sup>2</sup> o 31.8%, respecto del ladrillo patrón (0% PET)  $f'b = 161.96$  kg/cm<sup>2</sup>. Comparando los resultados obtenidos el antecedente y el estudio realizado en el presente informe se aprecia que las propiedades físicas presentan cambios similares, como

reducción del peso unitario e incremento de la absorción, sin embargo, las propiedades mecánicas obtenidas son considerablemente menores.

Teniendo en consideración que, en todos los estudios presentados como antecedentes, el incremento de adición de material PET reduce la resistencia a la compresión del concreto; al comparar los porcentajes de adición de este material, los resultados muestran que el diseño que consideró a la adición de PET al 25% alcanzó un valor promedio de 284,60 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que en un diseño que consideró a la adición de PET al 9% obtuvo una resistencia  $f'_b = 110.46$  kg/cm<sup>2</sup>. De esto se puede inferir que la diferencia en las resistencias obtenidas es causada por la presencia del agregado grueso en el diseño de mezcla, la proporción utilizada de cada agregado y el módulo de fineza de los mismos.

## **5.2. Conclusiones**

La adición de material reciclado PET triturado si influye significativamente las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo King Konkreto definidas en la Norma Técnica Peruana 399.602. Las propiedades físicas solamente cumplen con los parámetros establecidos en la norma, cuando la adición es menor o igual al 15%, en el caso de la densidad; mientras en casos como la absorción, las probetas ensayadas demuestran que esta se encuentra fuera de los parámetros establecidos por la norma. las propiedades mecánicas se degradan y no cumplen con la resistencia mínima indicada en la norma; con lo cual ha quedado aceptada la hipótesis.

Al evaluar las propiedades físicas de los ladrillos King concreto con adición de material reciclado PET triturado en 0% (sin PET), 10%, 15% y 20%, se llega a la conclusión de que la adición de este material si altera significativamente las propiedades físicas definidas en la Norma Técnica Peruana 399.602, ya que en casos como la absorción, los valores obtenidos no se encuentran dentro del parámetro establecido en la norma; sin embargo Las propiedades físicas del Ladrillo King Konkreto como la densidad, se ha verificado que sólo cumplen los diseños que consideran adición de material PET triturado menor o igual al 15%. Con que queda aceptada la hipótesis H1.

Así mismo, de los resultados obtenidos se ha demostrado que la adición de material reciclado PET triturado en 10%, 15% y 20%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo alteran significativamente las propiedades mecánicas definidas en la Norma Técnica Peruana 399.602, ya que al comparar la resistencia a la compresión obtenida al ensayar el ladrillo de mortero sin adición de material PET triturado, este si cumple con lo señalado en la NTP E-070 Albañilería, mientras que los diseños que incluían el material PET triturado muestran valores por debajo la norma. En ese sentido la hipótesis específica H2 queda aceptada.

De lo indicado en la prueba de hipótesis, se concluye que al 95% de confianza, las propiedades físicas como la densidad sólo cumplen con los parámetros establecidos siempre y cuando la adición del material PET sea menor o igual a 15%, mientras que la absorción de los diseños ensayados no cumple con los valores establecidos en la norma. En cuanto a las propiedades mecánicas, los diseños ensayados con adición de material PET triturado al 10%, 15% y 20%, no cumplen con la resistencia mínima requerida para su uso con fines estructurales; sin embargo, pueden ser utilizados en muros de tabiquería.

El costo de producción de los ladrillos tipo King concreto con adición de PET, en porcentajes de 10%, 15% y 20%, fluctúan entre S/. 2.34 (dos soles y 34/100 soles) y S/.2.88 (dos soles y 88/100 soles); considerando que el material PET triturado se compra a granel en las empresas recicladoras y que la poca demanda de este material incrementa su precio; en contraste con el precio de producción de un ladrillo sin adición PET, S/ 1.68 (uno y 68/100 soles), se puede concluir que la inserción de este material al mercado, si bien no es rentable actualmente, generaría un incremento en la demanda de material PET reciclado y triturado, teniendo un impacto positivo en la reducción de la contaminación del medio ambiente, el precio del material PET como insumo y a largo plazo una reducción en los costos de producción de los ladrillos King Koncreto con adición PET.

Considerando sólo la producción de ladrillo King concreto con adición del 10%, para el mercado local y que es viable fabricar 3000 ladrillos al día, el análisis de precios unitarios indica que se utilizaría 192.33 kg de material PET, lo que es equivalente a 5770 botellas de agua de 600 ml aproximadamente, lo que se reflejaría en la reducción de 60 toneladas de material PET contaminante en el medio ambiente o 1.8 millones de botellas descartables aproximadamente.

### **5.3. Recomendaciones**

Se recomienda:

Para los diseños de mezcla para elaboración de unidades de albañilería de mortero hidráulico, evaluar la calidad del agregado a utilizarse para los diseños de mezcla, ya que estos pueden influir de manera negativa en la resistencia final deseada y en el tipo de uso de la unidad de albañilería.

Así mismo, para unidades de albañilería con adición PET, en base a los resultados obtenidos, utilizar diseños de mezcla que consideren valores menores a los utilizados en el presente estudio, tomando como rango referencial adiciones entre 2% y 8%, y evaluar el uso de aditivos para incrementar la resistencia de las unidades de albañilería, sin incrementar su peso unitario y mejorar la calidad del producto final.

En investigaciones futuras que se debe incluir el uso de agregado grueso en los diseños de mezcla para unidades de albañilería con y sin adición de material PET, los cuales deben de encontrarse en el Huso N° 67 como máximo.

A fin de insertar el nuevo producto en el mercado local y nacional, se recomienda ampliar el estudio de mercado sobre el precio de los insumos, considerando otras regiones y/o ciudades y ampliando el público objetivo que puede tener acceso a esta nueva tecnología.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Angumba Aguilar, P. J. (2016). *Ladrillos elaborados con plástico reciclado (PET), para mampostería no portante*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Campos Barboza, K. L., Gomez Montalban, F. F., Montero Nuñez, M. A., Pantoja Guillen, F. E., & Pasco Soto, J. A. (2019). *Diseño del Proceso de Producción de Ladrillos Basados en Plástico Reciclado*. Piura, Perú: Universidad Nacional de Piura.
- Cevallos Beltrán, E. D., & Endara Moran, E. X. (2018). *Bases de diseño para la construcción sostenible con mampostería de ladrillo tipo PET, Tercera etapa*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI. (2002). *Unidades de Albañilería. Bloques de Concreto para uso estructural. NTP 399.602 (1° ed.)*. Lima.
- Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI. (2002). *Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de Albañilería. NTP 399.604 (1° ed.)*. Lima.
- Díaz Bardales, W. A. (2022). *Efectos de la Incorporación de PET reciclado en mezclas asfálticas en caliente para cargas de bajo tránsito en la ciudad de Iquitos - Perú, 2021*. Iquitos: Universidad Científica del Perú.
- Echeverría Garro, E. R. (2017). *Ladrillos de Concreto con plástico PET reciclado*. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Jara Herrera, C. (2015). *Diagnóstico de los Residuos Sólidos Plásticos Municipales Generados en la Ciudad de Iquitos y Propuesta de Alternativas de Solución*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Léctor Lafitte, M. A., & Villarreal Brragán, E. J. (2017). *Utilización de Materiales Plásticos de Reciclaje como Adición en la elaboración de Concreto en la Ciudad de Nuevo Chimbote*. Nuevo Chimbote, Perú: Universidad Nacional del Santa.

- Marron Asto, J. Y. (2020). *Evaluación de las Propiedades Físicas y MEcánicas de Ladrillos Artesanales en muros de Albañilería adicionando Tereftalato de Polietileno y Porcelanato*. Huancayo: Universidad Peruana Los Andes.
- Mendez Silva, E. A. (2012). *Propuesta para sustitución de agregados petreos por agregados PET, en diseño de mezcla de concreto con resistencia  $F'c=150$  kg/cm<sup>2</sup>, usado para banquetas, guarniciones y firmes*. Veracruz, México: Universidad Veracruzana.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). Norma Técnica E - 070 Albañilería. En C. y. Ministerio de Vivienda, *Reglamento Nacional de Edificaciones* (pág. 58). Lima.
- Paz Gonzales, E. E. (2014). *Análisis de la determinación de las propiedades físicos y mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín.
- Quevedo Haro, E. C. (2017). *Influencia de las Unidades de Albañilería Tipo PET sobre las características Técnicas y Económicas de viviendas Ecológicas para la zona de Expansión del Distrito Nuevo Chimbote Ancash*. Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa.

## **ANEXOS**

**ANEXO N° 01: Matriz de Consistencia**

**ANEXO N° 02: Panel Fotográfico**

## **ANEXO N° 01: Matriz De Consistencia**

**Título: “Influencia del Material PET en las Propiedades Físicas y Mecánicas del Ladrillo King Koncreto de Mortero Hidráulico, Iquitos – Perú 2021”.**

**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

Problema General	Objetivo General	Hipótesis general	Variables	Metodología de la investigación	Diseño de la investigación			
¿Cómo influye la incorporación del material PET reciclado y triturado en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de mortero hidráulico, Iquitos – Perú 2021?	Determinar la influencia de la incorporación del material PET reciclado y triturado en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de mortero hidráulico, Iquitos – Perú 2021	H: “La adición de material reciclado PET triturado en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo altera significativamente las propiedades físicas y mecánicas definidas en la Norma Técnica Peruana 399.602.”	<b>Variable Independiente:</b> X: Adición de porcentajes de material reciclado PET triturado en el mortero para elaboración de ladrillo	Descriptivo -Pre Experimental: porque los resultados obtenidos de los ensayos en el laboratorio, producto de la prueba y error, se describen de manera amplia	<b>Descriptivo. –</b> <table border="1" style="margin: 10px auto;"><tr><td>M</td><td>O</td></tr></table> <b>Donde:</b> M: Muestra con quien o en quien se va a realizar el estudio. O: Observación a la variable. Información relevante o de interés de la muestra	M	O	
M	O							
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis Específicas:</b>	<b>Variable Dependiente</b>		<b>Pre Experimental. –</b> <table border="1" style="margin: 10px auto;"><tr><td>G</td><td>X</td><td>O</td></tr></table> <b>Donde:</b> G: Grupo	G	X	O
G	X	O						
<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de mortero hidráulico?</li> <li>¿Cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de mortero hidráulico elaborado con incorporación de material PET al 0%, 10%, 15% y 20%?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudiar cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de mortero hidráulico.</li> <li>Estudiar cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de mortero hidráulico elaborado con incorporación de material PET al 0%, 10%, 15% y 20%.</li> </ul>	H1: “La adición de material reciclado PET triturado en 0%, 10%, 15% y 20%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo altera significativamente las propiedades físicas definidas en la Norma Técnica Peruana 399.602.”	<b>Variable Dependiente</b> Y: Propiedades físicas y mecánicas del ladrillo					

<p>¿Cómo es la variación de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de mortero hidráulico elaborado sin y con incorporación de material PET?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar Cómo es la variación de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de mortero hidráulico elaborado sin y con incorporación de material PET.</li> </ul>	<p>H2: “La adición de material reciclado PET triturado en 0%, 10%, 15% y 20%, en la mezcla de mortero para elaboración de ladrillo altera significativamente las propiedades mecánicas definidas en la Norma Técnica Peruana 399.602.”</p>			<p><b>X:</b> Experimento o tratamiento (V.I.)  <b>O:</b> Observación de resultados (V.D.)</p>
---	--	--	--	--	---

## **ANEXO N° 02: Panel Fotográfico**

**Anexo 05: PANEL FOTOGRÁFICO DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.**



**Foto 1: MATERIALES: ARENA, PET, AGUA Y CEMENTO.**



**Foto 2: NUMERO DE MALLAS PARA TAMIZADO.**





**Foto 3: ENSAYO DE GRANULOMETRIA DE LOS MATERIALES.**



**Foto 4: MEZCLADO DE LOS MATERIALES, UTILIZAMOS EL TROMPO.**



**Foto 5: RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LAS MUESTRAS.**



**Foto 6: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS MUESTRAS.**



Foto 7: PESADO DE LOS MATERIALES: CEMENTO, ARENA, AGUA Y PET.



Foto 8: PESADO DE LOS MATERIALES: CEMENTO, ARENA, AGUA Y PET.



**Foto 9: INICIO DEL MESCLADO DE LOS MATERIALES: CEMENTO, ARENA, AGUA Y PET DE FORMA MANUAL.**



**Foto 10: INICIO DEL MESCLADO DE LOS MATERIALES: CEMENTO, ARENA, AGUA Y PET DE FORMA MANUAL.**



**Foto 11: INICIO DEL MESCLADO DE LOS MATERIALES: CEMENTO, ARENA, AGUA Y PET DE FORMA MANUAL.**



**Foto 12: INICIO DEL MESCLADO DE LOS MATERIALES: CEMENTO, ARENA, AGUA Y PET DE FORMA MANUAL, TAL QUE LA MESCLA SEA HOMOGENEA.**



**Foto 13: LLEVADO DE LA MESCLA SEMISECA A LOS MOLDES.**



**Foto 14: RESULTADO DE LAS BLOQUETAS DE CONCRETO.**



**Foto 15: RESULTADO DE LAS BLOQUETAS DE CONCRETO.**



**Foto 16: RESULTADO DE LAS BLOQUETAS DE CONCRETO.**



**Foto 17: CURADO DE LAS BLOQUETAS DE CONCRETO EN UN RECIPIENTE CON AGUA POR UN PERIODO DE 28 DIAS.**





**Foto 18: CURADO DE LAS BLOQUETAS DE CONCRETO EN UN RECIPIENTE CON AGUA POR UN PERIODO DE 28 DIAS.**



**Foto 19: PESADO DE LAS BLOQUETAS DE CONCRETO DESPUES DEL CURADO DE 28 DIAS.**



**Foto 20: SECADO EN EL HORNO DE LAS BLOQUETAS DE CONCRETO.**



**Foto 21: ENSAYOS DE RUPTURAS PARA VER LAS RESISTENCIAS DE LAS BLOQUETAS DE CONCRETO.**



**Foto 22: ENSAYOS DE RUPTURAS PARA VER LAS RESISTENCIAS DE LAS BLOQUETAS DE CONCRETO**