

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

Proyecto De Investigación Previo A La Obtención Del Título De Ingeniero Civil

TRABAJO DE TITULACIÓN

**RESPUESTA MECÁNICA DE PAREDES NO ESTRUCTURALES FABRICADAS  
CON BLOQUES DE HORMIGÓN PREPARADOS CON MATERIAL RECICLADO  
(BOTELLAS PLÁSTICAS PET)**

**Autores:**

Andrea Fernanda Cerda Grefa

Kevin Santiago Constante López

**Tutor:**

Ing. Oscar Cevallos, PhD.

**Riobamba – Ecuador**

2020

I

## REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **“RESPUESTA MECÁNICA DE PAREDES NO ESTRUCTURALES FABRICADAS CON BLOQUES DE HORMIGÓN PREPARADOS CON MATERIAL RECICLADO (BOTELLAS PLÁSTICAS PET)”** presentado por **Andrea Fernanda Cerda Grefa** y **Kevin Santiago Constante López**, dirigido por: Ing. Oscar Cevallos, PhD. Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso de custodia en la biblioteca de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Oscar Cevallos, PhD.  
**Director del proyecto**



.....  
**Firma**

Ing. Jorge Nuñez, MSc.  
**Miembro del Tribunal**

.....  
**Firma**

Ing. Diego Barahona, MSc.  
**Miembro del Tribunal**

.....  
**Firma**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Ing. Oscar Cevallos, PhD**, en calidad de tutor de tesis titulada, “**RESPUESTA MECÁNICA DE PAREDES NO ESTRUCTURALES FABRICADAS CON BLOQUES DE HORMIGÓN PREPARADOS CON MATERIAL RECICLADO (BOTELLAS PLÁSTICAS PET)**”, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo a la Srta. **Andrea Fernanda Cerda Greff** y Sr. **Kevin Santiago Constante López** para que se presenten ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis

Atentamente,



.....  
Ing. Oscar Cevallos, PhD.  
**TUTOR DE TESIS**

## **DERECHOS DE AUTOR**

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación corresponde exclusivamente a: Andrea Fernanda Cerda Grefa y Kevin Santiago Constante López, así como al Ing. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez, PhD.; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



.....  
Andrea Fernanda Cerda Grefa  
**C.I. 150070084-2**



.....  
Kevin Santiago Constante López  
**C.I. 160051890-4**

## **AGRADECIMIENTO**

A quienes me han impulsado desde mi niñez, mi familia gracias por haber sido esa inspiración para no dejarme vencer en las tantas adversidades que tuve que atravesar durante esta etapa de mi vida, no hay palabras que describan lo agradecida que estoy por esa confianza depositada en mí, gracias Jessica, Blanquita, Julia, Mari, Naty, Jeff, Alexandra, Edgar, Eve por haber sido tan pacientes conmigo y a todos quienes conforman mi familia, cuñados Flavio, Guido, Stalin, mis sobrinitos amados y a mi papi Panchito que pese a todo sentí su apoyo.

A Dios por haberme hecho fuerte y darme a la mejor familia, a todos quienes de alguna u otra forma me hicieron sentir su apoyo en especial a ti Alejandro Arévalo por no dejarme vencer en los momentos más difíciles que tuve que atravesar en este largo trayecto, de igual forma Edy Oña gracias por tu apoyo incondicional. A Kevin mi compañero de tesis gracias por mostrar interés en el tema y haber podido culminar juntos esta investigación a pesar de las muchas adversidades presentadas. A mi docente tutor Ing. Oscar Cevallos por haber aceptado ser parte de este proyecto y haber puesto su confianza en nosotros.

*Andrea Fernanda Cerda Grefa*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la oportunidad de tener unos padres ejemplares. A mi madre Tania, abuelita Edith, primo Patricio, hermano Justin, Tía Verónica, primos y familia en general por su apoyo incondicional y paciencia, todos ellos son un pilar fundamental en mi vida. Agradezco a todas las personas que creyeron en mí y que siempre donde me ven me hacen llegar sus buenos deseos. Un especial y extenso agradecimiento a los docentes que impartieron sus conocimientos, consejos de vida y vivencias como profesionales. Agradezco a mis compañeros que con el pasar de los años se convirtieron en grandes amigos. A mi compañera de tesis Andrea por su paciencia y su aporte valioso con nuestro proyecto de investigación. A nuestro docente tutor el Ing. Oscar Cevallos por confiar en nosotros y que gracias a su conocimiento sumado a las correcciones hicieron que se cristalice esta meta.

*Kevin Santiago Constante López*

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a quienes no están junto a mí, me hacen mucha falta mamá amada Virginia, abuelitos Susana, Darío y a mi bonita estrella fugaz Luchito, han sido mi inspiración y mis ganas de luchar siempre, su esencia siempre vivirá en mí los amo.

A mi familia, papi, hermanas, hermanos, sobrinos, sobrinas, cuñados y toda mi familia se merecen muchos logros más de mi parte porque a pesar de mi manera tan dura de ser, confían siempre en mí y lo siento en cada paso que emprendo siempre están allí alentándome los adoro con mi vida.

A mis amigos que estaban en su lucha por cumplir sus sueños Washington Simbaña y Stalin Jara se merecían llegar lejos sin embargo ahora gozan de descanso eterno, los recuerdo siempre gracias por cada gesto amable y sus ganas de ayudarme siempre.

A mis amigos que formaron parte de mi vida universitaria, gracias por compartir momentos conmigo, mis mejores deseos para cada uno de ustedes, Dios los acompañe siempre.

*Andrea Fernanda Cerda Grefa*

## **DEDICATORIA**

A las personas especiales que ya no están conmigo, a mi padre Edgar y mi tío Luis Constante Navas que fueron mis mentores.

A mi amigo Stalin Jara que fue compañero y amigo de vida y a toda mi familia que siempre está pendiente de mí.

*Kevin Santiago Constante López*

## INDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS .....	XI
INDICE DE FIGURAS .....	XIII
RESUMEN .....	XIV
ABSTRACT .....	XV
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
<b>2.1. Objetivo General.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>4</b>
3. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO CON LA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN (MARCO TEÓRICO) .....	5
<b>3.1 Paredes.....</b>	<b>5</b>
<b>3.2 Bloques para paredes .....</b>	<b>5</b>
<b>3.2.1 Clasificación de bloque.....</b>	<b>5</b>
<b>3.2.2 Dimensiones de bloque .....</b>	<b>5</b>
<b>3.3 Resistencia a la compresión simple .....</b>	<b>6</b>
<b>3.3.1 Resistencia a la compresión del área neta .....</b>	<b>7</b>
<b>3.3.1.1 Cálculo del área neta.....</b>	<b>7</b>
<b>3.4 Absorción de agua del bloque.....</b>	<b>7</b>
<b>3.5 Propiedades mecánicas de las paredes.....</b>	<b>8</b>
<b>3.5.1 Resistencia a la compresión simple del prisma.....</b>	<b>8</b>
<b>3.5.1.1 Cálculo del esfuerzo a compresión de mampostería. ....</b>	<b>8</b>
<b>3.5.2 Resistencia a la compresión diagonal .....</b>	<b>9</b>
<b>3.6 Polietileno Tereftalato (PET).....</b>	<b>11</b>
<b>3.6.1 Características del PET. ....</b>	<b>12</b>
<b>3.6.2 Reciclado del PET.....</b>	<b>12</b>
<b>3.6.3 Impacto ambiental del PET.....</b>	<b>12</b>
4. METODOLOGÍA.....	13
<b>4.1 Materiales.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1.1 Dosificaciones .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2 Métodos. ....</b>	<b>20</b>
<b>4.2.1 Elaboración de probetas .....</b>	<b>20</b>
<b>4.2.1.1 Fabricación de bloques.....</b>	<b>20</b>
<b>4.2.1.2 Fabricación de pilas.....</b>	<b>21</b>

4.2.1.3	<b>Fabricación de paredes</b>	22
4.2.2	<b>Ensayos de bloques</b>	24
4.2.3	<b>Ensayos de pilas</b>	24
4.2.4	<b>Ensayos de paredes</b>	26
4.2.5	<b>Análisis técnico-económico.</b>	28
4.2.6	<b>Análisis y validación estadística.</b>	28
5.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	29
5.1	<b>Resultados de los bloques tradicionales y PET a compresión simple y absorción.</b>	29
5.2	<b>Resultados de los ensayos de pilas y paredes tradicionales vs PET.</b>	31
5.3	<b>Fallas en las pilas y paredes tradicionales vs PET.</b>	35
5.4	<b>Análisis de varianza de las pilas y paredes tradicionales y PET.</b>	37
5.5	<b>Resultados del análisis económico de la fabricación de las paredes con bloques tradicionales y con bloques PET.</b>	39
6.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	43
6.1	<b>Conclusiones</b>	43
6.2	<b>Recomendaciones</b>	44
7.	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	45
8.	<b>ANEXOS</b>	48
8.1	<b>Anexo 1. Densidad del cemento</b>	48
8.2	<b>Anexo 2. Análisis Granulométrico de los agregados</b>	48
8.3	<b>Anexo 3. Densidad de los agregados</b>	58
8.4	<b>Anexo 4. Absorción de los agregados</b>	59
8.5	<b>Anexo 5. Masa unitaria suelta (MUS) de los agregados</b>	60
8.6	<b>Anexo 6. Masa unitaria compactada (MUC) de los agregados</b>	60
8.7	<b>Anexo 7. Resistencia a la compresión de los bloques tradicionales.</b>	61
8.8	<b>Anexo 8. Resistencia a la compresión de los bloques PET.</b>	62
8.9	<b>Anexo 9. Absorción de los bloques tradicionales.</b>	63
8.10	<b>Anexo 10. Absorción de los bloques PET.</b>	63

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Clasificación de bloques de hormigón de acuerdo con su uso .....	5
<b>Tabla 2</b> Dimensiones modulares y dimensiones nominales de los bloques de hormigón. ....	6
<b>Tabla 3</b> Resistencia neta mínima a la compresión simple de acuerdo con su clase. ....	7
<b>Tabla 4</b> Revisión bibliográfica de la masa unitaria suelta del cemento Chimborazo. ....	15
<b>Tabla 5</b> Caracterización de los materiales. ....	17
<b>Tabla 6</b> Dosificación de la bloquera. ....	18
<b>Tabla 7</b> Dosificación final .....	20
<b>Tabla 8</b> Resistencias promedio a la compresión de los bloques tradicional y bloques PET. .....	29
<b>Tabla 9</b> Absorción promedio de los bloques tradicional y bloques PET (28 días).....	30
<b>Tabla 10</b> Compresión en pilas tradicionales y PET (28 días).....	32
<b>Tabla 11</b> Compresión diagonal en paredes tradicionales y PET (28 días). ....	34
<b>Tabla 16</b> Análisis de varianza de bloques tradicionales vs PET. ....	37
<b>Tabla 17</b> Análisis de varianza de pilas tradicionales vs PET. ....	38
<b>Tabla 18</b> Análisis de varianza de paredes tradicionales vs PET.....	38
<b>Tabla 12</b> Análisis de precios unitarios bloques tradicionales.....	39
<b>Tabla 13</b> Análisis de precios unitarios bloques PET. ....	40
<b>Tabla 14</b> Análisis de precios unitarios paredes con bloques tradicionales.....	41
<b>Tabla 15</b> Análisis de precios unitarios paredes con bloques PET. ....	42
<b>Tabla 19</b> Densidad del cemento Chimborazo.....	48
<b>Tabla 20</b> Ensayo de granulometría (macadán) E1.....	48
<b>Tabla 21</b> Ensayo de granulometría (macadán) E2.....	49
<b>Tabla 22</b> Ensayo de granulometría (macadán) E3.....	50
<b>Tabla 23</b> Ensayo de granulometría (macadán) E4.....	51
<b>Tabla 24</b> Ensayo de granulometría (macadán) E5.....	52
<b>Tabla 25</b> Resultado promedio del módulo de finura del agregado macadán.....	53
<b>Tabla 26</b> Ensayo de granulometría (polvo de piedra) E1. ....	53
<b>Tabla 27</b> Ensayo de granulometría (polvo de piedra) E2. ....	54
<b>Tabla 28</b> Ensayo de granulometría (polvo de piedra) E3. ....	55
<b>Tabla 29</b> Ensayo de granulometría (polvo de piedra) E4. ....	56
<b>Tabla 30</b> Ensayo de granulometría (polvo de piedra) E5. ....	57
<b>Tabla 31</b> Resultado promedio del módulo de finura del agregado polvo de piedra .....	58
<b>Tabla 32</b> Densidad del agregado fino (macadán) .....	58
<b>Tabla 33</b> Densidad del agregado fino (polvo de piedra).....	59
<b>Tabla 34</b> Absorción del agregado fino (macadán).....	59
<b>Tabla 35</b> Absorción del agregado fino (polvo de piedra).....	59
<b>Tabla 36</b> Masa unitaria suelta (MUS) del agregado fino (macadán).....	60
<b>Tabla 37</b> Masa unitaria compactada (MUC) del agregado fino (macadán).....	61
<b>Tabla 38</b> Masa unitaria compactada (MUC) del agregado fino (polvo de piedra).....	61
<b>Tabla 39</b> Resistencia a la compresión del bloque hueco de hormigón tradicional (7 días). 61	
<b>Tabla 40</b> Resistencia a la compresión del bloque hueco de hormigón tradicional (14 días) .....	61
<b>Tabla 41</b> Resistencia a la compresión del bloque hueco de hormigón tradicional (21 días) .....	62

<b>Tabla 42</b> Resistencia a la compresión del bloque hueco de hormigón tradicional (28 días)	62
<b>Tabla 43</b> Resistencia a la compresión del bloque hueco de hormigón con PET (7 días)....	62
<b>Tabla 44</b> Resistencia a la compresión del bloque hueco de hormigón con PET (14 días)..	62
<b>Tabla 45</b> Resistencia a la compresión del bloque hueco de hormigón con PET (21 días)..	62
<b>Tabla 46</b> Resistencia a la compresión del bloque hueco de hormigón con PET (28 días)..	63
<b>Tabla 47</b> Porcentaje de absorción del bloque hueco de hormigón tradicional (28 días) .....	63
<b>Tabla 48</b> Porcentaje de absorción del bloque hueco de hormigón con PET (28 días) .....	63

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Dimensión de los bloques.....	6
<b>Figura 2:</b> Posibles modos de falla en prismas por ensayos de compresión axial.....	9
<b>Figura 3:</b> Tipos de falla en paredes por ensayos de compresión diagonal.....	11
<b>Figura 4:</b> Ubicación de la bloquera.....	14
<b>Figura 5:</b> Recolección y desinfección de las botellas PET.....	16
<b>Figura 6:</b> Trituración de las botellas PET.....	16
<b>Figura 7:</b> Fabricación de los bloques.....	21
<b>Figura 8:</b> Dimensión de la pila.....	22
<b>Figura 9:</b> Fabricación de las pilas.....	22
<b>Figura 10:</b> Dimensión de la pared.....	23
<b>Figura 11:</b> Fabricación de las paredes.....	23
<b>Figura 12:</b> Ensayo de compresión axial de bloques.....	24
<b>Figura 13:</b> Ensayo de compresión axial de pilas.....	25
<b>Figura 14:</b> Esquema de la prueba de compresión en pilas.....	26
<b>Figura 15:</b> Ensayo de compresión diagonal de paredes.....	27
<b>Figura 16:</b> Esquema de la prueba de compresión diagonal en paredes.....	28
<b>Figura 17:</b> Curva Resistencia vs Tiempo de los bloques tradicionales y los bloques PET.....	30
<b>Figura 18:</b> Curva Esfuerzo neto vs deformación unitaria de las pilas tradicionales y PET (28 días).....	33
<b>Figura 19:</b> Falla cónica y grieta vertical en pilas tradicionales.....	36
<b>Figura 20:</b> Falla de grieta vertical con desprendimiento (a) y falla por cortante (b) en pilas PET.....	36
<b>Figura 21:</b> Falla por deslizamiento (a) y falla por tensión diagonal en bloques (b) en paredes tradicionales.....	37
<b>Figura 22:</b> Falla por deslizamiento (a) y falla por deslizamiento y aplastamiento en paredes PET.....	37
<b>Figura 23:</b> Curva de la granulometría (macadán) E1.....	49
<b>Figura 24:</b> Curva de la granulometría (macadán) E2.....	50
<b>Figura 25:</b> Curva de la granulometría (macadán) E3.....	51
<b>Figura 26:</b> Curva de la granulometría (macadán) E4.....	52
<b>Figura 27:</b> Curva de la granulometría (macadán) E5.....	53
<b>Figura 28:</b> Curva de la granulometría (polvo de piedra) E1.....	54
<b>Figura 29:</b> Curva de la granulometría (polvo de piedra) E2.....	55
<b>Figura 30:</b> Curva de la granulometría (polvo de piedra) E3.....	56
<b>Figura 31:</b> Curva de la granulometría (polvo de piedra) E4.....	57
<b>Figura 32:</b> Curva de la granulometría (polvo de piedra) E5.....	58

## RESUMEN

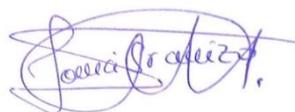
Ecuador enfrentó un sismo de gran magnitud el 16 de abril del 2016, dejó en evidencia los daños a la vida humana por el colapso de las paredes que a pesar de ser uno de los elementos no estructurales en una edificación requiere de un diseño apropiado. Conociendo que la vida útil de los agregados pétreos se está reduciendo por la demanda en el ámbito de la construcción, se ha impulsado la inclusión de un nuevo material derivado del plástico en la fabricación de bloques huecos de hormigón para paredes. Tras varias dosificaciones realizadas se logró resultados favorables al incluir un 25% del volumen total de los agregados utilizados en la fabricación de los bloques. Se realizaron ensayos de compresión simple y absorción de los bloques, donde se obtuvo una resistencia mayor y un aumento de la capacidad de absorción de los bloques PET con relación a los bloques tradicionales. Para realizar el ensayo de compresión simple de las pilas y compresión diagonal de las paredes, se fabricaron seis pilas y seis paredes tradicionales vs PET. El esfuerzo bruto, el esfuerzo neto, la deformación unitaria máxima y la energía de las pilas con PET fueron mayores y el módulo de elasticidad fue menor demostrando que soportan mayor carga y deformación hasta llegar a la falla. En el ensayo de compresión diagonal, los esfuerzos de corte y deformación longitudinal de las paredes con PET fueron mayores; con esto se vio que el material alternativo PET mejora las propiedades mecánicas de las paredes.

**Palabras claves:** sismo, no estructurales, edificación, dosificaciones, absorción, PET.

## ABSTRACT

Ecuador faced an earthquake of great magnitude on April 16, 2016, and it left evidence of the damage to human life due to the collapse of the walls, which despite being one of the non-structural elements in an edification, require an appropriate design. Knowing that the useful life of stone aggregates is being reduced due to the demand in the construction field, the inclusion of a new material derived from plastic in the manufacture of hollow concrete wall blocks has been promoted. After several dosages, favorable results were achieved by including 25% of the total volume of the aggregates used in the manufacture of the blocks. Simple compression and absorption tests of the blocks were performed, where a greater resistance and an increase in the absorption capacity of the PET blocks were obtained in relation to the traditional blocks. In order to carry out the simple compression test of the piles and diagonal compression of the walls, six piles and six traditional walls vs. PET were manufactured. The gross effort, net effort, maximum unit deformation and energy of the PET piles were higher and the modulus of elasticity was lower, showing that they support greater load and deformation until reaching the failure. In the diagonal compression test, the shear efforts and longitudinal deformation of the walls with PET were greater. Therefore, it is concluded from this research that the alternative material PET improves the mechanical properties of the walls.

**Keywords:** Earthquake, non-structural, edification, dosages, absorption, PET.



Reviewed by:  
Mgs. Sonia Granizo Lara  
**ENGLISH PROFESSOR**  
c.c. 0602088890

## 1. INTRODUCCIÓN

Tras el terremoto suscitado el 16 de abril de 2016, varias provincias fueron afectadas en la zona costera de nuestro país, uno de los sistemas no estructurales que más deficiencia presentó fue la mampostería en la mayoría de las viviendas, (Quimbiamba, 2017).

La pared no estructural es un sistema que consiste en la colocación de bloques de hormigón o arcilla unidos con mortero entre sí, con el fin de generar paredes divisorias resistentes y duraderas. Este sistema es el más empleado actualmente debido a que presenta varias ventajas, tanto a nivel económico como constructivo (Espinosa, 2018).

Al estar nuestro país ubicado en el cinturón de fuego del pacífico, ocurren con frecuencia eventos sísmicos de gran magnitud donde las estructuras con paredes mal diseñadas y construidas (baja resistencia) causan grandes daños materiales debido al volcamiento de las paredes (Llerena, 2019), siendo esto un peligro latente para sus ocupantes. Por tal motivo, se ha impulsado la actualización de nuevos sistemas constructivos con materiales alternativos derivados del plástico, buscando así reducir el impacto sísmico y vulnerabilidad de las paredes.

El plástico se caracteriza por ser un material más ligero y resistente a la compresión mecánica. La fabricación de botellas en todo el mundo es de cerca de 207 millones de toneladas al año, cifra que aumenta a nivel mundial (Mejía & Pachacama, 2018).

En América latina el 79% de sus habitantes se concentran en centros poblados, por ende, el comercio y la industria va en aumento, generando de esta forma un crecimiento constante de los residuos sólidos que necesitan ser recolectados y dispuestos de forma segura con la finalidad de precautelar la salud humana y equilibrio ambiental (BID, 2010).

En el Ecuador se registra un consumo de 4.000 toneladas mensuales de botellas, es decir, 48.000 toneladas al año, datos proporcionados por el gerente de la Unidad de Negocios RECYPET de la empresa Enkador, (Gómez & Guzmán, 2019).

Las botellas de plástico PET (Polietileno Tereftalato) son productos que pueden ser reciclados en su totalidad. Se encuentran dentro de los termoplásticos ya que poseen la cualidad de ablandarse en presencia de calor. El tamaño, espesor, forma o marca no será una restricción en el sistema constructivo (Ayala, Hernández & Loor, 2012), y su reutilización dependerá de los resultados finales obtenidos en miras de una acumulación de estos residuos a nivel local sumado a una disposición final poco provechosa.

Tales razones hacen que la presente investigación se incline a la inclusión de un material asequible y que se encuentre en mayor proporción para la elaboración de un prototipo de pared. Por tanto, se propone integrar a las botellas plásticas PET en la construcción de bloques de paredes para analizar su respuesta mecánica.

La principal contribución que se puede lograr es disminuir el impacto ambiental, ya que, de esta manera, podemos reducir los residuos plásticos acumulados en la zona urbana y los que se queman y entierran en los depósitos finales (Gaggino, 2008), desarrollando una producción sostenible con este tipo de paredes dándole una adecuada gestión a las botellas de plástico.

Para ello, esta investigación se enfoca en encontrar una dosificación adecuada para reemplazar, en cierto porcentaje, a los agregados pétreos por el material PET triturado. Esta sustitución puede dar como resultado un material alternativo en los procesos constructivos. Al sustituir los agregados pétreos con un porcentaje adecuado de PET en la dosificación del mortero usado en los bloques, se intenta mantener la resistencia a compresión establecida en la norma NTE INEN 3066 (BLOQUES DE HORMIGÓN. REQUISITOS Y MÉTODOS DE

ENSAYO), correspondiente a bloques de hormigón huecos para mampostería no estructural tipo clase B, con una resistencia mínima a la compresión de 4 MPa.

Otro de los objetivos de usar este tipo de materiales es tratar de obtener un menor peso específico, que resulte favorable en la disminución de la carga permanente (muerta) en las estructuras que empleen bloques fabricados con PET y, por lo tanto, la demanda sísmica sea menor.

Para el desarrollo del proyecto se seguirá una metodología experimental y en campo. El material PET será reciclado en las zonas urbanas de la ciudad de Riobamba. Se obtendrán fibras del material PET para su posterior reutilización en la fabricación de bloques en paredes. Se llevarán a cabo ensayos de laboratorio tomando en cuenta los requisitos de la norma NTE INEN 3066 para resistencias requeridas de los bloques no estructurales. Para este prototipo de pared se determinará su resistencia a la compresión diagonal y su resistencia a corte. El material reciclado se seleccionará de acuerdo con la clasificación de las botellas PET.

Por último, se realizará un análisis técnico-económico de los procesos de fabricación de una pared a base de bloques PET, comparando estos resultados con los obtenidos al analizar una pared construida con bloques tradicionales.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Determinar la respuesta mecánica de paredes no estructurales fabricadas con bloques de hormigón preparados con material reciclado (botellas plásticas PET).

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Recolectar, triturar el material reciclado para obtener fibras (escamas).
- Determinar la resistencia a compresión simple y absorción de los bloques preparados con material reciclado (botellas plásticas PET) y los bloques tradicionales.
- Elaborar paredes con los bloques elaborados con plástico reciclado y una pared con bloques tradicionales a fin de comprobar la resistencia a la compresión diagonal y la resistencia a corte de las paredes elaboradas con bloques preparados con material reciclado (botellas plásticas PET).
- Analizar económicamente la fabricación de paredes con bloques preparados con material reciclado (botellas plásticas PET) con las paredes fabricadas con bloques tradicionales.

### 3. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO CON LA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN (MARCO TEÓRICO)

#### 3.1 Paredes

La pared está compuesta por bloques o ladrillos elaborados con concreto prefabricado y a su vez unidos con una pasta cementante (mortero). Una pared no estructural es utilizada para espacios en una edificación, su función es la de soportar su propio peso.

#### 3.2 Bloques para paredes

Es una “pieza prefabricada de hormigón simple, elaborada con cemento hidráulico, agua, áridos finos y gruesos, con o sin aditivos, en forma de paralelepípedo, con o sin huecos en su interior” (NTE INEN 3066, 2016, pág. 2).

##### 3.2.1 Clasificación de bloque

De acuerdo con la norma NTE INEN 3066 (2016), los bloques se clasifican según su uso. En esta tesis nos vamos a enfocar en bloques para pared no estructural tipo B con una resistencia igual a 4 MPa (Tabla 1).

**Tabla 1** *Clasificación de bloques de hormigón de acuerdo con su uso*

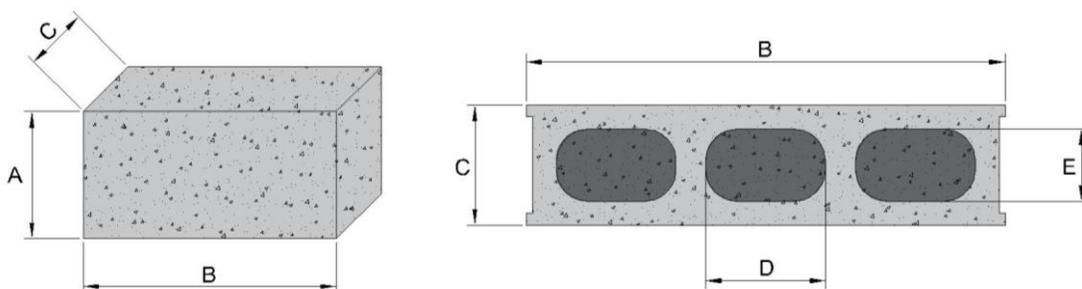
Clase	Uso	Resistencia neta mínima a la compresión simple (MPa) Promedio de 3 bloques
A	Mampostería estructural	13,8
B	Mampostería no estructural	4
C	Alivianamientos en losas	1,7

Fuente: NTE INEN 3066, 2016.

##### 3.2.2 Dimensiones de bloque

Según la norma NTE INEN 3066 (2016), las dimensiones del bloque van acorde al convenio entre el fabricante y el comprador, se pueden fabricar bloques de hormigón con

diferentes dimensiones indicadas en la Tabla 2. Para nuestro trabajo se adoptó las medidas de B= 400mm, C= 100mm, A= 200mm, D=100mm y E=60 mm (Figura 1).



**Figura 1:** Dimensión de los bloques.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K

Además, la norma NTE INEN 3066 (2016), establece que el espesor mínimo de las paredes y tabiques debe ser de 13mm para los bloques Clase B y C

**Tabla 2** Dimensiones modulares y dimensiones nominales de los bloques de hormigón.

Dimensiones modulares (mm)			Dimensiones nominales (mm)		
Largo	Ancho	Altura	Largo	Ancho	Altura
400	300	200	390	290	190
		250			240
300	x	200	x	290	x
		150			140
200	100	100	190	90	90

Nota: En la elección de las dimensiones modulares de cada tipo de bloque podrán combinarse los valores de las columnas de la Tabla 2 entre sí.

**Fuente:** NTE INEN 3066, 2016.

### 3.3 Resistencia a la compresión simple

En esta tesis se enfocará en la resistencia mínima a la compresión simple de 4 MPa perteneciente a la clase B.

Los bloques deben cumplir con las resistencias mínimas a la compresión simple, establecidas en la **Tabla 3**.

**Tabla 3 Resistencia neta mínima a la compresión simple de acuerdo con su clase.**

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

\* 1MPa = 10,2 kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: NTE INEN 3066, 2016.

### 3.3.1 Resistencia a la compresión del área neta

De acuerdo con la Ecuación 1, se calculó la resistencia a la compresión simple del área neta con la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 3066 (2016)

$$f'm = \frac{P_{\max}}{A_n} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

$f'm$  = Resistencia de compresión simple (MPa)

$P_{\max}$  = carga máxima de compresión (N)

$A_n$  = área neta de la unidad (mm<sup>2</sup>)

#### 3.3.1.1 Cálculo del área neta.

Al igual que en la Ecuación 2, se calculó el área neta de acuerdo con la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 3066 (2016)

$$A_n = l \times a \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$A_n$  = área neta de la fracción del bloque o de la unidad 100 % solidas (mm<sup>2</sup>),

$l$  es el largo promedio de la fracción del bloque o de la unidad 100 % solidas (mm), y

$a$  es el ancho promedio de la fracción del bloque o de la unidad 100 % solidas (mm).

### 3.4 Absorción de agua del bloque.

El porcentaje de absorción del agua del mampuesto se calculó con la Ecuación 3, de acuerdo con la noma NTE INEN 3066, 2016.

$$\mathbf{Abs} = \frac{M_s - M_d}{M_d} \times 100 (\%)$$

*Ec. 3*

Donde:

**Abs**= Absorción del bloque (%)

**Ms**= masa de la unidad saturada (kg).

**Md**= masa de la unidad seca al horno (kg).

### **3.5 Propiedades mecánicas de las paredes.**

#### **3.5.1 Resistencia a la compresión simple del prisma.**

La resistencia a la compresión de la mampostería está dada por la capacidad que tiene una pared de resistir una carga externa hasta llegar a la falla, (Quimbiamba, 2017).

##### **3.5.1.1 Cálculo del esfuerzo a compresión de mampostería.**

El área de la sección transversal donde se aplica la fuerza se calculó con la Ecuación 4.

$$A_t = L \cdot a$$

*Ec. 4*

Donde:

**At** = área de la sección transversal del prisma, cm<sup>2</sup>.

**L**= Largo promedio de la sección transversal del prisma, cm.

**a**= ancho promedio de la sección transversal del prisma, cm.

*Esfuerzo a la compresión simple*

Es el resultado de dividir la carga máxima que resistió el prisma (antes de la falla), para el área neta y se calculó acorde a la Ecuación 5.

$$f'm = \frac{P}{A_t}$$

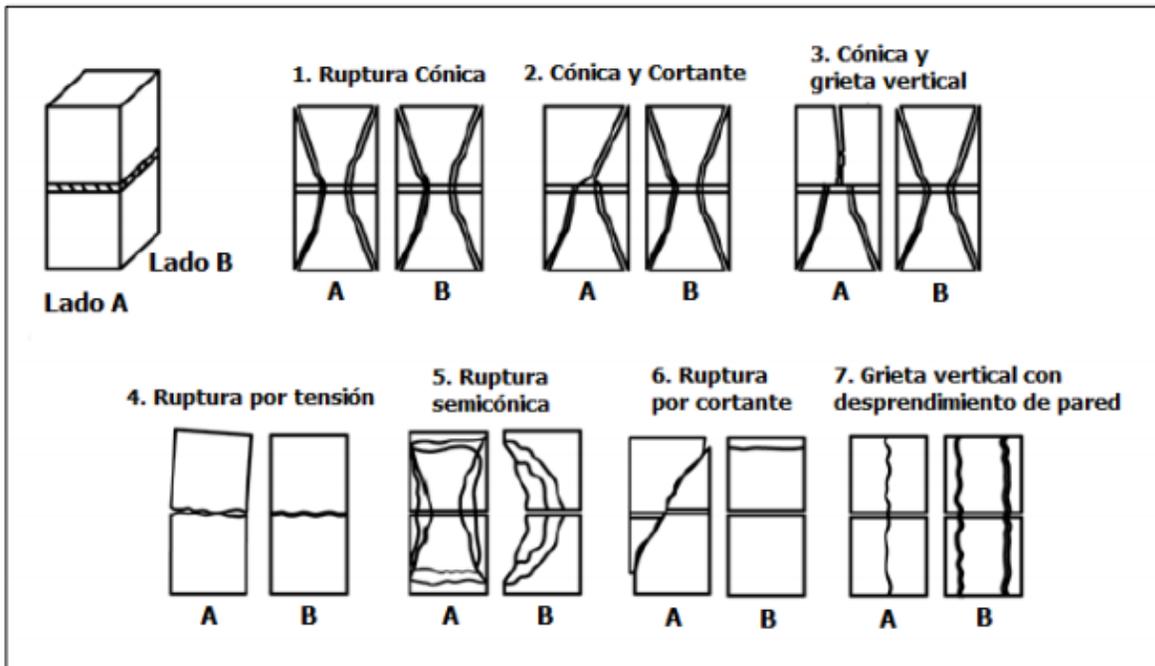
*Ec. 5*

Donde:

**f'm**= Resistencia a compresión del prisma, MPa,

**P**= Carga máxima registrada, N,

Área neta= Área de la sección transversal del prisma, mm<sup>2</sup>



**Figura 2:** Posibles modos de falla en prismas por ensayos de compresión axial.  
Adaptado de: INTE C55 (ASTM C1314)  
**Fuente:** (Núñez, 2019).

En la Figura 2 se ilustra los modos de falla de prismas que puede ocurrir a la hora de realizar el ensayo de compresión. Las fallas más predominantes en los prismas conformados por bloques huecos de hormigón son el agrietamiento vertical ya que al ser menos resistente el mortero de pega que los bloques, este se expande causando esfuerzos de tracción al prisma en las juntas.

### 3.5.2 Resistencia a la compresión diagonal

El ensayo de compresión diagonal de paredes se efectúa aplicando una carga de compresión según una diagonal de la pared, hasta llegar a la rotura, (NEC-SE-MP).

La resistencia a la compresión diagonal es igual a la relación que existe entre la carga máxima soportada por la pared en posición de 45° (antes de la falla), para el área bruta de la diagonal.

Se calculó el esfuerzo cortante mediante la Ecuación 6:

$$\tau = \frac{0.707P}{A_n} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

$\tau$  = Esfuerzo cortante en el área neta, MPa.

$A_n$  = Superficie neta de la muestra, mm.

$P$  = Carga aplicada, N.

Para el cálculo del área neta de las paredes se utilizó la Ecuación 7.

$$A_n = \left( \frac{W+h}{2} \right) * t * n \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

$W$  = Anchura de la muestra, mm.

$h$  = Altura de la muestra, mm.

$t$  = Espesor total de la muestra, mm.

$n$  = Porcentaje del área bruta de la unidad que es sólido, expresado como un decimal y se calculó con la Ecuación 8.

**Nota:** El factor  $n$ , en caso de mampostería hueca, se calcula de la siguiente forma:

$$n = 1 - \frac{A_h}{A_t} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

$A_h$  = Área de los huecos.

$A_t$  = Área total.

Con la Ecuación 9, se calculó la deformación unitaria de rotura.

$$\gamma = \frac{\Delta V}{L_{diagonal}} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

$\gamma$  = Deformación unitaria de rotura (mm/mm)

$\Delta V$  = Acortamiento vertical (mm)

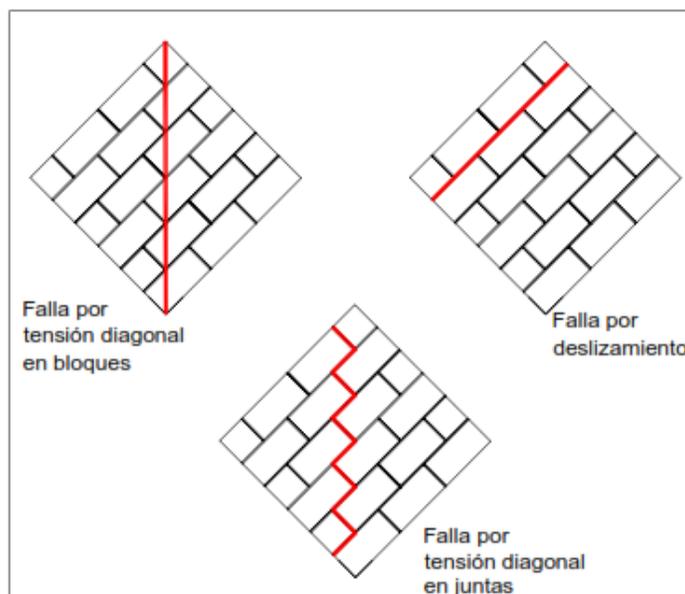
**L diagonal** = Longitud diagonal de la pared (mm)

Las fallas más comunes presentadas en las paredes por compresión diagonal pueden ser las siguientes (Figura 3):

**Fallas por tensión diagonal en bloques:** Esta falla se presenta por grietas a lo largo de la diagonal de la pared por la baja resistencia de la unidad del bloque respecto al mortero de junta.

**Fallas por deslizamiento:** Esta se presenta cuando hay pérdida de adherencia entre los bloques y el mortero, produciendo desprendimiento de junta horizontal.

**Fallas por tensión diagonal en juntas:** Se da por la falta de adherencia entre la unidad del bloque y mortero.



*Figura 3.* Tipos de falla en paredes por ensayos de compresión diagonal.

**Fuente:** (Fernández, Marín, Varela & Vargas, 2009).

### 3.6 Polietileno Tereftalato (PET).

Conocido como PET es un derivado del petróleo que pertenece a la familia de los termoplásticos es decir que puede ser modificado en presencia de calor y moldeado bajo una

fuerza de compresión. Es más utilizado en la fabricación de envases de botellas para gaseosas y agua mineral. Se puede reciclarlo y reutilizarlo al 100 % de su contenido.

### **3.6.1 Características del PET.**

Presenta características importantes ya que es un material liviano. (Moreno & Cañizares, 2011) obtuvieron una densidad suelta del plástico triturado PET de 0,38 (g/cm<sup>3</sup>). En cuanto a la capacidad de absorber agua el PET tiene el 0,02 % siendo un valor que no afecta las propiedades originales (Gómez & Guzmán, 2019). Además, se comporta bien bajo esfuerzos permanentes.

### **3.6.2 Reciclado del PET.**

El sistema de recolección de los desechos en la ciudad de Riobamba, las personas dedicadas al pre-reciclaje, empresas recicladoras reciben desechos sólidos de papel, plástico y cartón. Existen 21 pre-recicladores y nueve centros de acopio en la ciudad de Riobamba (Izurieta, 2015)

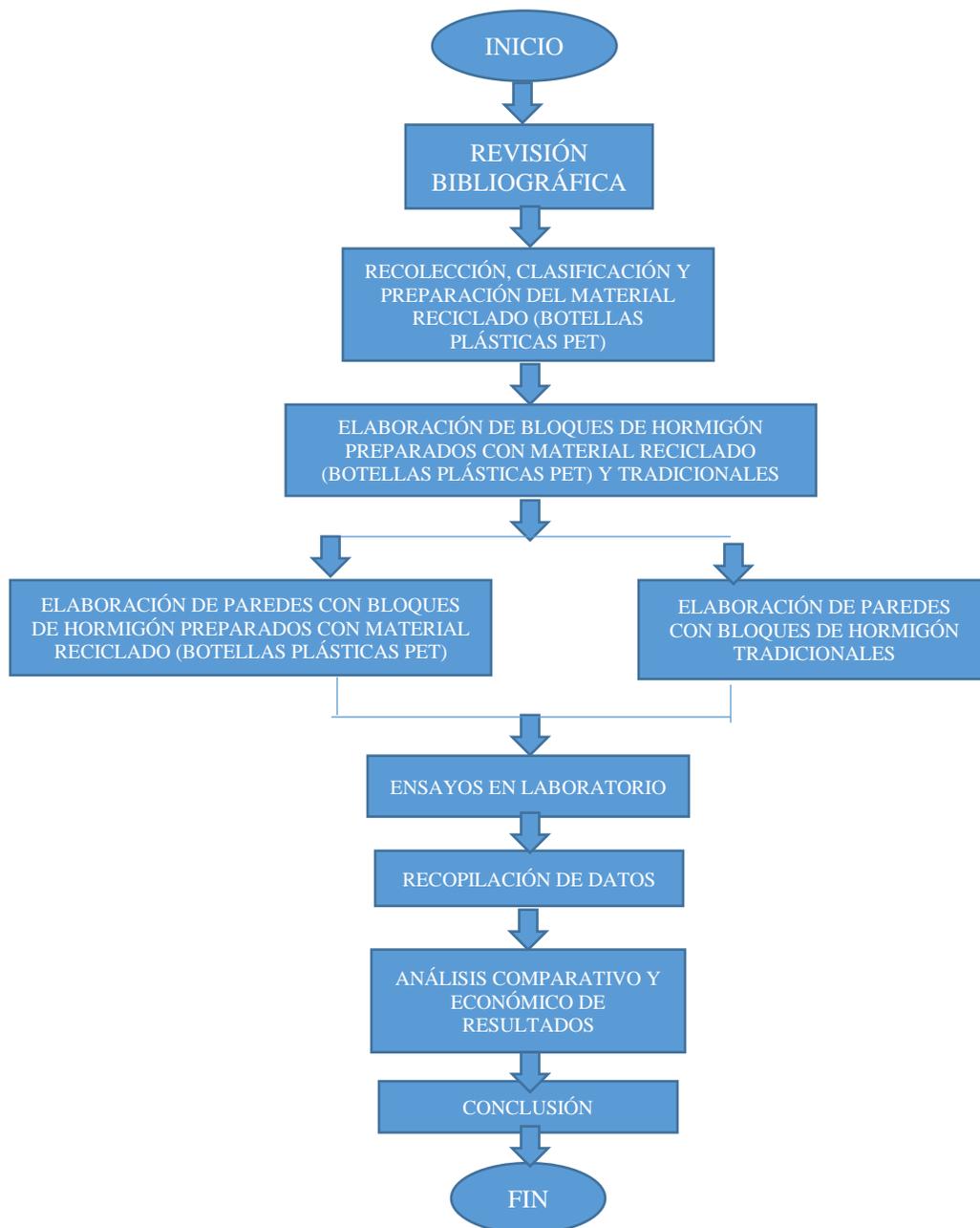
Una vez con el material en los acopios se procede a la selección (separación de las botellas por tipo), se quitan las etiquetas y tapas de las botellas. Luego pasa por el proceso de desinfección para seguir con la trituración de las botellas.

### **3.6.3 Impacto ambiental del PET.**

La producción de envases de PET hace que se incremente el impacto ambiental ya que estos envases se demoran 500 años en degradar. Durante su producción se utilizan sustancias tóxicas, químicos, metales pesados que quedan en el aire los cuales son perjudiciales para la salud de humanos y animales.

#### 4. METODOLOGÍA

En el estudio se implementó un método que determina la respuesta mecánica de paredes no estructurales mediante ensayos de laboratorio fabricados con bloques de hormigón preparados con material reciclado (botellas plásticas PET) y sin la implementación de este. En el siguiente esquema se muestra el proceso a seguir.

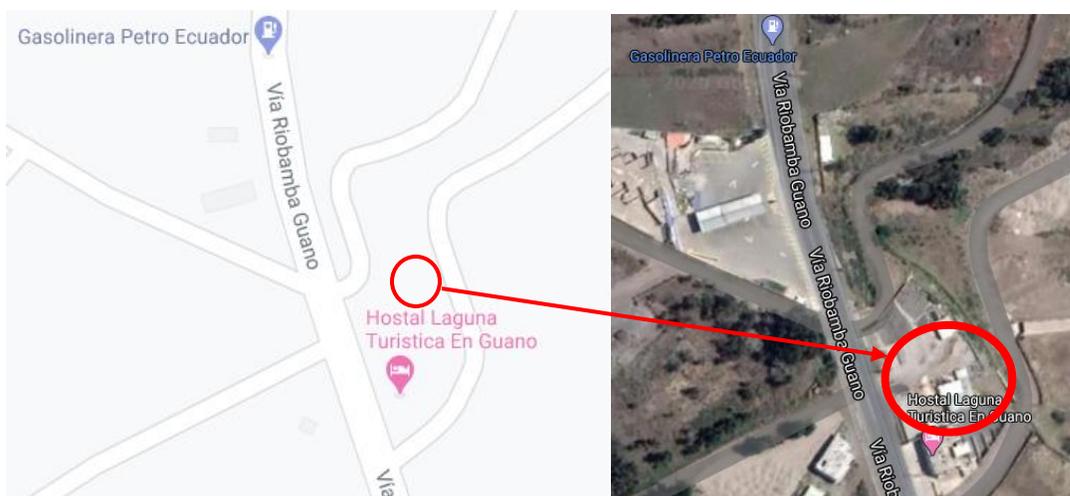


Se realizará una revisión bibliográfica a través de diversos buscadores existentes como Google académico, Scopus, repositorios digitales de universidades, para encontrar información acerca de la incorporación del material reciclado (botellas plásticas PET) en la elaboración de bloques para la sustitución total o parcial del agregado fino en la mezcla de hormigón para bloques tradicionales generando nuevos sistemas constructivos basándose en fuentes de información confiable y actualizada.

#### 4.1 Materiales.

Para la elaboración de los bloques se utilizó cemento Portland Puzolánico Tipo IP, producido por la empresa “Cemento Chimborazo”, agregado fino (macadán), producido por la mina “Tierra Prometida” ubicada en la ciudad de Riobamba, polvo de piedra y chasqui traída de la parroquia rural San Rafael ubicada en la ciudad de Latacunga, agua potable, material PET que va a reemplazar al agregado fino en distintas partes por unidad de cemento.

Los bloques con PET se elaboraron en la bloquera Escudero ubicada por la vía Guano-Riobamba, km 5 sector Langos (Figura 4).



**Figura 4:** Ubicación de la bloquera.

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

Se realizó la caracterización de las propiedades de los agregados (macadán y polvo de piedra).

Para realizar el análisis granulométrico de los agregados se siguió el procedimiento de la norma INEN 696 que permite determinar la distribución de los tamaños de las partículas, el módulo de finura y el tamaño máximo según los tamices utilizados.

Para realizar el ensayo de densidad y absorción de los agregados finos se utilizó la norma ecuatoriana INEN 856 que establece el procedimiento para determinar la densidad relativa (gravedad específica) del agregado en estado SSS (saturado superficialmente seco) de los agregados.

Para determinar la masa unitaria suelta (MUS) y la masa unitaria compactada (MUC) del agregado fino en condiciones normales se siguió el procedimiento descrito en la norma INEN 858.

Para determinar la densidad del cemento Chimborazo se siguió el procedimiento de la norma INEN 156.

**Tabla 4** *Revisión bibliográfica de la masa unitaria suelta del cemento Chimborazo.*

<b>Tesis#</b>	<b>Año</b>	<b>Universidad</b>	<b>Autor/es</b>	<b>MUS</b>	<b>Unidad</b>	<b>Pag.</b>
1	2012	UNACH	Quishpi, B. & Guevara, J.	1,09	g/cm <sup>3</sup>	69
2	2010	UNACH	Pucha, F. & Llanga, X.	0,96	g/cm <sup>3</sup>	68
3	2015	UNACH	Guaño, E.	0,94	g/cm <sup>3</sup>	155
4	2014	UNACH	Córdova, M. & Portugal, J.	1,01	g/cm <sup>3</sup>	79
5	2016	UNACH	Salazar, A.	1,14	g/cm <sup>3</sup>	40
<b>Promedio MUS</b>				<b>1,03</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	

**Elaborado por:** Cerda, A., & Constante, K.

La masa unitaria suelta del cemento Chimborazo se lo obtuvo mediante revisión bibliográfica de estudios previos que han trabajado con este cemento. En la **Tabla 4**, se referencian las masas unitarias sueltas del cemento.

Para la obtención del agregado alternativo PET, se realizó la recolección de las botellas plásticas en los alrededores de la Universidad Nacional de Chimborazo, sectores aledaños a nuestras viviendas y con la ayuda conjunta de la comunidad. Se retiraron las etiquetas de las

botellas plásticas y de las tapas. Se realizó la desinfección de las botellas plásticas para su posterior triturado (Figura 5). El triturado del PET se lo realizó en una fábrica dedicada a la trituración de plásticos y el PET tiene una dimensión aproximada de 5mm de diámetro (Figura 6).



**Figura 5:** Recolección y desinfección de las botellas PET  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.



**Figura 6:** Trituración de las botellas PET  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos de las principales propiedades de los agregados pétreos y del cemento.

**Tabla 5** Caracterización de los materiales.

Propiedades	Materiales	Resultado promedio	Unidad
Densidad	Cemento Portland Tipo 1P	3.01	g/cm <sup>3</sup>
Densidad relativa (SSS)	Polvo de piedra	1.78	g/cm <sup>3</sup>
	Macadán	2.31	g/cm <sup>3</sup>
	Chasqui amarillo	1.21****	g/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura	Polvo de piedra	3.34	.....
	Macadán	4.28	.....
	Chasqui amarillo	5.1****	.....
Tamaño máximo	Polvo de piedra	3/8	pulg.
	Macadán	3/8	pulg.
M.U.S.	Cemento Portland Tipo 1P	1,03*	g/cm <sup>3</sup>
	Polvo de piedra	0.71	g/cm <sup>3</sup>
	Macadán	1.5	g/cm <sup>3</sup>
	PET	0.38**	g/cm <sup>3</sup>
	Chasqui amarillo	0.376****	g/cm <sup>3</sup>
M.U.C.	Polvo de piedra	0.83	g/cm <sup>3</sup>
	Macadán	1.7	g/cm <sup>3</sup>
	Chasqui amarillo	0.423	g/cm <sup>3</sup>
% Absorción	Polvo de piedra	32.98	%
	Macadán	12.71	%
	Chasqui amarillo	46.62****	%
Compresión simple	Mortero de pega 1:6	17.10***	MPa

Nota: \* Resultado promedio tomado de revisión bibliográfica; \*\* resultado tomado de (Moreno & Cañizares, 2011) \*\*\* resultado promedio tomado de (Llerena, 2019)\*\*\*\*resultados tomados de (Porrás, 2018).

#### 4.1.1 Dosificaciones

La dosificación para la elaboración de los bloques con PET se realizó mediante el método volumétrico (dosificación al volumen) y gravimétrico (dosificación al peso). Con base al volumen de una carretilla de capacidad de 65 lt se procedió a obtener el volumen de los agregados y cemento partiendo de la dosificación de la bloquera (Tabla 6). Para obtener el peso de los agregados se empleó los datos obtenidos de la masa unitaria suelta (MUS) en los ensayos previos de los agregados; mediante una balanza se pesó en el laboratorio de la Universidad y se transportó los materiales a la bloquera.

En la bloquera utilizan la siguiente dosificación empírica, misma que permite preparar 41 bloques de 40x20x10 cm (Tabla 6).

**Tabla 6** Dosificación de la bloquera.

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>
Polvo de piedra	0.0975 m <sup>3</sup> (1 1/2 carretilla)
Chasqui	0.1625 m <sup>3</sup> (2 1/2 carretilla)
Cemento Chimborazo	25 kg
Agua	45 litros

**Nota:** La carretilla que ocupan en la bloquera tiene una capacidad de 65 lt con un volumen de 0.065 m<sup>3</sup>, sirve para dosificar la cantidad de agregados que van en la mezcla.

A partir de la dosificación presentada en la Tabla 6, y luego de obtener los resultados del diseño de la mezcla, de acuerdo con el método volumétrico y gravimétrico, se procedió a la inclusión del agregado alternativo PET, como sustituto parcial de los agregados pétreos. Para esto, se utilizaron diferentes porcentajes de inclusión de PET.

De las siguientes dosificaciones se obtuvieron tres bloques.

#### *Dosificación tradicional*

Considerando la dosificación de la bloquera, por lo general se utilizan dos componentes como agregado (polvo de piedra, chasqui). Las proporciones al peso son 1: 2.44: 2.77 (cemento: chasqui: polvo de piedra). La relación a/c (agua / cemento) es de 1.8.

#### *Dosificación 1*

Se realizó la dosificación manteniendo el polvo de piedra y chasqui con un porcentaje de PET de 10.86% del volumen total que ocupan los agregados en la mezcla. Las proporciones al peso son 1: 6.93: 5.63: 1.22 entre cemento, chasqui, polvo de piedra y PET. La relación a/c es de 2.0.

#### *Dosificación 2*

Se mantuvo el polvo de piedra y chasqui con un porcentaje menor de PET de 7.27% del volumen total que ocupan los agregados en la mezcla.

Las proporciones al peso son 1: 8.15: 4.79: 0.85 entre cemento, chasqui, polvo de piedra y PET. La relación a/c es de 2.0.

#### *Dosificación 3*

Del volumen de los agregados de la mezcla se sacó un porcentaje de 32.97% de PET, el cual se mezcló junto con el polvo de piedra y chasqui. Las proporciones al peso son 1: 2.7: 6.3: 3 entre cemento, chasqui, polvo de piedra y PET. La relación a/c (agua/cemento) es de 2.33.

#### *Dosificación 4*

En esta dosificación se incluyó el PET en un porcentaje de 21.75% y se mantuvo el polvo de piedra y chasqui. Las proporciones al peso son 1: 8.15: 4.79: 3 entre cemento, chasqui, polvo de piedra y PET. La relación a/c es de 2.33.

#### *Dosificación 5*

Se realizó esta dosificación reemplazando el chasqui por macadán, se mantuvo el polvo de piedra y PET en un porcentaje de 45.81%. Las proporciones al peso son 1: 2.7: 2.7: 1.8 entre cemento, polvo de piedra, macadán y PET. La relación a/c es de 1.4.

#### *Dosificación 6*

De la dosificación se redujo el PET en un porcentaje de 42.52% del volumen total de los agregados y del volumen restante se ocupó polvo de piedra y macadán. Las proporciones al peso son 1: 3.78: 1.62: 1.8 entre cemento, polvo de piedra, macadán y PET. La relación a/c es de 1.4.

#### *Dosificación final*

Considerando los resultados de las resistencias a compresión de los bloques, obtenidas con todas las dosificaciones previas, y en base a un análisis de los efectos de la presencia de agregado PET y su interacción con los agregados pétreos se mejoró las proporciones de

mezcla y se obtuvo la dosificación final. De la cantidad del volumen total de agregados finos que ocupa en la mezcla de hormigón se reemplazó en un porcentaje de 25 % por PET. Se redujo la relación de agua / cemento a 1.65 debido a que al incrementar el PET este al ser impermeable no absorbe agua y para mejorar la resistencia de los bloques.

En la dosificación final se mantuvo el polvo de piedra debido a que en las dosificaciones previas realizadas este tuvo una mejor compactación en la mezcla con PET. Para obtener la dosificación al peso en volúmenes aparentes se utilizó el resultado de la masa unitaria suelta de los componentes del hormigón. El resultado de esta dosificación es 1: 5.03: 0.90 entre el cemento, polvo de piedra y PET. En la Tabla 7 se presenta la dosificación usada para producir 63 unidades de bloques de 40x20x10 cm, fabricados con material PET.

**Tabla 7** *Dosificación final*

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>
Polvo de piedra	0.300 m <sup>3</sup> (4 1/2 carretillas)
PET	0.100 m <sup>3</sup> (1 1/2 carretillas)
Cemento Chimborazo	42 kg
Agua	69.1 litros

**Elaborado por:** Cerda, A., & Constante, K.

Se ocuparon 12 bloques para el ensayo de compresión a los 7, 14, 21 y 28 días y tres bloques para el ensayo de absorción, 18 bloques para la fabricación de seis pilas y 30 bloques para la fabricación de seis muretes.

## **4.2 Métodos.**

### **4.2.1 Elaboración de probetas**

#### **4.2.1.1 Fabricación de bloques**

Se realizó la mezcla de los agregados (polvo de piedra y PET) en el sitio según la dosificación proporcionada al volumen. Paulatinamente se introdujo el agua y el cemento

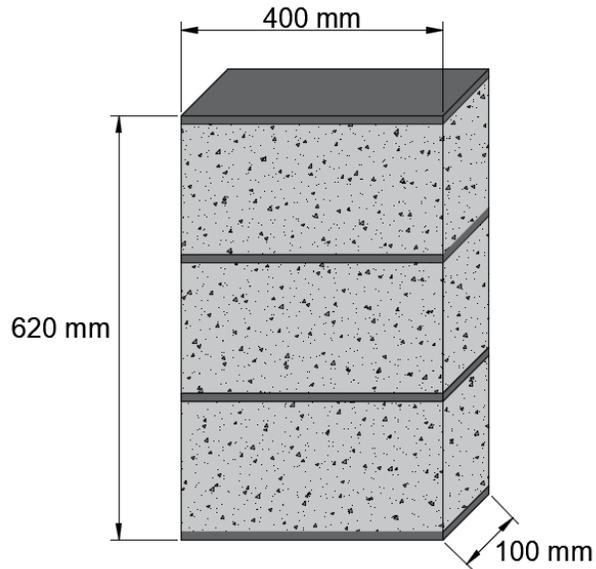
hasta obtener una mezcla homogénea. En la máquina vibradora previamente encendida y con las dimensiones de los bloques requeridos se vertió la mezcla. Para la vibración de la mezcla se bajaron los pistones verticalmente. Después de unos dos minutos aproximadamente de vibrado se obtuvo cinco bloques compactos. Por último, los bloques en el sitio fueron colocados en el patio de la bloquera para el secado y curado en los siguientes siete días (Figura 7).



*Figura 7:* Fabricación de los bloques.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

#### **4.2.1.2 Fabricación de pilas.**

Una vez obtenidos los bloques para la fabricación de pilas a los 28 días, se procedió a elaborar el mortero de pega con una dosificación 1:6 (cemento: agregado fino); para la conformación de las pilas se utilizaron tres unidades de bloques. Este mortero de pega generalmente exhibe una resistencia a compresión simple de 17.10 MPa. Las dimensiones de las pilas se ilustran en la Figura 8. Se fabricaron un total de seis pilas de bloques, de las cuales tres fueron preparadas con bloques tradicionales y tres con bloques con PET. Además, se realizó un refrentado de las caras de ensayo, usando un mortero con una dosificación 1:1 (cemento: agregado fino) para permitir una distribución uniforme de las cargas (Figura 9).



**Figura 8:** Dimensión de la pila.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

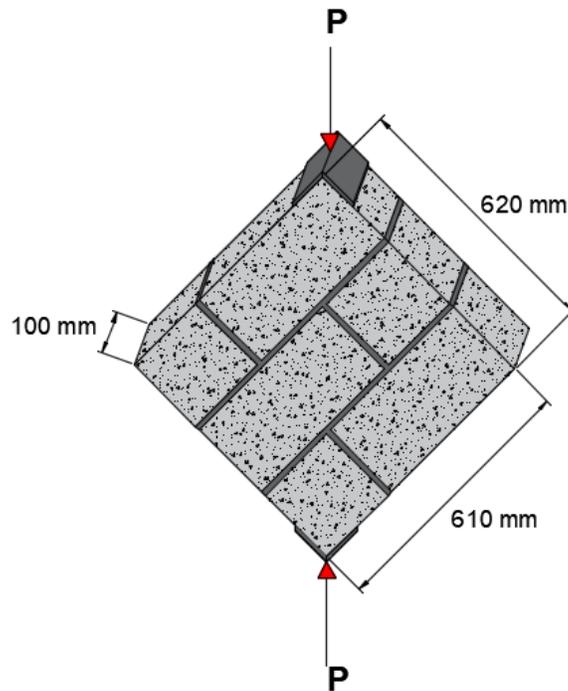


**Figura 9:** Fabricación de las pilas.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

#### 4.2.1.3 Fabricación de paredes

Con los bloques obtenidos a los 28 días, tanto tradicionales como PET, se procedieron a fabricar las paredes utilizando el mortero de pega con una dosificación 1:6 (cemento: agregado fino); para las paredes se utilizaron 4.5 unidades de bloques. Las dimensiones de las paredes se ilustran en la Figura 10. Se fabricaron seis paredes entre tradicionales y PET.

Además, se realizó un refrentado con mortero con una dosificación 1:1(cemento: agregado fino) para dejar las esquinas opuestas niveladas donde se aplicarán las cargas durante los ensayos de compresión diagonal (Figura 11).



**Figura 10:** Dimensión de la pared.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.



**Figura 11:** Fabricación de las paredes.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

#### 4.2.2 Ensayos de bloques

Según lo que establece la norma NTE INEN 3066, se realizó ensayos a compresión axial y ensayo de absorción a los bloques tradicionales y PET. Las unidades ensayadas fueron tres por cada ensayo realizado, estos ensayos se realizaron a la edad de 7,14, 21 y 28 días. Para obtener la resistencia a compresión simple, se utilizó una máquina de compresión axial aplicando una carga constante hasta que ocurra la falla (Figura 12). Para el ensayo de absorción se utilizaron tres unidades de bloques a los 28 días tanto del tradicional y PET, siguiendo el procedimiento descrito en la norma.



*Figura 12:* Ensayo de compresión axial de bloques.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

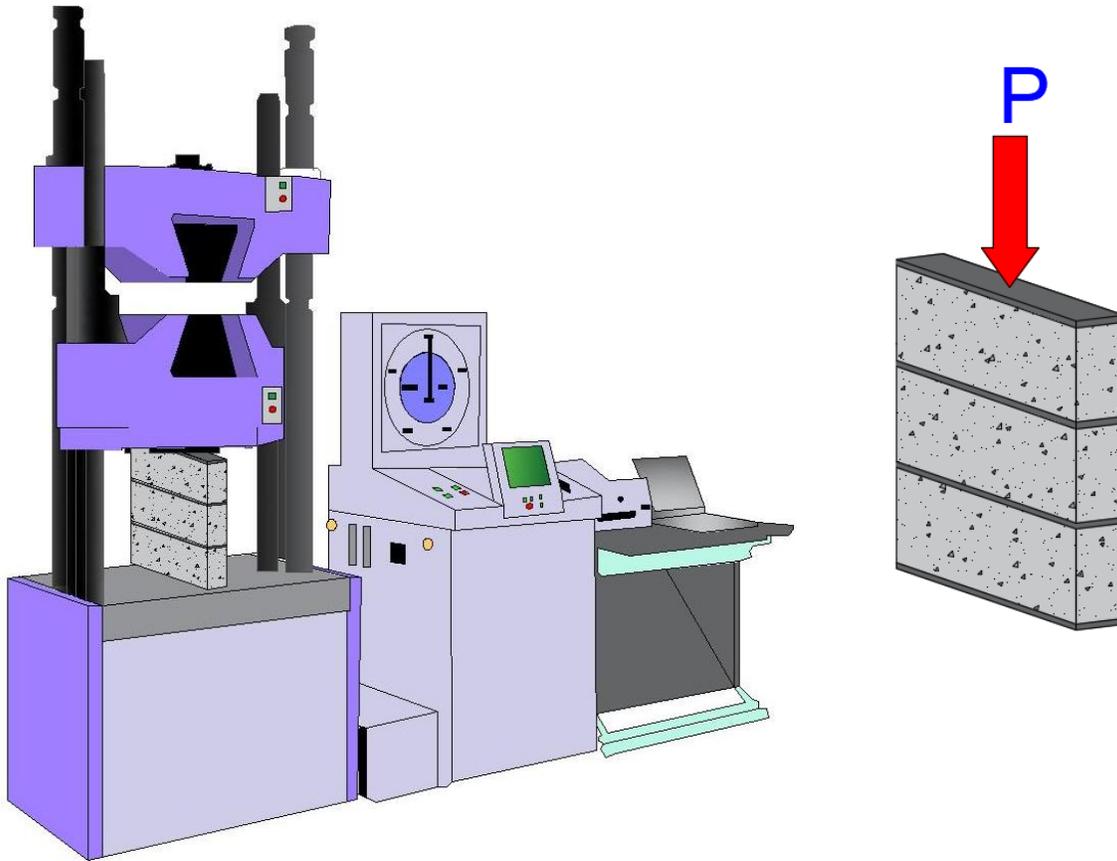
#### 4.2.3 Ensayos de pilas

Mediante este ensayo se determinó la resistencia a compresión simple y se conoció el comportamiento de los prismas tradicionales y los que incluyen material PET a los 28 días

de fraguado del mortero de pega (Figura 13). Basados en las recomendaciones de la norma ASTM C 1314 (ASTM C 1314,2016), se realizaron los ensayos en la máquina de prueba universal modelo UH-F500kNX fabricados por SHIMADZU CORPORATION, a una velocidad de carga de  $0.1 \text{ N/mm}^2/\text{s}$  (Figura 14).



**Figura 13:** Ensayo de compresión axial de pilas.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.



**Figura 14:** Esquema de la prueba de compresión en pilas  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

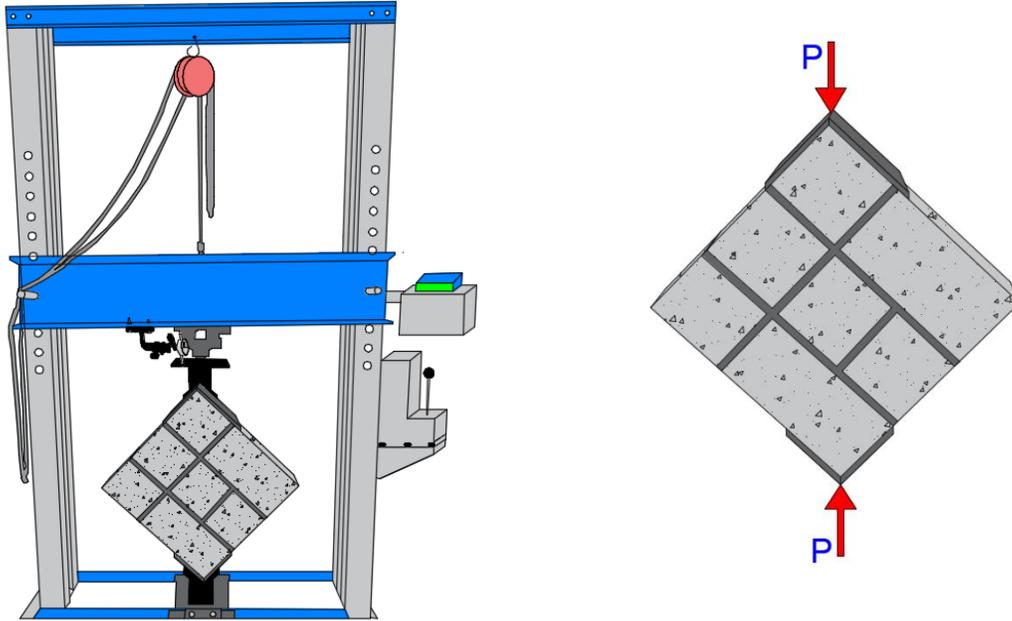
#### 4.2.4 Ensayos de paredes

A los 28 días de fraguado del mortero de pega se transportaron y se ensayaron las paredes mediante una prueba de compresión diagonal, para lo cual se utilizó un marco de pruebas para compresión de 50 toneladas en las paredes con adaptadores especiales y se aplicaron cargas de compresión diagonales (Figura 15). Se siguieron las recomendaciones de la norma NEC-SE-MP, se aplicó una velocidad de carga constante de  $0.2 \text{ N/mm}^2/\text{min}$  hasta llegar a la falla. Para los resultados se obtuvieron las deformaciones longitudinales con un dial de deformaciones, se midió la carga en un lector digital de presiones, se ensayaron tres pruebas

de compresión diagonal en paredes fabricadas con bloques tradicionales y tres pruebas fabricadas con bloques PET (Figura 16).



**Figura 15:** Ensayo de compresión diagonal de paredes.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.



*Figura 16:* Esquema de la prueba de compresión diagonal en paredes.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

#### **4.2.5 Análisis técnico-económico.**

Para el análisis de precios unitarios se tomaron en cuenta los costos actuales de cada uno de los materiales que se emplearon para la fabricación de bloques tradicionales y los bloques con PET. Los rendimientos actuales corresponden a la bloquera Escudero.

#### **4.2.6 Análisis y validación estadística.**

Se realizó una validación estadística en base al análisis de variabilidad de medias también conocido como ANOVA, el cual sirve para comparar medias de tres grupos o más y analizar los datos con observaciones múltiples. Plantea las siguientes suposiciones:

- Existe distribución normal en cada uno de los grupos.
- Existe homogeneidad de varianza en los grupos.
- Los grupos son totalmente independientes.

Se plantea una hipótesis nula ( $H_0$ ) donde la media de los grupos es igual y una hipótesis alterna ( $H_a$ ), al no ser iguales las medias en los grupos al menos una de las medias es distinta.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se describen los resultados obtenidos en esta investigación. En un inicio se realizó la caracterización de los bloques.

### 5.1 Resultados de los bloques tradicionales y PET a compresión simple y absorción.

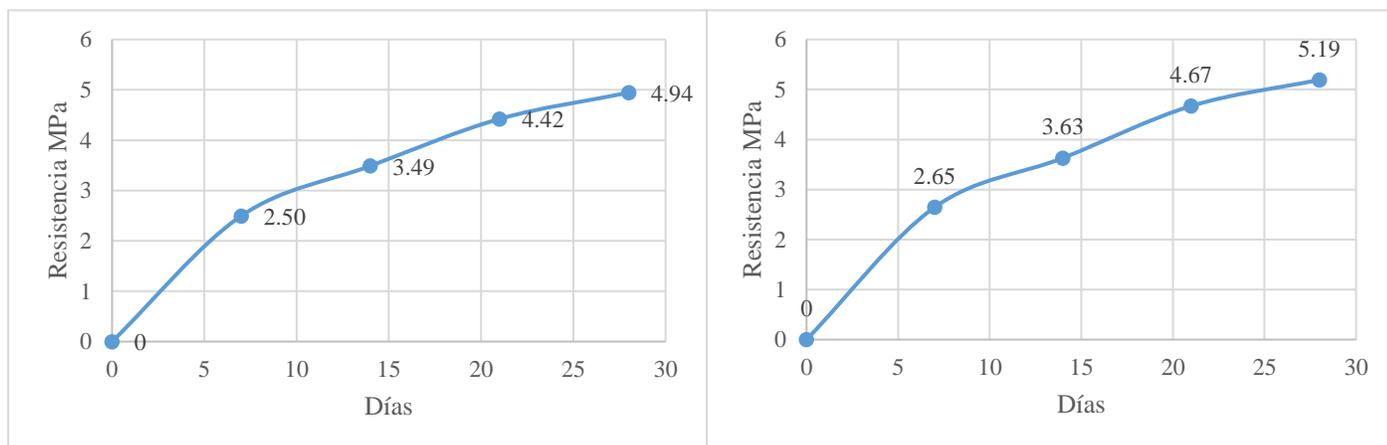
**Tabla 8** Resistencias promedio a la compresión de los bloques tradicional y bloques PET.

Dosificación	% PET	Proporciones	a/c	Edad (días)	Res. Bruta (MPa)	Res. Neta (MPa)	Res. Requerida (MPa)
Tradicional	0	1:2.4:2.77 (C:CH:P)	1.8	7	1.39	2.5	
				14	1.94	3.49	
				21	2.44	4.42	
				28	2.72	4.94	
1	10.86	1:6.93:5.63:1.22 (C:CH:P:PT)	2.0	7	0.4	0.7	4
2	7.27	1:8.15:4.79:0.85 (C:CH:P:PT)	2.0	7	0.23	0.4	
3	32.97	1:2.7:6.3:3 (C:CH:P:PT)	2.33	7	0.12	0.21	
4	21.75	1:8.15:4.79:3 (C:CH:P:PT)	2.33	7	0.19	0.32	
5	45.81	1:2.7:2.7:1.8 (C:P:M:PT)	1.4	7	0.62	1.08	
6	42.52	1:3.78:1.62:1.8 (C:P:M:PT)	1.4	7	0.63	1.09	
Final	25	1:5.03:0.9 (C:P:PT)	1.65	7	1.53	2.65	
				14	2.13	3.63	
				21	2.71	4.67	
				28	2.96	5.19	

**Nota:** C=Cemento; P=Polvo de piedra; CH=Chasqui; M=Macadán; PT=PET

En la Tabla 8 se puede evidenciar las dosificaciones al volumen que se han realizado empíricamente con sus resistencias promedio a la compresión. Con un porcentaje de inclusión del PET del 25% y la eliminación del chasqui de la dosificación tradicional, se obtuvo una resistencia promedio a la compresión del área neta de 5.19 MPa en la dosificación final en comparación a la compresión promedio de los bloques tradicionales, debido a que a

en ese porcentaje la resistencia neta promedio cumple con la normativa. A demás se optó por la inclusión del 25 % de PET, ya que al incluir un porcentaje mayor se perdió la adherencia del PET en la mezcla del hormigón y por lo tanto hubo fragilidad en la unidad de bloques fabricadas dando así resistencias bajas.



**Figura 17:** Curva Resistencia a compresión simple vs Tiempo de los bloques tradicionales y los bloques PET.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

En la Figura 17 se observa un aumento de la resistencia a compresión neta de los bloques PET en un 5.06% con relación a los bloques tradicionales a los 28 días, esto podría atribuirse a que se hizo una mejora en la dosificación final en la relación agua-cemento de 1.8 a 1.65.

**Tabla 9** *Absorción promedio de los bloques tradicional y bloques PET (28 días).*

Bloques	% PET	Edad (días)	Absorción %
Tradicional	0	28	19.48
PET	25		21.54

**Elaborado por:** Cerda, A. & Constante, K.

Como se puede ver en la Tabla 9, a la edad de los 28 días se obtuvo un aumento en la capacidad de absorción de agua del 10.57% en comparación con la absorción de los bloques tradicionales. Esto podría deberse a que el PET tiene una menor capacidad de adherencia a la mezcla de mortero, generando espacios vacíos.

## **5.2 Resultados de los ensayos de pilas y paredes tradicionales vs PET.**

Los resultados obtenidos en los ensayos de compresión simple en pilas y compresión diagonal en paredes se presentan en las siguientes tablas y gráficas (ver tablas 10, 11 y figura 18).

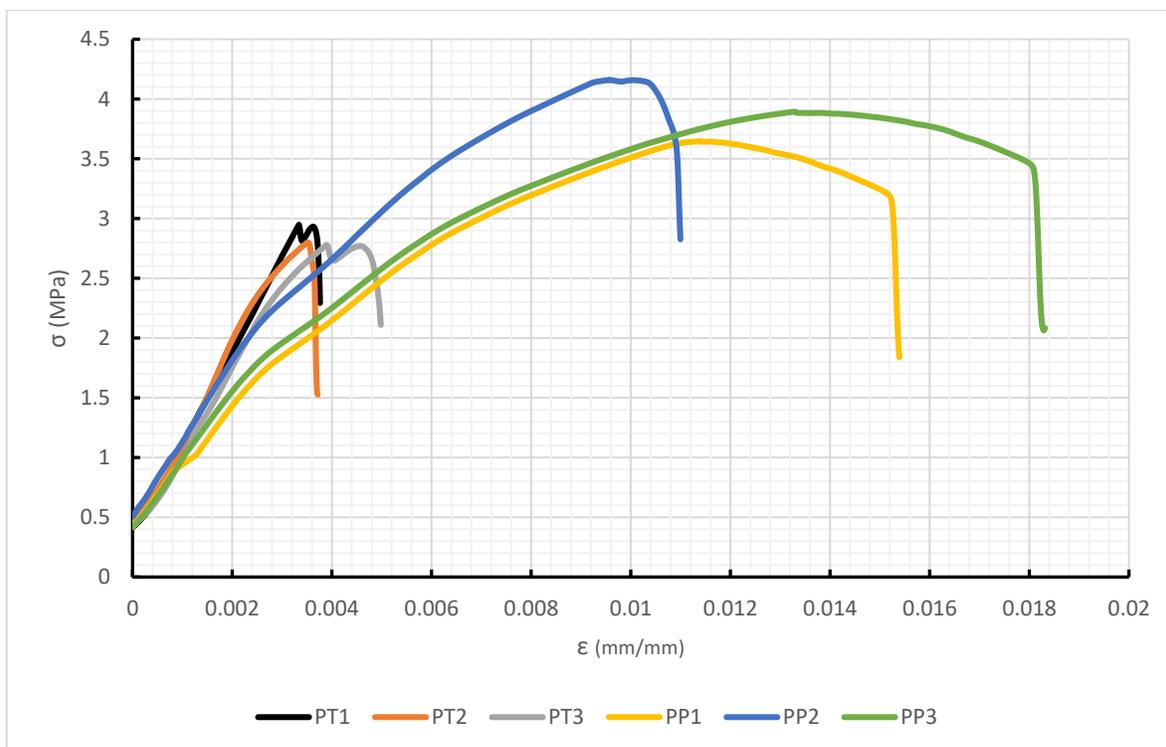
**Tabla 10** *Compresión en pilas tradicionales y PET (28 días).*

Mampostería	Espécimen	P(N)	Def. Max. (mm)	Def. Rot. (mm)	Esfuerzo Bruto $\sigma$ (MPa)	Esfuerzo Neto $\sigma$ (MPa)	Tipo de Falla	Def. Unit. Max. (mm/mm)	Def. Unit. Rot. (mm/mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Energía (J)
Bloques Trad.	PT1	70980.161	2.063	2.267	1.690	2.948	Falla cónica y grieta vertical	0.003339	0.003668	447.703	98.862
	PT2	58235.985	2.163	2.235	1.486	2.801	Falla cónica y grieta vertical	0.003511	0.003628	497.068	82.825
	PT3	64821.906	2.396	2.889	1.565	2.780	Falla cónica y grieta vertical	0.003890	0.004689	442.908	134.938
	Promedio	64679.351	2.207	2.463	<b>1.580</b>	<b>2.843</b>		<b>0.003580</b>	<b>0.003995</b>	<b>462.560</b>	<b>105.542</b>
	Des. Est.	6373.284	0.171	0.369	0.103	0.091		0.000282	0.000602	29.981	26.691
	CoV(%)	9.854	7.741	14.963	6.519	3.217		7.877	15.058	6.482	25.289
Bloques PET	PP1	85588.209	6.940	9.270	2.108	3.648	Grieta vertical con desprendimiento de pared	0.011377	0.015197	184.669	599.674
	PP2	82500.853	5.841	6.632	2.166	4.161	Falla por cortante	0.009575	0.010872	196.825	391.345
	PP3	93739.576	8.138	10.991	2.242	3.894	Falla de grieta vertical	0.013297	0.017959	244.514	433.664
	Promedio	87276.213	6.973	8.964	<b>2.172</b>	<b>3.901</b>		<b>0.011416</b>	<b>0.014676</b>	<b>208.669</b>	<b>474.894</b>
	Des. Est.	5806.397	1.149	2.196	0.067	0.257		0.001861	0.003572	31.632	110.114
	CoV(%)	6.653	16.477	24.494	3.084	6.587		16.305	24.342	15.159	23.187

En los resultados se han denotado a las probetas de pilas de bloques tradicionales con PT y a las probetas de pilas de bloques PET como PP. En la **Tabla 10** se muestran los datos más importantes de la compresión en pilas, éstas fueron los esfuerzos brutos, deformaciones, módulo elástico y energía. Los esfuerzos brutos de compresión de las pilas con PET tuvieron un incremento de 37.47% y el esfuerzo neto a su vez se incrementó en un 37.21%.

Las deformaciones unitarias máximas de las pilas con PET tuvieron un incremento de 218.91%. Los módulos de elasticidad de las pilas con PET son menores a las tradicionales en un 54.88 % y la energía es mayor en un 349.96%, estos resultados demuestran que las pilas con PET son menos rígidas y más resistentes, y al ser mayor la capacidad de deformación, nos da una mayor capacidad de absorber energía. Esto se podría deberse a la inclusión de un material altamente deformable como el PET dentro de la mezcla y que genera una acción de microrefuerzo en el medio, mejorando la ductilidad de la mezcla endurecida.

En la Figura 18 se observa la curva esfuerzo vs deformación de los resultados de compresión simple en pilas tradicionales y PET. En las curvas de las pilas con PET se observa que sus pendientes son menores a la de las pilas tradicionales por ende son menos rígidas. Además, existe una prolongación mayor de la deformación unitaria. Las pilas con PET llegan a la rotura a esfuerzos altos, pero no se recuperan una vez llegado al esfuerzo máximo.



**Figura 18:** Curva Esfuerzo neto vs deformación unitaria de las pilas tradicionales y PET (28 días).  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

En la **Tabla 11** se muestran los datos de compresión diagonal en paredes en donde se obtuvieron esfuerzos a corte y deformaciones de rotura.

**Tabla 11** *Compresión diagonal en paredes tradicionales y PET (28 días).*

Mampostería	Espécimen	P(N)	Acortamiento Vertical Rot. (mm)	Esfuerzo a Corte $\tau$ (MPa)	Def. Unit. Rot. $\gamma$	Tipo de falla
Paredes Trad.	MT1	18953.685	0.980	0.353	0.001136	Falla por deslizamiento
	MT2	26126.742	1.800	0.468	0.002071	Falla por tensión diagonal en bloques
	MT3	18733.541	1.570	0.378	0.001811	Falla por deslizamiento
	Promedio	21271.323	1.45	<b>0.400</b>	<b>0.001673</b>	
	Des. Est.	4206.357	0.423	0.061	0.000483	
	CoV(%)	19.775	29.170	15.150	28.859	
Paredes PET	MP1	22614.431	1.764	0.397	0.002077	Falla por deslizamiento
	MP2	32398.555	3.060	0.620	0.003515	Falla por deslizamiento y aplastamiento
	MP3	25123.265	2.748	0.468	0.003172	Falla por deslizamiento
	Promedio	26712.084	2.524	<b>0.495</b>	<b>0.002921</b>	
	Des. Est.	5081.882	0.676	0.114	0.000751	
	CoV(%)	19.025	26.798	22.989	25.716	

En los resultados se han denotado a las probetas de paredes de bloques tradicionales con MT y a las probetas de paredes de bloques PET como MP. Se muestra una diferencia en los resultados de las paredes con PET en comparación a las paredes tradicionales. Se obtuvo un incremento de 23.83 % del esfuerzo a corte respectivamente. Esto podría atribuirse a la mayor capacidad de las paredes con bloques PET de resistir los esfuerzos de corte en su propio plano gracias a la buena mejorada adherencia entre el mortero de pega y el bloque. La pared con PET que alcanzó la mayor resistencia al corte presentó una falla combinada entre unidades de bloque y junta, es decir con esfuerzos combinados de corte y compresión debido a que el PET tiene menos planos de falla que el chasqui, además el PET posee propiedades en sus fibras de polímero con efecto reforzante con una menor rigidez y dureza, pero de mejor resistencia a cualquier impacto.

La deformación unitaria de rotura presentó un aumento de 74.64 % en las paredes PET con relación a las paredes tradicionales, debido a su menor rigidez y mayor capacidad de deformarse y llegar a la rotura cuando se encuentra sometida a cargas altas.

### **5.3 Fallas en las pilas y paredes tradicionales vs PET.**

La falla más común presentada en las pilas tradicionales ensayadas por compresión axial fue la falla cónica y grieta vertical (Figura 19), esto podría deberse a que los bloques son más resistentes que el mortero de pega y este se expande provocando grietas verticales y fisuras en forma cónica.

En las pilas con PET las fallas presentadas fueron más evidentes que las tradicionales, debido a que tuvieron un comportamiento menos rígido, de esta manera deformándose más hasta llegar a la rotura. En las pilas PET se vieron fallas de grieta vertical con desprendimiento de pared (Figura 20-a), y la falla por cortante (Figura 20-b), dado a la liberación de energía causada por la máquina de ensayo.

Las fallas más comunes presentadas en las paredes ensayadas por compresión diagonal fueron las fallas por deslizamiento, estas se presentan cuando hay pérdida de adherencia entre los bloques y el mortero de junta como se puede apreciar en las figuras 21-a y 22 a-b respectivamente, estas fallas fueron más evidentes en las paredes con PET. La falla por tensión diagonal en bloques se presentó únicamente en la pared tradicional (Figura 21-b), se dio grietas a lo largo de la diagonal de la pared por la baja resistencia de la unidad del bloque respecto al mortero de junta. En la figura 22-b se puede apreciar que la pared tuvo fallas por deslizamiento y aplastamiento, la falla por aplastamiento se presenta en las esquinas donde se aplica la carga en la pared por la acumulación de esfuerzos de compresión.



**Figura 19:** Falla cónica y grieta vertical en pilas tradicionales.



**Figura 20:** Falla de grieta vertical con desprendimiento (a) y falla por cortante (b) en pilas PET.



**Figura 21:** Falla por deslizamiento (a) y falla por tensión diagonal en bloques (b) en paredes tradicionales.



**Figura 22:** Falla por deslizamiento (a) y falla por deslizamiento y aplastamiento en paredes PET.

**5.4 Análisis de varianza de las pilas y paredes tradicionales y PET.**

**Bloques**

**Tabla 12** Análisis de varianza de bloques tradicionales vs PET.

Análisis de datos de unidades de bloques	Criterios de comparación	Probabilidad	Conclusión
Compresión simple	Trad vs PET	0.08448711	NO
Absorción		0.12330254	NO

En la resistencia a compresión simple y absorción de los bloques tradicionales y PET no hay diferencias significativas en las medias.

### Pilas

**Tabla 13** *Análisis de varianza de pilas tradicionales vs PET.*

Análisis de datos de pilas	Criterios de comparación	Probabilidad	Conclusión
Esfuerzo bruto	Trad vs PET	0.00113099	SI
Módulo de elasticidad		0.00054283	SI
Energía		0.00484555	SI
Deformación unitaria máxima		0.00196219	SI

Si hay diferencias significativas en las medias de los esfuerzos brutos, módulo de elasticidad, energía y deformación.

### Paredes

**Tabla 14** *Análisis de varianza de paredes tradicionales vs PET.*

Análisis de datos de muretes	Criterios de comparación	Probabilidad	Conclusión
Esfuerzo a corte	Trad vs PET	0.269699804	NO
Deformación unitaria de rotura		0.072559782	NO

No hay diferencias significativas en las medias de los esfuerzos a corte y deformación unitaria de rotura.

A pesar de que estadísticamente no hay diferencias significativas en los resultados de las paredes ensayadas a compresión diagonal tanto en esfuerzo a corte y deformación unitaria, los incrementos están presentes, las paredes con PET son más resistentes y se deforman más que las tradicionales, sin embargo, las diferencias significativas podrían haberse manifestado al ensayar un mayor número de paredes.

## 5.5 Resultados del análisis económico de la fabricación de las paredes con bloques tradicionales y con bloques PET.

Se realizó el costo por 1m<sup>2</sup> de las paredes analizadas en esta investigación.

A continuación, se presenta el análisis de precios unitarios de los bloques tradicionales y los bloques con un porcentaje del 25% de PET.

**Tabla 15** Análisis de precios unitarios bloques tradicionales.

<b>RUBRO:</b> 1					
<b>DETALLE:</b> FABRICACION DE BLOQUES TRADICIONALES (40X20X10) CM					
<b>UNIDAD:</b> U					
EQUIPOS (E)					
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>HORA C=AXB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CXR</i>
Herramienta menor 5% de la M.O					
BLOQUERA	1	2.5	2.5	0.01	0.025
<b>SUBTOTAL E</b>					0.025
MANO DE OBRA (MO)					
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>HORA C=AXB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CXR</i>
PEONEO EO E2	2	3.6	7.2	0.01	0.072
ALBAÑIL EO D2	1	3.65	3.65	0.01	0.037
<b>SUBTOTAL MO</b>					0.109
MATERIALES (M)					
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO</i>	
CEMENTO	KG	0.61	0.1	0.061	
CHASQUI	M3	0.003963	12	0.048	
POLVO DE PIEDRA	M3	0.002378	15	0.036	
AGUA	LT	1.09	0.0005	0.001	
<b>SUBTOTAL M</b>					0.145
TOTAL COSTO DIRECTO (E+MO+M)					0.278
COSTO INDIRECTO (I) (10%)					0.028
UTILIDAD (U) (5%)					0.014
<b>COSTO TOTAL (E+MO+M+I+U)</b>					<b>0.32</b>

Elaborado por: Cerda, A., & Constante, K.

**Tabla 16** Análisis de precios unitarios bloques PET.

<b>RUBRO:</b> 2					
<b>DETALLE:</b> FABRICACION DE BLOQUES PET (40X20X10) CM					
<b>UNIDAD:</b> U					
<b>EQUIPOS (E)</b>					
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>HORA C=AXB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CXR</i>
Herramienta menor 5% de la M.O					
BLOQUERA	1	2.5	2.5	0.01	0.025
<b>SUBTOTAL E</b>					0.025
<b>MANO DE OBRA (MO)</b>					
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>HORA C=AXB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CXR</i>
PEONEO EO E2	2	3.6	7.2	0.01	0.072
ALBAÑIL EO D2	1	3.65	3.65	0.01	0.037
<b>SUBTOTAL MO</b>					0.109
<b>MATERIALES (M)</b>					
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO</i>	
CEMENTO	KG	0.67	0.1	0.067	
POLVO DE PIEDRA	M3	0.004756	15	0.071	
AGUA	LT	1.09	0.0005	0.001	
PET TRITURADO	KG	0.6	0.2	0.120	
<b>SUBTOTAL M</b>					0.259
TOTAL COSTO DIRECTO (E+MO+M)					0.392
COSTO INDIRECTO (I) (10%)					0.039
UTILIDAD (U) (5%)					0.020
COSTO TOTAL (E+MO+M+I+U)					0.45

**Elaborado por:** Cerda, A., & Constante, K.

**Tabla 17** Análisis de precios unitarios paredes con bloques tradicionales.

<b>RUBRO:</b> 3					
<b>DETALLE:</b> FABRICACIÓN DE PAREDES DE 1x1 M2 CON BLOQUES TRAD. (40X20X10) CM					
<b>UNIDAD:</b> M2					
<b>EQUIPOS (E)</b>					
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>HORA C=AXB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CXR</i>	
Herramienta menor 5% de la M.O				0.097875	
<b>SUBTOTAL E</b>				0.097875	
<b>MANO DE OBRA (MO)</b>					
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>HORA C=AXB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CXR</i>
PEONEO EO E2	1	3.6	3.6	0.27	0.972
ALBAÑIL EO D2	1	3.65	3.65	0.27	0.986
<b>SUBTOTAL MO</b>				1.958	
<b>MATERIALES (M)</b>					
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO</i>	
BLOQUES	U	12.5	0.32	4.000	
CEMENTO	KG	7.35	0.1	0.735	
MACADÁN	M3	0.0357	10	0.357	
AGUA	LT	2.9	0.0005	0.001	
<b>SUBTOTAL M</b>				5.094	
				TOTAL COSTO DIRECTO (E+MO+M)	
				7.149	
				COSTO INDIRECTO (I) (10%)	
				0.715	
				UTILIDAD (U) (5%)	
				0.357	
				COSTO TOTAL (E+MO+M+I+U)	
				8.22	

**Elaborado por:** Cerda, A., & Constante, K.

**Tabla 18** Análisis de precios unitarios paredes con bloques PET.

<b>RUBRO:</b> 4					
<b>DETALLE:</b> FABRICACIÓN DE PAREDES DE 1x1 M2 CON BLOQUES PET (40X20X10) CM					
<b>UNIDAD:</b> M2					
<b>EQUIPOS (E)</b>					
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>HORA C=AXB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CXR</i>	
Herramienta menor 5% de la M.O				0.097875	
<b>SUBTOTAL E</b>					0.097875
<b>MANO DE OBRA (MO)</b>					
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>HORA C=AXB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CXR</i>
PEONEO EO E2	1	3.6	3.6	0.27	0.972
ALBAÑIL EO D2	1	3.65	3.65	0.27	0.986
<b>SUBTOTAL MO</b>					1.958
<b>MATERIALES (M)</b>					
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO</i>	
BLOQUES	U	12.5	0.45	5.641	
CEMENTO	KG	7.35	0.1	0.735	
MACADÁN	M3	0.0357	10	0.357	
AGUA	LT	2.9	0.0005	0.001	
<b>SUBTOTAL M</b>					6.734
TOTAL COSTO DIRECTO (E+MO+M)					8.789
COSTO INDIRECTO (I) (10%)					0.879
UTILIDAD (U) (5%)					0.439
<b>COSTO TOTAL (E+MO+M+I+U)</b>					<b>10.11</b>

**Elaborado por:** Cerda, A., & Constante, K.

Al realizar el análisis de precios unitarios por m2 de la pared con bloques tradicionales y la pared con bloques PET, se obtuvo que la pared tradicional tiene un costo de 8.22 dólares americanos, la pared con bloques PET de 10.11 dólares americanos.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

- En el ensayo de resistencia a la compresión simple de bloques se pudo determinar que la resistencia del bloque tradicional es de 4.94 MPa y del bloque PET es de 5.19 MPa. Con estos valores se pueden concluir que sus resistencias son mayores a la mínima resistencia a la compresión de 4 MPa establecida en la norma INEN 3066 para los bloques clase B (bloque no estructural).

- En los bloques PET hay un incremento de 10.57% en la capacidad de absorción, en comparación con el bloque tradicional, lo que nos indica que los bloques fabricados con PET son más porosos.

- La masa de los bloques con reemplazo del 25 % de PET se redujo en 9.51% respecto al bloque tradicional. Esto conduce a la reducción de la carga muerta en una estructura que emplee este tipo de bloque alternativo.

- En los ensayos de compresión axial de las pilas, los esfuerzos netos de compresión simple fueron mayores en un 37,21% en las pilas con PET en relación con las tradicionales, soportando más carga y con una mayor capacidad de deformación al llegar a la falla.

- En los ensayos de compresión diagonal en paredes, los esfuerzos de corte de las probetas preparadas con bloques PET fueron mayores en un 23.83% en comparación a las tradicionales.

- En el análisis económico realizado de las paredes tradicionales vs PET por m<sup>2</sup> de construcción, se tiene un costo más elevado en las que se utilizan PET como agregado alternativo. El incremento en el costo de 23 % se da porque aún no se industrializa el proceso de triturado del PET para el sector de la construcción y los costos varían significativamente

y sin control entre quienes brindan los servicios de triturados (industrias de restauración y reciclado del plástico).

- En la fabricación de paredes elaboradas con bloques PET existen varias ventajas, tales como: la inclusión de un material amigable con el medio ambiente y una mejora en las respuestas mecánicas de las paredes tradicionales.

## **6.2 Recomendaciones**

- Se recomienda ensayar por lo menos cinco muestras para obtener resultados más precisos.
- Para conocer el comportamiento acústico se recomienda realizar ensayos de impacto de ruido a los bloques con PET.
- Se recomienda realizar pruebas de impacto al fuego de los bloques con PET para conocer la conductividad térmica a altas temperaturas.
- Se recomienda realizar una mayor compactación en el proceso de fabricación de los bloques tradicionales y PET para evitar vacíos.
- Se recomienda realizar un análisis técnico económico del proceso de producción del PET.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala, M., Hernández, M. & Loor, N., (2012). *"Proyecto de Ecoeficiencia reciclaje de botellas (PET)"*. Quito-Ecuador. UEES.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2010). Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en ALC 2010. Recuperado de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Informe-de-la-evaluaci%C3%B3n-regional-del-manejo-de-residuos-s%C3%B3lidos-urbanos-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-2010.pdf>
- Córdova, M. & Portugal, J., (2014). *"Determinación y obtención de la curva esfuerzo vs tiempo de un concreto de alta resistencia mediante aditamento de microsílice y superplastificantes en la mezcla, utilizando agregados, de la cantera flores y cemento Chimborazo."* Riobamba-Ecuador. UNACH
- Espinosa, X., (2018). *"Prácticas de análisis y diseño sismo-resistente de muros de mampostería no estructural de hormigón y arcilla"*. Quito-Ecuador. USFQ.
- Fernández, L., Marín, F., Varela, J. & Vargas, G., (2009). *"Determinación de la resistencia diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto"*. Mérida-México. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Gaggino, R., (2009). Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción. *Revista Invi*,23(63).
- Gómez, E. & Guzmán, M., (2019). *"Comparación entre las propiedades físicas y mecánicas de los bloques fabricados con viruta de plástico PET y los bloques tradicionales de acuerdo a la norma NTE INEN 3066"*. Quito-Ecuador. UCE.
- Guaño, E., (2015). *"Módulo de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión de 21 MPa, elaborado con agregados del sector la providencia y cemento"*

- Chimborazo*". Riobamba-Ecuador. UNACH
- Izurieta, C., (2015). "*Empresa de reciclaje para el manejo sustentable de los residuos sólidos: papel, plástico y cartón en la ciudad de Riobamba, periodo 2015*". Riobamba-Ecuador. UNACH
- Llerena, J., (2019). "*Reforzamiento a cortante en paredes de ladrillo, bloque y adobe utilizando materiales compuestos FRCM de cabuya*". Riobamba-Ecuador. UNACH
- Mejía, J. & Pachacama, N., (2018). "*Diseño de bloques para mampostería en obras civiles con agregados de fibras de caucho de neumático y plástico reciclado (PET)*". Quito-Ecuador. ESPE.
- Moreno, R. & Cañizares, F., (2011). "*Agregado alternativo para fabricación de bloques y adoquines en base a polítilen tereftalato*". Quito-Ecuador. EPN.
- Norma Técnica Ecuatoriana. (2009). NTE INEN 156. *Cemento hidráulico. Determinación de la densidad*. Quito, Ecuador.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014). NEC-SE-MP. *Mampostería estructural*. Quito, Ecuador.
- Norma Técnica Ecuatoriana. (2016). NTE INEN 3066. *Bloques de hormigón. requisitos y métodos de ensayo*. Quito, Ecuador.
- Núñez, B., (2019). "*Caracterización de la curva esfuerzo-deformación de prismas de mampostería con bloques de concreto de 120 mm y 150 mm de espesor bajo carga axial concéntrica*". Costa Rica. Universidad de Costa Rica.
- Porras, O., (2018). "*Diseño y Elaboración de Bloques de Hormigón Sostenibles Cumpliendo las Normas "NTE INEN", Mejorando las Características Físicas Mediante la Corrección de Procesos de Fabricación en la Provincia de Cotopaxi.*". Quito-Ecuador. PUCE.

- Pucha, F. & Llanga, X., (2010). "*Propuesta de vivienda popular conformada por paredes portantes de concreto elaborado con material reciclado*". Riobamba-Ecuador. UNACH
- Quimbiamba, G., (2017). "*Análisis de las propiedades mecánicas de los elementos de Mamposterías (jaboncillo) empleados en la construcción de Viviendas en la ciudad de Portoviejo*". Quito-Ecuador. UCE.
- Quishpi, B. & Guevara, J., (2012). "*Desarrollo de la metodología para producir bloques huecos de hormigón tipo A que cumpla con las especificaciones técnicas de la norma INEN 643 y su aplicabilidad en la construcción de viviendas populares tipo MIDUVI*". Riobamba-Ecuador. UNACH.
- Salazar, A., (2016). "*Obtención de concreto de alta resistencia mediante el uso de superplastificantes en la mezcla, para su aplicación en elementos estructurales hasta alcanzar una resistencia a la compresión de 50 MPa*". Riobamba-Ecuador. UNACH.

## 8. ANEXOS

### 8.1 Anexo 1. Densidad del cemento

$$\rho = \frac{\text{masa del cemento}}{\text{volumen desplazado}}$$

Donde:

$$\rho = \text{densidad del cemento } \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$$

$m$  = masa del cemento (g)

$v$  = volumen desplazado (cm<sup>3</sup>)

**Tabla 19** Densidad del cemento Chimborazo.

Descripción:	Unidad	E1	E2	E3	E4	E5
Masa frasco Le Chatelier vacío (A)	g	125	125	125	125	125
Masa inicial frasco Le Chatelier + cemento (B)	g	189	189	189	189	189
Lectura inicial del frasco Le Chatelier + gasolina (C)	cm <sup>3</sup>	0.78	0.8	0.89	0.77	0.9
Masa del frasco Le Chatelier + gasolina (D)	g	338.3	338.9	337.6	338.5	337.8
Lectura final del frasco Le Chatelier + gasolina (E)	cm <sup>3</sup>	21.6	21.9	22.2	21.9	22.1
Masa inicial del cemento (F)	g	64	64	64	64	64
Masa final del frasco Le Chatelier + cemento + gasolina (G)	g	402	401.5	401.8	401.2	402.3
Masa del cemento en el frasco Le Chatelier (H=G-D)	g	63.7	62.6	64.2	62.7	64.5
Volumen del cemento (I=E-C)	cm <sup>3</sup>	20.82	21.1	21.31	21.13	21.2
<b>Densidad (J=H/I)</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>3.06</b>	<b>2.97</b>	<b>3.01</b>	<b>2.97</b>	<b>3.04</b>
<b>Densidad promedio</b>	<b>3.01</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>				
<b>Desviación estándar</b>	0.0424					
<b>Coefficiente de variación</b>	0.0141					

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

### 8.2 Anexo 2. Análisis Granulométrico de los agregados

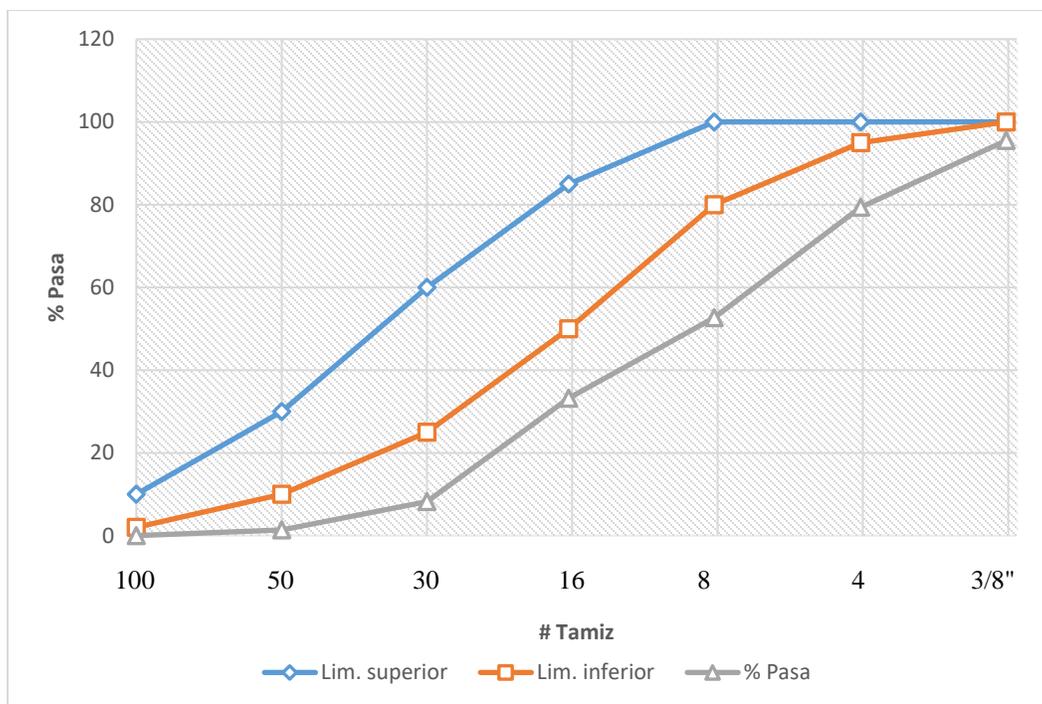
$$MF = \frac{\Sigma \% \text{Retenido acumulado}}{100\%}$$

#### 8.2.1 Anexo 2.1 Análisis Granulométrico de los agregados (macadán)

**Tabla 20** Ensayo de granulometría (macadán) E1.

Tamices		Masa retenida		Porcentajes acumulados		LÍMITES	Límite inferior	Límite superior
mm	pulg.	Parcial (gr)	Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa			
9.5	3/8 "	23	23	5	95	100	100	100
4.75	N°4	82	105	21	79	95-100	95	100
2.36	N°8	136	241	47	53	80-100	80	100
1.18	N°16	99	340	67	33	50-85	50	85
0.6	N°30	127	467	92	8	25-60	25	60
0.3	N°50	35	502	99	1	10-30	10	30
0.15	N°100	7	509	100	0	2-10	2	10
<b>Bandeja</b>		0						
<b>Masa Total</b>		509						
<b>M.F.</b>		<b>4.30</b>						
<b>Tamaño máximo</b>		<b>3/8 "</b>						

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

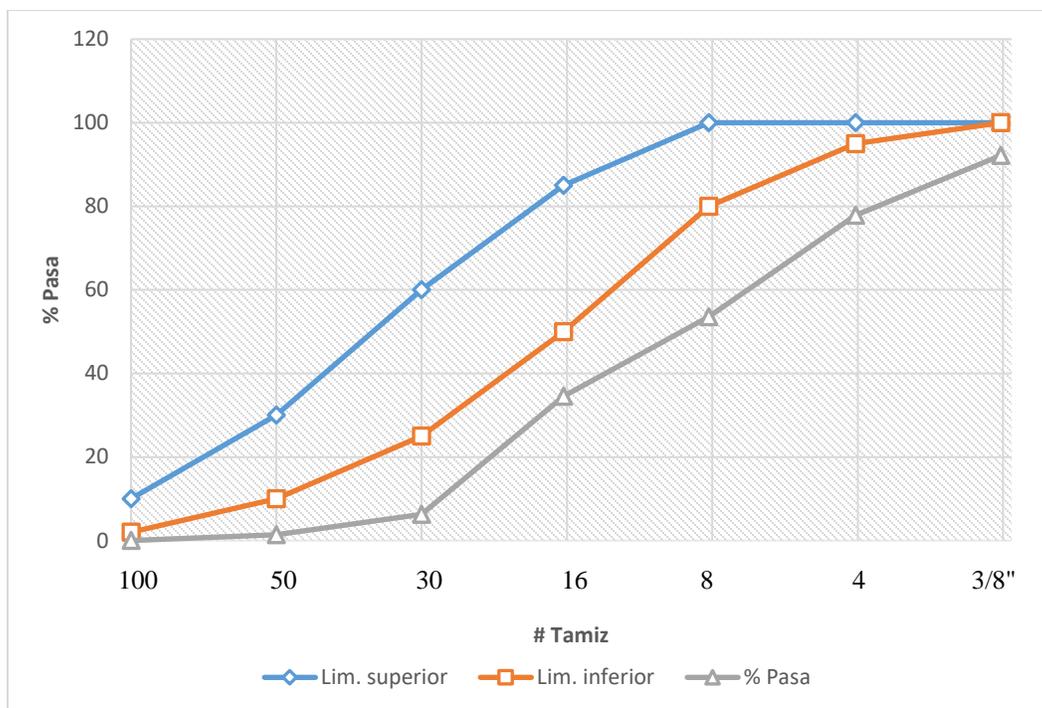


**Figura 23:** Curva de la granulometría (macadán) E1.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

**Tabla 21** Ensayo de granulometría (macadán) E2.

Tamices mm	Masa retenida Parcial (gr)	Masa retenida Acumulada (gr)	Porcentajes acumulados		LÍMITES	Límite inferior	Límite superior
			% Retenido	% Pasa			
9.5 3/8 "	40	40	8	92	100	100	100
4.75 N°4	73	113	22	78	95-100	95	100
2.36 N°8	124	237	46	54	80-100	80	100
1.18 N°16	97	334	65	35	50-85	50	85
0.6 N°30	144	478	94	6	25-60	25	60
0.3 N°50	25	503	99	1	10-30	10	30
0.15 N°100	7	510	100	0	2-10	2	10
<b>Bandeja</b>	0						
<b>Masa Total</b>	510						
<b>M.F.</b>	<b>4.34</b>						
<b>Tamaño máximo</b>	<b>3/8 "</b>						

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

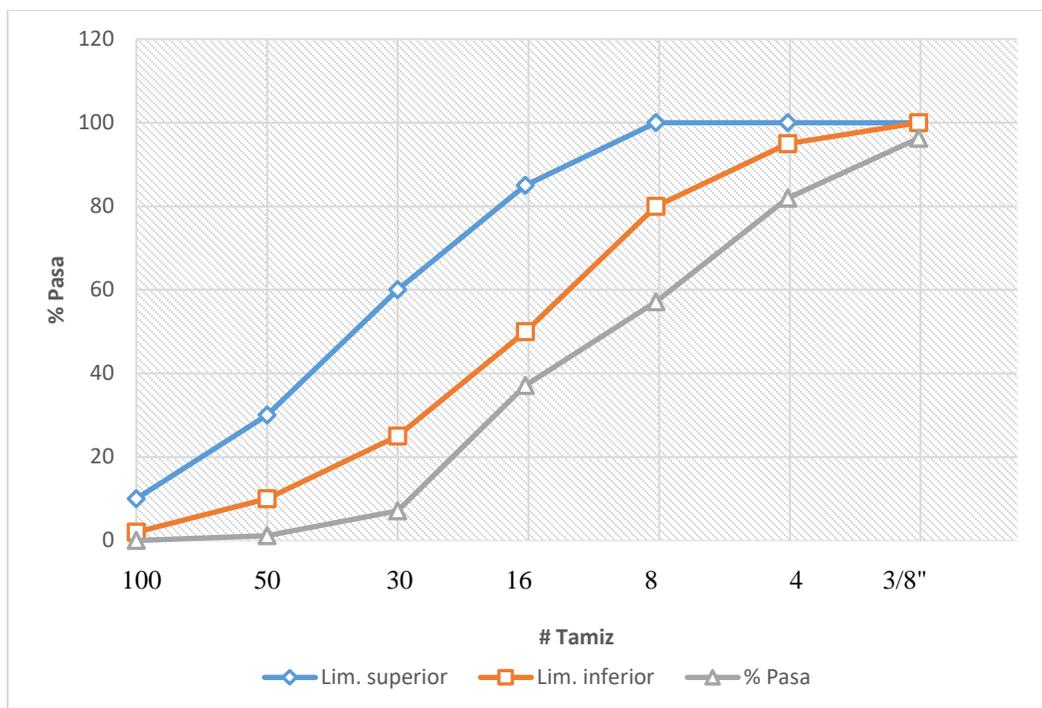


**Figura 24:** Curva de la granulometría (macadán) E2.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

**Tabla 22** Ensayo de granulometría (macadán) E3.

Tamices		Masa retenida		Porcentajes acumulados		LÍMITES	Límite inferior	Límite superior
mm	pulg.	Parcial (gr)	Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa			
9.5	3/8 "	19	19	4	96	100	100	100
4.75	N°4	73	92	18	82	95-100	95	100
2.36	N°8	126	218	43	57	80-100	80	100
1.18	N°16	102	320	63	37	50-85	50	85
0.6	N°30	153	473	93	7	25-60	25	60
0.3	N°50	30	503	99	1	10-30	10	30
0.15	N°100	6	509	100	0	2-10	2	10
<b>Bandeja</b>		0						
<b>Masa Total</b>		509						
<b>M.F.</b>		<b>4.19</b>						
<b>Tamaño máximo</b>		<b>3/8 "</b>						

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

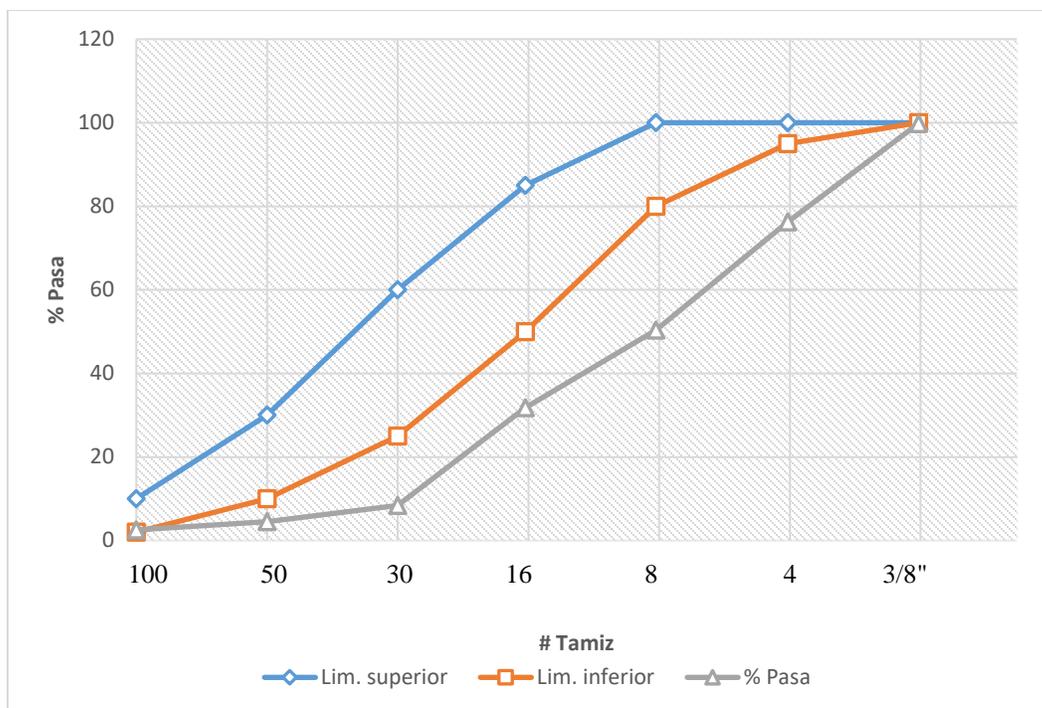


**Figura 25:** Curva de la granulometría (macadán) E3.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

**Tabla 23** Ensayo de granulometría (macadán) E4.

Tamices		Masa retenida		Porcentajes acumulados		LÍMITES	Límite inferior	Límite superior
mm	pulg.	Parcial (gr)	Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa			
9.5	3/8 "	14	1	0	100	100	100	100
4.75	N°4	120	121	24	76	95-100	95	100
2.36	N°8	132	253	50	50	80-100	80	100
1.18	N°16	95	348	68	32	50-85	50	85
0.6	N°30	119	467	92	8	25-60	25	60
0.3	N°50	20	487	95	5	10-30	10	30
0.15	N°100	10	497	97	3	2-10	2	10
<b>Bandeja</b>		0						
<b>Masa Total</b>		510						
<b>M.F.</b>		4.26						
<b>Tamaño máximo</b>		3/8 "						

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

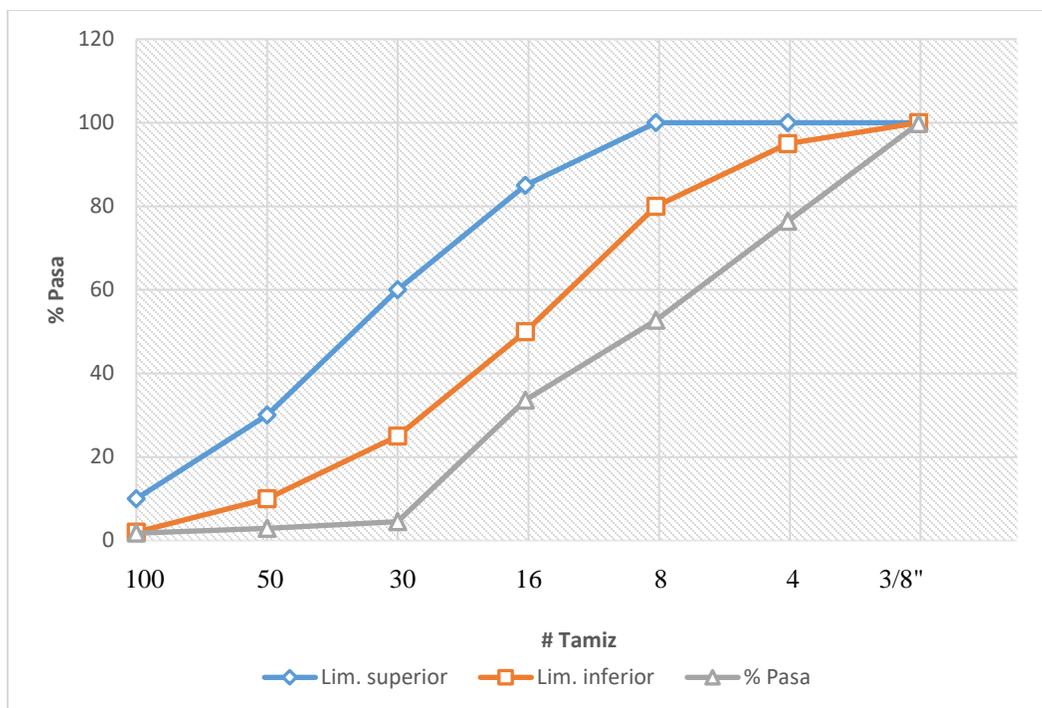


**Figura 26:** Curva de la granulometría (macadán) E4.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

**Tabla 24** Ensayo de granulometría (macadán) E5.

Tamices		Masa retenida		Porcentajes acumulados		LÍMITES	Límite inferior	Límite superior
mm	pulg.	Parcial (gr)	Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa			
9.5	3/8 "	10	1	0	100	100	100	100
4.75	N°4	120	121	24	76	95-100	95	100
2.36	N°8	121	242	47	53	80-100	80	100
1.18	N°16	98	340	66	34	50-85	50	85
0.6	N°30	149	489	96	4	25-60	25	60
0.3	N°50	8	497	97	3	10-30	10	30
0.15	N°100	6	503	98	2	2-10	2	10
<b>Bandeja</b>		0						
<b>Masa Total</b>		512						
<b>M.F.</b>		4.28						
<b>Tamaño máximo</b>		3/8 "						

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.



**Figura 27:** Curva de la granulometría (macadán) E5.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

**Tabla 25** Resultado promedio del módulo de finura del agregado macadán

<b>Módulo de finura promedio</b>	4.28
<b>Desviación estándar</b>	0.0551
<b>Coefficiente de variación</b>	0.0129

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

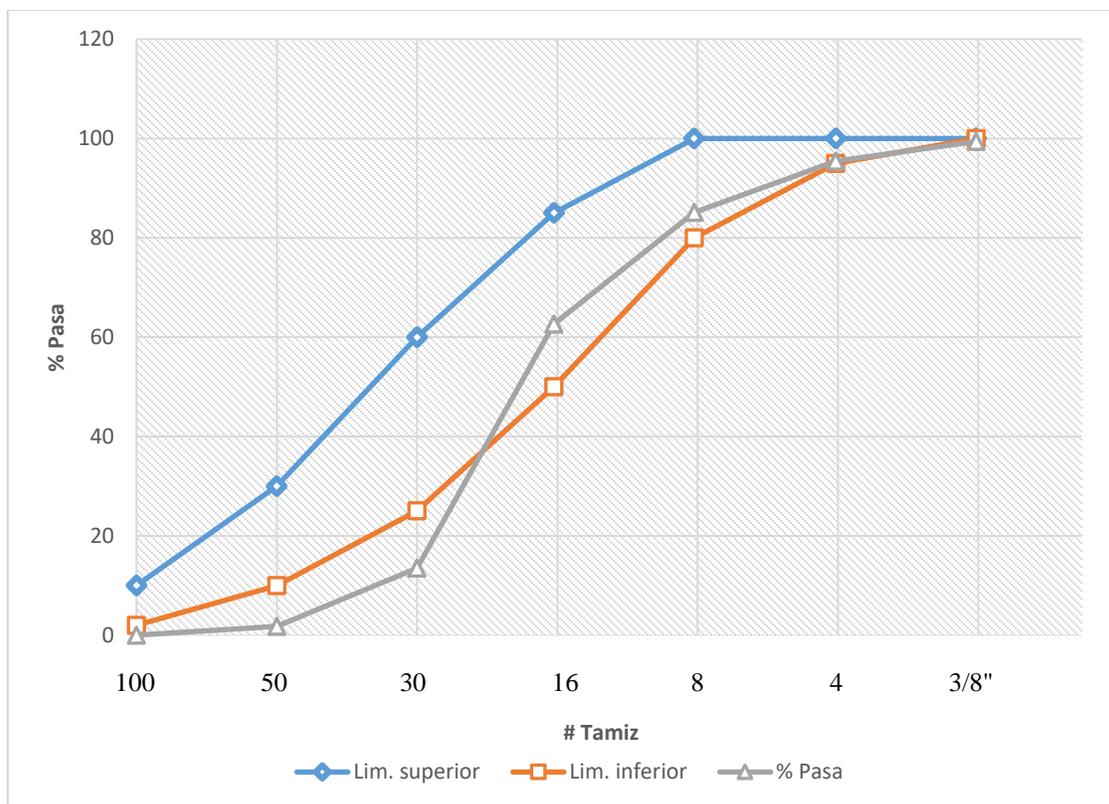
### 8.2.2 Anexo 2.2 Análisis Granulométrico de los agregados (polvo de piedra)

**Tabla 26** Ensayo de granulometría (polvo de piedra) E1.

Tamices		Masa retenida		Porcentajes acumulados		LÍMITES	Límite inferior	Límite superior
mm	pulg.	Parcial (gr)	Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa			
9.5	3/8 "	3	3	1	99	100	100	100
4.75	N°4	20	23	5	95	95-100	95	100
2.36	N°8	52	75	15	85	80-100	80	100
1.18	N°16	113	188	37	63	50-85	50	85
0.6	N°30	247	435	86	14	25-60	25	60
0.3	N°50	59	494	98	2	10-30	10	30
0.15	N°100	9	503	100	0	2-10	2	10
<b>Bandeja</b>		0						
<b>Masa Total</b>		503						
<b>M.F.</b>		3.42						
<b>Tamaño máximo</b>		3/8 "						

$$MF = \frac{\Sigma\%RA(\text{excepto la bandeja})}{100\%}$$

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

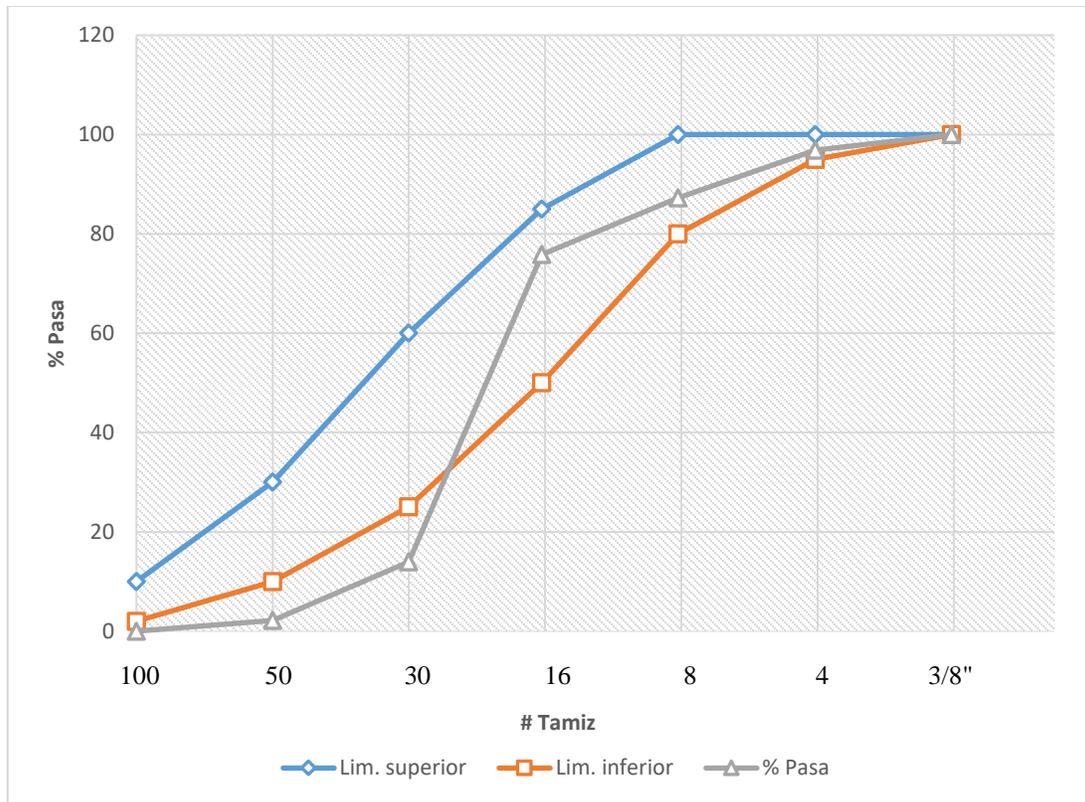


**Figura 28:** Curva de la granulometría (polvo de piedra) E1.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

**Tabla 27** Ensayo de granulometría (polvo de piedra) E2.

Tamices		Masa retenida		Porcentajes acumulados		LÍMITES	Límite inferior	Límite superior
mm	pulg.	Parcial (gr)	Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa			
9.5	3/8 "	0	0	0	100	100	100	100
4.75	N°4	16	16	3	97	95-100	95	100
2.36	N°8	49	65	13	87	80-100	80	100
1.18	N°16	58	123	24	76	50-85	50	85
0.6	N°30	315	438	86	14	25-60	25	60
0.3	N°50	60	498	98	2	10-30	10	30
0.15	N°100	11	509	100	0	2-10	2	10
Bandeja		0						
Masa Total		509						
M.F.		3.24						
Tamaño máximo		3/8 "						

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.



**Figura 29:** Curva de la granulometría (polvo de piedra) E2.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

**Tabla 28** Ensayo de granulometría (polvo de piedra) E3.

Tamices		Masa retenida		Porcentajes acumulados		LÍMITES	Límite inferior	Límite superior
mm	pulg.	Parcial (gr)	Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa			
9.5	3/8 "	0	0	0	100	100	100	100
4.75	N°4	18	18	4	96	95-100	95	100
2.36	N°8	52	70	14	86	80-100	80	100
1.18	N°16	96	166	32	68	50-85	50	85
0.6	N°30	286	452	88	12	25-60	25	60
0.3	N°50	48	500	98	2	10-30	10	30
0.15	N°100	11	511	100	0	2-10	2	10
<b>Bandeja</b>		0						
<b>Masa Total</b>		511						
<b>M.F.</b>		3.36						
<b>Tamaño máximo</b>		3/8 "						

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

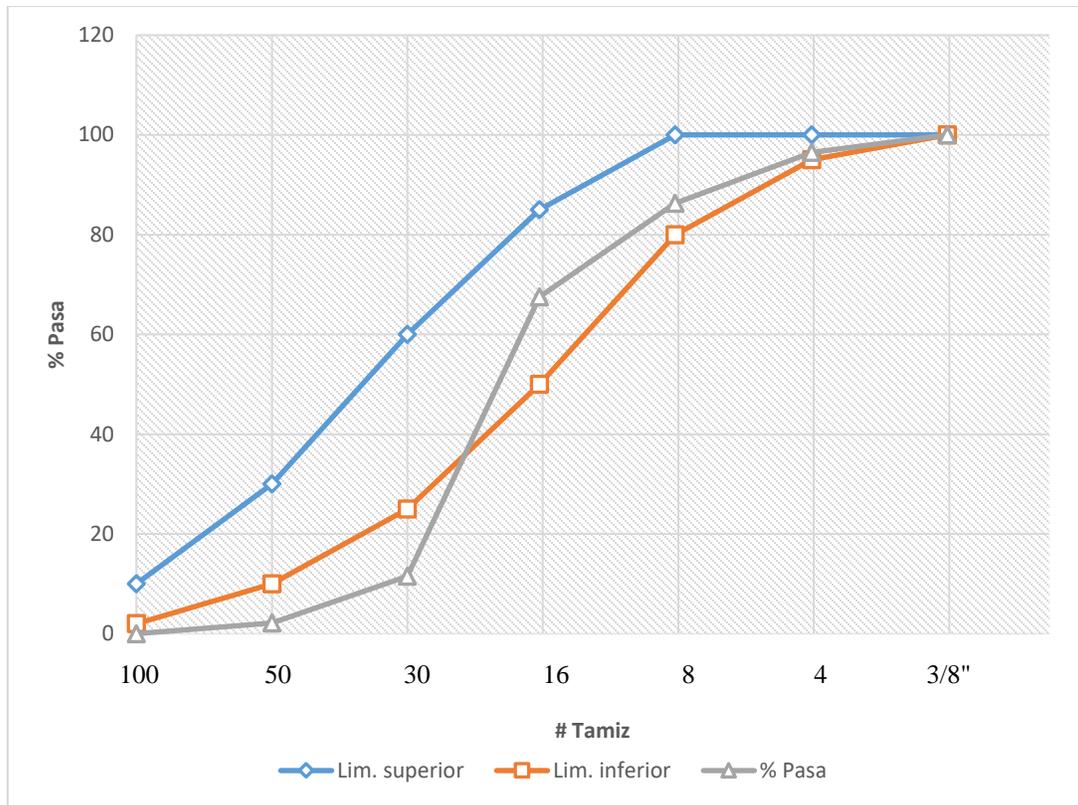
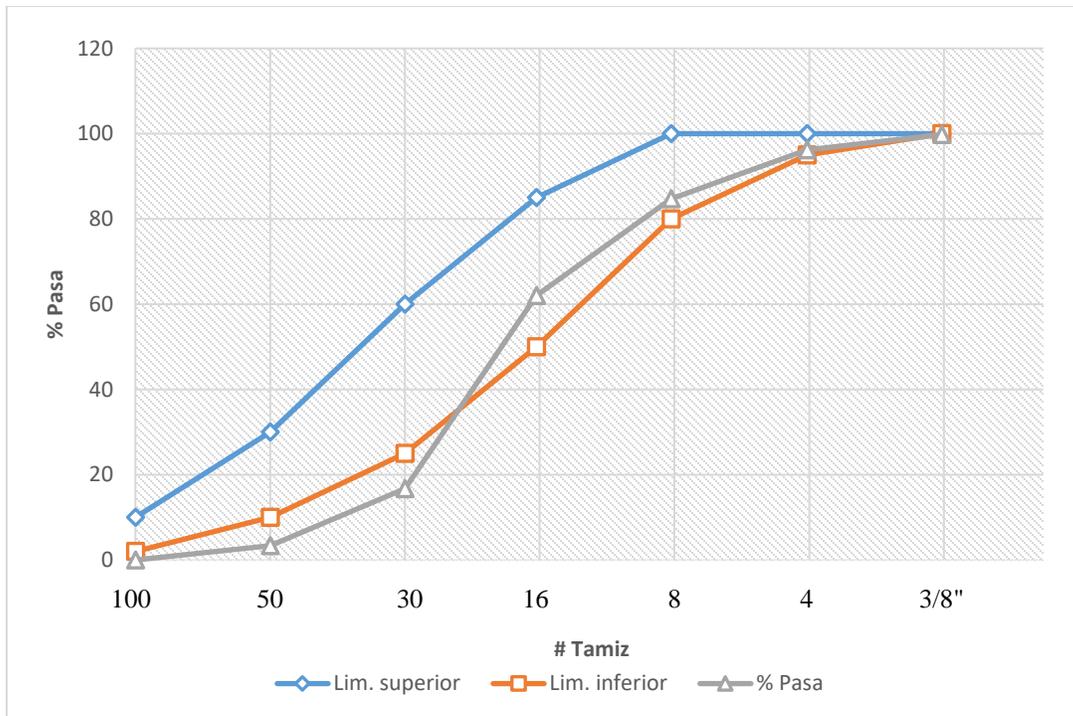


Figura 30: Curva de la granulometría (polvo de piedra) E3.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

Tabla 29 Ensayo de granulometría (polvo de piedra) E4.

Tamices		Masa retenida		Porcentajes acumulados		LÍMITES	Límite inferior	Límite superior
mm	pulg.	Parcial (gr) PROMEDIO	Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa			
9.5	3/8 "	1	1	0	100	100	100	100
4.75	N°4	18	19	4	96	95-100	95	100
2.36	N°8	58	77	15	85	80-100	80	100
1.18	N°16	114	191	38	62	50-85	50	85
0.6	N°30	228	419	83	17	25-60	25	60
0.3	N°50	67	486	97	3	10-30	10	30
0.15	N°100	17	503	100	0	2-10	2	10
Bandeja		0						
Masa Total		503						
M.F.		3.37						
Tamaño máximo		3/8 "						

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

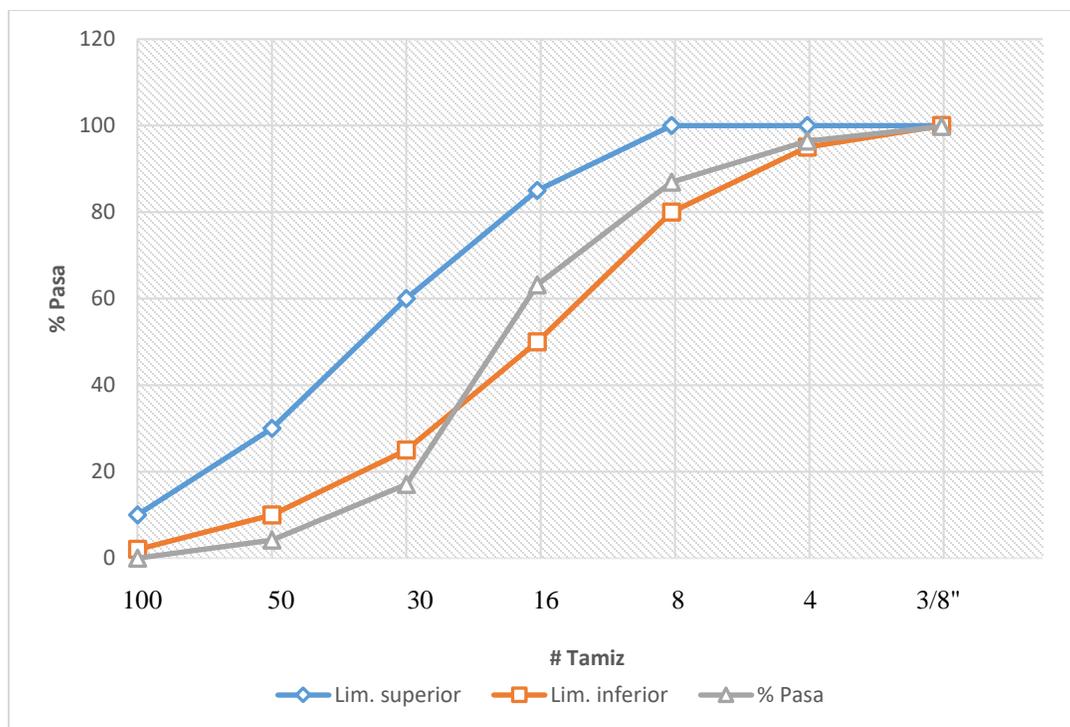


**Figura 31:** Curva de la granulometría (polvo de piedra) E4.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

**Tabla 30** Ensayo de granulometría (polvo de piedra) E5.

Tamices		Masa retenida		Porcentajes acumulados		LÍMITES	Límite inferior	Límite superior
mm	pulg.	Parcial (gr) PROMEDIO	Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa			
9.5	3/8 "	1	1	0	100	100	100	100
4.75	N°4	17	18	4	96	95-100	95	100
2.36	N°8	48	66	13	87	80-100	80	100
1.18	N°16	120	186	37	63	50-85	50	85
0.6	N°30	233	419	83	17	25-60	25	60
0.3	N°50	65	484	96	4	10-30	10	30
0.15	N°100	21	505	100	0	2-10	2	10
<b>Bandeja</b>		0						
<b>Masa Total</b>		505						
<b>M.F.</b>		3.32						
<b>Tamaño máximo</b>		3/8 "						

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.



**Figura 32:** Curva de la granulometría (polvo de piedra) E5.  
Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

**Tabla 31** Resultado promedio del módulo de finura del agregado polvo de piedra

<b>Módulo de finura promedio</b>	3.34
<b>Desviación estándar</b>	0.068
<b>Coefficiente de variación</b>	0.020

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

### 8.3 Anexo 3. Densidad de los agregados

$$\rho = \frac{\text{masa del árido en SSS, (g)}}{\text{Volumen desalojado, (cm}^3\text{)}}$$

#### 8.3.1 Anexo 3.1 Densidad del agregado (macadán)

**Tabla 32** Densidad del agregado fino (macadán)

Descripción	Unidad	E1	E2	E3	E4	E5
Masa picnómetro vacío (A)	g	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2
Masa picnómetro + árido en SSS (B=A+E)	g	950.2	950.2	950.2	950.2	950.2
Masa picnómetro + árido en SSS + agua (C)	g	1515	1522	1528	1519	1524
Masa del picnómetro calibrado (D)	g	1238	1238	1238	1238	1238
Masa del árido en SSS (E).	g	500	500	500	500	500
Volumen desalojado (F=E+D-C)	cm3	223	216	210	219	214
<b>Densidad (G=E/F)</b>	<b>g/cm3</b>	<b>2.24</b>	<b>2.31</b>	<b>2.38</b>	<b>2.28</b>	<b>2.34</b>
<b>Densidad promedio</b>	<b>2.31</b>	<b>g/cm3</b>				
<b>Desviación estándar</b>	0.0526					
<b>Coefficiente de variación</b>	0.0228					

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

### 8.3.2 Anexo 3.2 Densidad del agregado (polvo de piedra)

**Tabla 33** Densidad del agregado fino (polvo de piedra)

Descripción	Unidad	E1	E2	E3	E4	E5
Masa picnómetro vacío (A)	g	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2
Masa picnómetro + árido en SSS (B=A+E)	g	950.2	950.2	950.2	950.2	950.2
Masa picnómetro + árido en SSS + agua (C)	g	1460	1455	1455	1454	1459
Masa del picnómetro calibrado (D)	g	1238	1238	1238	1238	1238
Masa del árido en SSS (E).	g	500	500	500	500	500
Volumen desalojado (F=E+D-C)	cm <sup>3</sup>	278	283	283	284	279
<b>Densidad (G=E/F)</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>1.80</b>	<b>1.77</b>	<b>1.77</b>	<b>1.76</b>	<b>1.79</b>
Densidad promedio	1.78	g/cm <sup>3</sup>				
Desviación estándar	0.0171					
Coficiente de variación	0.0096					

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

### 8.4 Anexo 4. Absorción de los agregados

$$\text{Absorción, \%} = \frac{\text{Masa del agua contenida en el árido}}{\text{Masa del árido seco}} * 100$$

#### 8.4.1 Anexo 4.1 Absorción del agregado (macadán)

**Tabla 34** Absorción del agregado fino (macadán)

Descripción	Unidad	E1	E2	E3	E4	E5
Masa del recipiente (A)	g	212	330	330	330	212
Masa del recipiente + árido en SSS (B=A+D)	g	712	830	830	830	712
Masa del árido seco + recipiente (C)	g	655	774	774	774	655
Masa del árido en SSS (D)	g	500	500	500	500	500
Masa del árido seco (E=C-A)	g	443	444	444	444	443
Masa del agua contenida en el árido (F=D-E)	g	57	56	56	56	57
<b>Capacidad de Absorción (G=(F/E)*100)</b>	<b>%</b>	<b>12.87</b>	<b>12.61</b>	<b>12.61</b>	<b>12.61</b>	<b>12.87</b>
% Absorción promedio	12.71					
Desviación estándar	0.1392					
Coficiente de variación	0.0110					

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

#### 8.4.2 Anexo 4.2 Absorción del agregado (polvo de piedra)

**Tabla 35** Absorción del agregado fino (polvo de piedra)

Descripción:	Unidad	E1	E2	E3	E4	E5
Masa del recipiente (A)	g	151	173	456	456	173
Masa del recipiente + árido en SSS (B=A+D)	g	651	673	956	956	673
Masa del árido seco + recipiente (C)	g	527	549	832	830	551
Masa del árido en SSS (D)	g	500	500	500	500	500
Masa del árido seco (E=C-A)	g	376	376	376	374	378
Masa del agua contenida en el árido (F=D-E)	g	124	124	124	126	122
<b>Capacidad de Absorción (G=(F/E)*100)</b>	<b>%</b>	<b>32.98</b>	<b>32.98</b>	<b>32.98</b>	<b>33.69</b>	<b>32.28</b>
% Absorción promedio	32.98					
Desviación estándar	0.5002					
Coficiente de variación	0.0152					

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

## 8.5 Anexo 5. Masa unitaria suelta (MUS) de los agregados

$$\text{MUS} = \frac{\text{Masa del árido (gr)}}{\text{Volumen del recipiente (cm}^3\text{)}}$$

### 8.5.1 Anexo 5.1 Masa unitaria suelta (MUS) del agregado (macadán)

**Tabla 36** Masa unitaria suelta (MUS) del agregado fino (macadán)

Descripción	Unidad	E1	E2	E3	E4	E5
Masa del recipiente de 1/2 pie <sup>3</sup> (A)	g	3100	3100	3100	3100	3100
Masa de la placa de vidrio (B)	g	2500	2500	2500	2500	2500
Masa del recipiente + placa de vidrio+ agua (C)	g	8400	8400	8400	8400	8400
Masa del árido + recipiente (D)	g	7250	7250	7350	7250	7350
Masa del árido (macadán) (E=D-A)	g	4150	4150	4250	4150	4250
Volumen del recipiente (F=C-A-B)	cm <sup>3</sup>	2800	2800	2800	2800	2800
<b>MUS (Masa Unitaria Suelta) (G=E/F)</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>1.48</b>	<b>1.48</b>	<b>1.52</b>	<b>1.48</b>	<b>1.52</b>
MUS promedio		1.50	g/cm <sup>3</sup>			
Desviación estándar		0.0196				
Coefficiente de variación		0.0131				

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

### 8.5.2 Anexo 5.2 Masa unitaria suelta (MUS) del agregado (polvo de piedra)

*Masa unitaria suelta (MUS) del agregado fino (polvo de piedra)*

Descripción	Unidad	E1	E2	E3	E4	E5
Masa del recipiente de 1/2 pie <sup>3</sup> (A)	g	3100	3100	3100	3100	3100
Masa de la placa de vidrio (B)	g	2500	2500	2500	2500	2500
Masa del recipiente + placa de vidrio+ agua (C)	g	8400	8400	8400	8400	8400
Masa del árido + recipiente (D)	g	5050	5200	5050	5100	5100
Masa del árido (polvo de piedra) (E=D-A)	g	1950	2100	1950	2000	2000
Volumen del recipiente (F=C-A-B)	cm <sup>3</sup>	2800	2800	2800	2800	2800
<b>MUS (Masa Unitaria Suelta) (G=E/F)</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>0.70</b>	<b>0.75</b>	<b>0.70</b>	<b>0.71</b>	<b>0.71</b>
MUS promedio		0.71	g/cm <sup>3</sup>			
Desviación estándar		0.0219				
Coefficiente de variación		0.0306				

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

## 8.6 Anexo 6. Masa unitaria compactada (MUC) de los agregados

$$\text{MUC} = \frac{\text{Masa del árido (gr)}}{\text{Volumen del recipiente (cm}^3\text{)}}$$

### 8.6.1 Anexo 6.1 Masa unitaria compactada (MUC) del agregado (macadán)

**Tabla 37** Masa unitaria compactada (MUC) del agregado fino (macadán)

Descripción	Unidad	E1	E2	E3	E4	E5
Masa del recipiente de 1/2 pie <sup>3</sup> (A)	g	3100	3100	3100	3100	3100
Masa de la placa de vidrio (B)	g	2500	2500	2500	2500	2500
Masa del recipiente + placa de vidrio+ agua (C)	g	8400	8400	8400	8400	8400
Masa del árido + recipiente (D)	g	7900	7900	8050	7800	7700
Masa del árido (macadán) (E=D-A)	g	4800	4800	4950	4700	4600
Volumen del recipiente (F=C-A-B)	cm <sup>3</sup>	2800	2800	2800	2800	2800
<b>MUC (Masa Unitaria Compactada) (G=E/F)</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>1.71</b>	<b>1.71</b>	<b>1.77</b>	<b>1.68</b>	<b>1.64</b>
	MUC promedio	1.70 g/cm <sup>3</sup>				
	Desviación estándar	0.0466				
	Coefficiente de variación	0.0273				

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

### 8.6.2 Anexo 6.2 Masa unitaria compactada (MUC) del agregado (polvo de piedra)

**Tabla 38** Masa unitaria compactada (MUC) del agregado fino (polvo de piedra)

Descripción	Unidad	E1	E2	E3	E4	E5
Masa del recipiente de 1/2 pie <sup>3</sup> (A)	g	3100	3100	3100	3100	3100
Masa de la placa de vidrio (B)	g	2500	2500	2500	2500	2500
Masa del recipiente + placa de vidrio+ agua (C)	g	8400	8400	8400	8400	8400
Masa del árido + recipiente (D)	g	5350	5450	5400	5450	5450
Masa del árido (polvo de piedra) (E=D-A)	g	2250	2350	2300	2350	2350
Volumen del recipiente (F=C-A-B)	cm <sup>3</sup>	2800	2800	2800	2800	2800
<b>MUC (Masa Unitaria Compactada) (G=E/F)</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>0.80</b>	<b>0.84</b>	<b>0.82</b>	<b>0.84</b>	<b>0.84</b>
	MUC promedio	0.83 g/cm <sup>3</sup>				
	Desviación estándar	0.0160				
	Coefficiente de variación	0.0193				

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

### 8.7 Anexo 7. Resistencia a la compresión de los bloques tradicionales.

**Tabla 39** Resistencia a la compresión del bloque hueco de hormigón tradicional (7 días)

Especimen	Días	Largo(l)	Altura (h)	Ancho(a)	l hueco	a hueco	Mr	Área Bruta	Área neta	P <sub>máx</sub>	Res. neta	Res. bruta
		mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	N	MPa	MPa
1	7	399	209	102	103	58	6.15	40698	22776	78360	3.44	1.93
2		399	212	102	104	59	6.09	40698	22290	56230	2.52	1.38
3		398	208	100	102	58	6.13	39800	22052	50350	2.28	1.27
4		390	206	102	101	58	6.68	39780	22206	37580	1.69	0.94
5		400	206	103	102	57	6.64	41200	23758	64430	2.71	1.56
6		390	209	102	105	58	6.63	39780	21510	49990	2.32	1.26
<b>Media</b>							<b>6.39</b>				<b>2.50</b>	<b>1.39</b>

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

**Tabla 40** Resistencia a la compresión del bloque hueco de hormigón tradicional (14 días)

Especimen	Días	Largo(l)	Altura (h)	Ancho(a)	l hueco	a hueco	Mr	Área Bruta	Área neta	P <sub>máx</sub>	Res. neta	Res. bruta
		mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	N	MPa	MPa
1	14	400	212	102	101	57	6.89	40800	23529	87490	3.72	2.14
2		397	210	100	104	59	6.46	39700	21292	76930	3.61	1.94
3		401	208	101	103	58	6.13	40501	22579	70800	3.14	1.75
<b>Media</b>							<b>6.49</b>				<b>3.49</b>	<b>1.94</b>

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

**Tabla 41 Resistencia a la compresión del bloque hueco de hormigón tradicional (21 días)**

Especimen	Días	Largo(l)	Altura (h)	Ancho(a)	l hueco	a hueco	Mr	Área Bruta	Área neta	Pmáx	Res. neta	Res. bruta
		mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	N	MPa	MPa
1	21	399	209	102	103	59	6.49	40698	22467	107210	4.77	2.63
2		399	212	102	104	58	6.51	40698	22602	91360	4.04	2.24
3		398	208	100	102	59	6.46	39800	21746	96790	4.45	2.43
<b>Media</b>							<b>6.49</b>				<b>4.42</b>	<b>2.44</b>

Elaborado por: Cerda, A. &amp; Constante, K.

**Tabla 42 Resistencia a la compresión del bloque hueco de hormigón tradicional (28 días)**

Especimen	Días	Largo(l)	Altura (h)	Ancho(a)	l hueco	a hueco	Mr	Área Bruta	Área neta	Pmáx	Res. neta	Res. bruta
		mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	N	MPa	MPa
1	28	400	205	98	101	58	6.44	39200	21626	114123	5.28	2.91
2		398	202	100	102	57	6.47	39800	22358	101499	4.54	2.55
3		397	206	99	105	58	6.64	39303	21033	105490	5.02	2.68
<b>Media</b>							<b>6.52</b>				<b>4.94</b>	<b>2.72</b>

Elaborado por: Cerda, A. &amp; Constante, K.

**8.8 Anexo 8. Resistencia a la compresión de los bloques PET.****Tabla 43 Resistencia a la compresión del bloque hueco de hormigón con PET (7 días)**

Especimen	Días	Largo(l)	Altura (h)	Ancho(a)	l hueco	a hueco	Mr	Área Bruta	Área neta	Pmáx	Res. neta	Res. bruta
		mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	N	MPa	MPa
1	7	405	213	104	102	56	5.98	42120	24984	73950	2.96	1.76
2		404	211	103	105	58	5.99	41612	23342	50160	2.15	1.21
3		404	212	104	103	58	6.01	42016	24094	68240	2.83	1.62
<b>Media</b>							<b>5.99</b>				<b>2.65</b>	<b>1.53</b>

Elaborado por: Cerda, A. &amp; Constante, K.

**Tabla 44 Resistencia a la compresión del bloque hueco de hormigón con PET (14 días)**

Especimen	Días	Largo(l)	Altura (h)	Ancho(a)	l hueco	a hueco	Mr	Área Bruta	Área neta	Pmáx	Res. neta	Res. bruta
		mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	N	MPa	MPa
1	14	403	208	105	102	58	6.43	42315	24567	89280	3.63	2.11
2		404	207	105	100	56	5.88	42420	25620	100323	3.92	2.36
3		405	212	105	105	58	6.1	42525	24255	81071.3	3.34	1.91
<b>Media</b>							<b>6.14</b>				<b>3.63</b>	<b>2.13</b>

Elaborado por: Cerda, A. &amp; Constante, K.

**Tabla 45 Resistencia a la compresión del bloque hueco de hormigón con PET (21 días)**

Especimen	Días	Largo(l)	Altura (h)	Ancho(a)	l hueco	a hueco	Mr	Área Bruta	Área neta	Pmáx	Res. neta	Res. bruta
		mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	N	MPa	MPa
1	21	404	209	105	101	58	6.23	42420	24846	124726.9	5.02	2.94
2		406	210	105	102	57	6.07	42630	25188	106049	4.21	2.49
3		403	211	104	105	58	5.9	41912	23642	113008.8	4.78	2.70
<b>Media</b>							<b>6.07</b>				<b>4.67</b>	<b>2.71</b>

Elaborado por: Cerda, A. &amp; Constante, K.

**Tabla 46 Resistencia a la compresión del bloque hueco de hormigón con PET (28 días)**

Especimen	Días	Largo(l)	Altura (h)	Ancho(a)	l hueco	a hueco	Mr	Área Bruta	Área neta	Pmáx	Res. neta	Res. bruta
		mm	mm	mm	mm	mm	kg	mm2	mm2	N	MPa	MPa
1	28	401	210	104	101	57	5.62	41704	24433	125341.3	5.13	3.01
2		401	211	100	103	57	5.96	40100	22487	109736.6	4.88	2.74
3		404	205	103	105	58	6.13	41612	23342	130014.9	5.57	3.12
<b>Media</b>							<b>5.90</b>				<b>5.19</b>	<b>2.96</b>

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

### 8.9 Anexo 9. Absorción de los bloques tradicionales.

**Tabla 47 Porcentaje de absorción del bloque hueco de hormigón tradicional (28 días)**

Especimen	Días	Largo (l)	Altura (h)	Ancho (a)	Mr(recibida)	Md(seca)	Ms(saturada)	Absorción
		cm	cm	cm	kg	kg	kg	%
1	28	40.5	21.3	10.2	5.98	5.8	6.85	18.10
2		40.4	21.2	10.3	5.99	5.85	7.05	20.51
3		40.4	21.2	10.4	6.01	6.05	7.25	19.83
<b>Media</b>								<b>19.48</b>

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.

### 8.10 Anexo 10. Absorción de los bloques PET.

**Tabla 48 Porcentaje de absorción del bloque hueco de hormigón con PET (28 días)**

Especimen	Días	Largo (l)	Altura (h)	Ancho (a)	Mr(recibida)	Md(seca)	Ms(saturada)	Absorción
		cm	cm	cm	kg	kg	kg	%
1	28	40.0	20.5	9.8	6.44	5.55	6.7	20.72
2		39.8	20.2	10.0	6.47	5.65	7.00	23.89
3		39.7	20.6	9.9	6.64	5.75	6.9	20.00
<b>Media</b>								<b>21.54</b>

Elaborado por: Cerda, A. & Constante, K.