



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

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

**TEMA: DISEÑO DE BLOQUES PARA MAMPOSTERÍA EN  
OBRAS CIVILES CON AGREGADOS DE FIBRAS DE CAUCHO DE  
NEUMÁTICO Y PLÁSTICO RECICLADO (PET)**

**AUTORES: MEJÍA QUIÑONEZ, JORDAN ALEJANDRO**

**PACHACAMA VELÁSQUEZ, NELSON GEOVANNY**

**DIRECTORA: ING. ROBALINO BEDÓN, IVETH CAROLINA**

**SANGOLQUÍ**

**2018**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación “***DISEÑO DE BLOQUES PARA MAMPOSTERÍA EN OBRAS CIVILES CON AGREGADOS DE FIBRAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICO Y PLÁSTICO RECICLADO (PET)***” fue realizado por los señores *Mejía Quiñonez, Jordan Alejandro y Pachacama Velásquez Nelson Geovanny*, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenidos; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 31 de agosto de 2018**

Firma:

**Ing. Iveth Carolina Robalino Bedón**

C.C: 1716283542



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, *Mejía Quiñonez, Jordan Alejandro y Pachacama Velásquez, Nelson Geovanny*, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *Diseño de bloques para mampostería en obras civiles con agregados de fibras de caucho de neumático y plástico reciclado (PET)*, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

**Sangolquí, 31 de agosto de 2018**

Firma

**Mejía Quiñonez, Jordan Alejandro**

C.C: 2100635867

Firma

**Pachacama Velásquez, Nelson Geovanny**

C.C: 1714274451



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, *Mejía Quiñonez, Jordan Alejandro y Pachacama Velásquez, Nelson Geovanny*, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: *Diseño de bloques para mampostería en obras civiles con agregados de fibras de caucho de neumático y plástico reciclado (PET)*, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

**Sangolquí, 31 de agosto de 2018**

Firma

**Mejía Quiñonez, Jordan Alejandro**

C.C: 2100635867

Firma

**Pachacama Velásquez, Nelson Geovanny**

C.C: 1714274451

## DEDICATORIA

*Dedico esta tesis primero que nada a Dios por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.*

### ***A mi madre Esthela***

*Por darme la vida y ser el pilar fundamental en todo lo que soy y por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.*

***Jordan Alejandro Mejía Quiñonez***

## **DEDICATORIA**

*Con todo mi amor, cariño y afecto dedico este trabajo*

*a mí querida esposa Graciela,*

*Sin su apoyo, comprensión y entrega esto no hubiera sido posible.*

*A mis adorables hijos Andrea y Francisco, que son el motivo para seguir adelante en este difícil, pero a su vez, fascinante camino.*

*A mis padres Elena y Nelson, por siempre estar a mi lado.*

*Con gran admiración*

***Nelson Geovanny Pachacama Velásquez***

## AGRADECIMIENTO

*En primer lugar, agradezco a mi madre por sus consejos y apoyo incondicional día tras día.*

*A la Ing. Carolina Robalino por brindarnos sus conocimientos que ha adquirido gracias a su experiencia y habernos orientado correctamente en este proyecto.*

*Al Ing. Robinson Galarza, Gerente-Propietario de la empresa GALARAMI, quien nos brindó todas las facilidades para poder llevar a cabo este proyecto en las instalaciones de su bloquera.*

*En fin, Gracias a todas las personas que hicieron posible culminar este proyecto.*

*Jordan Alejandro Mejía Quiñonez*

## AGRADECIMIENTO

Me es grato poder expresar mi sincero agradecimiento a las personas que hicieron posible la ejecución de este trabajo, en primer lugar quiero agradecer a mi esposa Graciela por su paciencia, a mis hijos Francisco y Andrea por ser la inspiración en mi camino. A mis queridos y amados padres Elena y Nelson, gracias a ustedes por haberme dado las herramientas necesarias para enfrentar la vida con optimismo, valentía y sobre todo, como un buen ser humano.

A mí estimada Directora de tesis Ing. Carolina Robalino, quien con su conocimiento y experiencia supo orientarnos de la mejor manera durante la investigación realizada en este proyecto.

Al Ing. Robinson Galarza, Gerente-Propietario de la empresa GALARAMI, quien nos brindó todas las facilidades para poder elaborar los bloques en su prestigioso taller.

A la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por darme los conocimientos necesarios para poder enfrentar nuevos retos que se presentaran en mi vida profesional.

*Nelson Geovanny Pachacama Velásquez*



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xxi
RESUMEN.....	xxi
Palabras Clave.-.....	xxvi
ABSTRACT .....	xxvii
Keywords.- .....	xxvii

### **CAPÍTULO I**

#### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Introducción.....	2
1.3. Planteamiento del Problema.....	3

1.4. Justificación.....	6
1.5. Importancia .....	7
1.6. Objetivos .....	8
1.6.1. Objetivo General.....	8
1.6.2. Objetivos Específicos .....	8
1.7. Hipótesis.....	8
1.8. Variables de la investigación .....	9
1.8.1. Variable Independiente .....	9
1.8.2. Variable dependiente .....	9

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1. Mampostería.....	10
2.1.1. Definición de mampostería.....	10
2.1.2. Tipos de mampostería.....	10
2.2. Mampuestos .....	10
2.2.1. Definición de mampuesto .....	10

	x
2.2.2. Tipos de mampuestos.....	10
2.3. Bloques para mampostería .....	11
2.3.1. Definición del bloque.....	11
2.3.2. Clasificación del bloque.....	11
2.3.3. Partes del bloque .....	12
2.3.4. Dimensiones del bloque.....	13
2.3.5. Fabricación del bloque.....	14
2.3.5.1. Máquina de volteo .....	14
2.3.5.3. Proceso de fabricación .....	16
2.4. Materia prima .....	19
2.4.1. Plástico reciclado (PET) .....	19
2.4.1.1. Definición del PET.....	19
2.4.1.2. Codificación del PET .....	20
2.4.1.3. Proceso de producción del PET .....	20
2.4.1.4. Características del PET .....	20
2.4.1.5. El reciclado del PET.....	21

2.4.1.6. El PET en el ambiente .....	21
2.4.1.7. Tecnologías de reciclaje de plástico .....	22
2.4.1.7.1. Reciclado mecánico.....	22
2.4.2. Fibras de caucho de neumáticos reciclados .....	22
2.4.2.1. Definición del caucho.....	23
2.4.2.2. El reciclado de los neumáticos .....	23
2.4.2.3. Los neumáticos en el ambiente .....	23
2.4.2.4. Tecnologías de reciclaje de neumáticos reciclados .....	24
2.4.2.4.1. Trituración mecánica.....	24
2.5. Técnicas de dosificación .....	25

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO DE BLOQUES**

3.1 Metodología .....	26
3.1.1 Antecedentes .....	26
3.1.2 Descripción del proceso para la elaboración de los bloques con PET y fibras de caucho de neumático .....	26

3.2 Preparación de la materia prima.....	33
3.2.1 Agregados .....	33
3.2.2 Agregado fino .....	34
3.2.2.1. Cálculo Granulométrico de la Arena.....	35
3.2.3 PET .....	38
3.2.3.1. Cálculo Granulométrico del PET .....	38
3.2.4 Fibras de caucho .....	40
3.2.4.1. Cálculo Granulométrico de las fibras de caucho.....	40
3.2.5 Cemento.....	42
3.3 Dimensión de los bloques .....	44
3.4 Dosificaciones por porcentajes de PET.....	45
3.5 Ensayos .....	48
3.5.1 Normas.....	48
3.5.2 Resistencia a la Compresión .....	49
3.5.3 Absorción, Densidad y Contenido de Humedad.....	52
3.6 Cálculos.....	55

3.6.1 Resistencia a la compresión del área bruta .....	55
3.6.2 Resistencia a la compresión del área neta.....	56
3.6.3 Área neta promedio.....	56
3.6.4 Absorción.....	57
3.6.5 Densidad .....	57
3.6.6 Contenido de humedad .....	58
3.7 Ensayo sobre muretes.....	58
3.7.1 Resistencia a la compresión axial y tensión diagonal de muretes .....	58

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1 Resultados de ensayo resistencia a la compresión .....	62
4.1.1 Bloques convencionales.....	62
4.1.1.1. Bloques prensados Comercializadora 1.....	63
4.1.1.2. Bloques livianos Comercializadora 1 .....	64
4.1.1.3. Bloque prensado de empresa comercializadora 2 .....	65
4.1.2 Bloques con PET .....	67

4.1.2.1 Bloque con PET (12.5%).....	67
4.1.2.2 Bloque con PET (25%).....	68
4.1.2.3 Bloque con PET (50%).....	69
4.1.2.4 Bloque con PET (62.5%).....	70
4.1.2.5 Bloque con PET (81.25%).....	71
4.1.2.6 Ensayo de bloques con resina.....	73
4.1.3 Bloques con fibras de caucho de neumático reciclado .....	74
4.1.3.1 Bloque con fibras de caucho (25%).....	75
4.1.3.2 Bloque con fibras de caucho (31.25%) .....	76
4.2 Resultados de ensayos de absorción, densidad y contenido de humedad .....	77
4.2.1 Bloques convencionales.....	77
4.2.1.1 Bloques prensados comercializadora 1 .....	78
4.2.1.2 Bloques livianos comercializadora 1 .....	79
4.2.1.3 Bloque prensado comercializadora 2.....	80
4.2.2 Bloques con PET .....	81
4.2.2.1 Bloques con PET (12.5%).....	82

4.2.2.2 Bloques con PET (25%) .....	83
4.2.2.3 Bloques con PET (50%) .....	84
4.2.2.4 Bloques con PET (62.5%) .....	85
4.2.2.5 Bloques con PET (81.25%) .....	86
4.2.3 Bloques con fibras de caucho de neumático reciclado .....	87
4.2.3.1 Bloques con fibras de caucho de neumático reciclado .....	88
4.3 Análisis y discusión de resultados.....	138
4.3.1 Ensayo resistencia a la compresión .....	138
4.3.2 Ensayos de absorción, densidad y contenido de humedad .....	140
4.4 Ensayo a compresión y tensión diagonal a muretes de 0.6 x 0.6 m.....	142
4.4.1 Muretes de bloques convencionales .....	142
4.4.1.1 Ensayo a compresión.....	142
4.4.1.2 Ensayo de tensión diagonal .....	144
4.4.2 Muretes de bloques con PET .....	145
4.4.2.1 Ensayo a compresión.....	145
4.4.2.2 Ensayo de tensión diagonal .....	147



4.4.3 Análisis y comparativa de resultados.....	149
4.5 Comprobación de hipótesis .....	150
4.6 Análisis de costos .....	152
4.7 Cálculo del uso del bloque con PET en una estructura y análisis de costo.....	159

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 Conclusiones .....	171
5.2 Recomendaciones.....	172
<b>Bibliografía</b> .....	<b>174</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Clasificación de los bloques de acuerdo a su uso</i> .....	12
<b>Tabla 2</b> <i>Dimensiones mínimas de paredes y tabiques, bloques Clase A</i> .....	13
<b>Tabla 3</b> <i>Dimensiones modulares y dimensiones nominales de los bloques de hormigón</i> .....	14
<b>Tabla 4</b> <i>Granulometría de la arena utilizada para la elaboración de los bloques</i> .....	36
<b>Tabla 5</b> <i>Clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor del módulo de finura</i> .....	37
<b>Tabla 6</b> <i>Granulometría del PET utilizada para la elaboración de los bloques</i> .....	39
<b>Tabla 7</b> <i>Granulometría de las fibras de vidrio utilizadas para la elaboración de los bloques</i> ....	41
<b>Tabla 8</b> <i>Clasificación de los cementos hidráulicos</i> .....	43
<b>Tabla 9</b> <i>Dosificación para la elaboración de bloques la comercializadora 2</i> .....	45
<b>Tabla 10</b> <i>Dosificaciones por volumen</i> .....	47
<b>Tabla 11</b> <i>Dosificaciones por peso</i> .....	48
<b>Tabla 12</b> <i>Normas aplicadas en los ensayo de laboratorio</i> .....	49
<b>Tabla 13</b> <i>Dimensión de los muretes</i> .....	60
<b>Tabla 14</b> <i>Dimensiones del murete para ensayo</i> .....	61
<b>Tabla 15</b> <i>Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de bloques prensados</i>	
<i>Comercializadora 1</i> .....	63
<b>Tabla 16</b> <i>Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de bloques livianos</i>	
<i>comercializadora 1</i> .....	64
<b>Tabla 17</b> <i>Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de bloques prensados</i>	
<i>comercializadora 2</i> .....	65

<b>Tabla 18</b> <i>Valores promedio del ensayo resistencia a la compresión de bloques convencionales</i> .....	66
<b>Tabla 19</b> <i>Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de bloques con 12.5% PET</i> .....	67
<b>Tabla 20</b> <i>Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de bloques con 25% PET</i> .....	68
<b>Tabla 21</b> <i>Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de bloques con 50% PET</i> .....	69
<b>Tabla 22</b> <i>Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de bloques con 62.5% PET</i> .....	70
<b>Tabla 23</b> <i>Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de bloques con 81.25% PET</i> ....	71
<b>Tabla 24</b> <i>Valores promedio del ensayo resistencia a la compresión del área bruta de bloques con PET</i> .....	72
<b>Tabla 25</b> <i>Volúmenes de resina con su respectiva resistencia en el bloque con el 25% PET</i> .....	73
<b>Tabla 26</b> <i>Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del área bruta y neta de bloques con fibras de caucho (25%)</i> .....	75
<b>Tabla 27</b> <i>Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del área bruta de bloques con fibras de caucho (31.25%)</i> .....	76
<b>Tabla 28</b> <i>Valores promedio del ensayo resistencia a la compresión de bloques con caucho</i> .....	77
<b>Tabla 29</b> <i>Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques prensados comercializadora 1</i> .....	78
<b>Tabla 30</b> <i>Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques livianos comercializadora 1</i> .....	79
<b>Tabla 31</b> <i>Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques prensados de LA COMERCIALIZADORA 2</i> .....	80
<b>Tabla 32</b> <i>Valores promedio de ensayos de absorción, c. humedad y densidad de bloques convencionales</i> .....	81

<b>Tabla 33</b> <i>Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques con PET (12.5%)</i> .....	82
<b>Tabla 34</b> <i>Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques con PET (25%)</i> .....	83
<b>Tabla 35</b> <i>Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques con PET (50%)</i> .....	84
<b>Tabla 36</b> <i>Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques con PET (62.5%)</i> .....	85
<b>Tabla 37</b> <i>Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques con PET (81.25%)</i> .....	86
<b>Tabla 38</b> <i>Valores promedio de ensayos de absorción, c. humedad y densidad de bloques con PET</i> .....	87
<b>Tabla 39</b> <i>Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques con fibras de caucho</i> .....	88
<b>Tabla 40</b> <i>Valores promedio de ensayos de absorción, c. humedad y densidad de b. con fibras de caucho</i> .....	138
<b>Tabla 41</b> <i>Valores promedio de la resistencia a la compresión a los 28 días de todos los bloques</i> .....	138
<b>Tabla 42</b> <i>Valores promedio de la absorción, densidad y c. humedad a los 28 días de todos los bloques</i> .....	140
<b>Tabla 43</b> <i>Compresión en murete de bloques convencionales</i> .....	143
<b>Tabla 44</b> <i>Resultados de tensión diagonal en murete de bloques convencionales</i> .....	144
<b>Tabla 45</b> <i>Compresión en murete de bloques con PET</i> .....	146

<b>Tabla 46</b> <i>Resultados de tensión diagonal en murete de bloques con PET</i> .....	148
<b>Tabla 47</b> <i>Resultados de ensayos a compresión y tensión diagonal de muretes</i> .....	150
<b>Tabla 48</b> <i>Costo de los materiales para la elaboración de los bloques</i> .....	152
<b>Tabla 49</b> <i>Análisis del costo final de un bloque elaborado tradicionalmente</i> .....	154
<b>Tabla 50</b> <i>Análisis del costo final de un bloque elaborado con el 12.5% de PET</i> .....	154
<b>Tabla 51</b> <i>Análisis del costo final de un bloque elaborado con el 25% de PET</i> .....	154
<b>Tabla 52</b> <i>Análisis del costo final de un bloque elaborado con el 50% de PET</i> .....	155
<b>Tabla 53</b> <i>Análisis del costo final de un bloque elaborado con el 62.5% de PET</i> .....	155
<b>Tabla 54</b> <i>Análisis del costo final de un bloque elaborado con el 82.5% de PET</i> .....	155
<b>Tabla 55</b> <i>Análisis del costo final de un bloque elaborado con el 25% de fibras de caucho de neumáticos</i> .....	156
<b>Tabla 56</b> <i>Análisis del costo final de un bloque elaborado con el 32.5% de fibras de caucho de neumáticos</i> .....	156
<b>Tabla 57</b> <i>Resumen del costo de producción por bloque</i> .....	157
<b>Tabla 58</b> <i>Bloqueras que comercializan bloques en la ciudad de Quito y Sangolquí</i> .....	157
<b>Tabla 59</b> <i>Análisis de reducción en las secciones de los elementos estructurales</i> .....	168
<b>Tabla 60</b> <i>Análisis de peso de las estructuras</i> .....	168
<b>Tabla 61</b> <i>Análisis total del costo de cada estructura</i> .....	169

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Nomenclatura de partes del bloque de hormigón .....	12
<b>Figura 2.</b> Máquina de volteo y sus partes.....	15
<b>Figura 3.</b> Mezcladora de eje horizontal.....	16
<b>Figura 4.</b> Mezcla con una consistencia uniforme.....	17
<b>Figura 5.</b> Retiro de los bloques con el coche transportador de bloques .....	18
<b>Figura 6.</b> PET triturado .....	19
<b>Figura 7.</b> Fórmula química desarrollada del PET .....	19
<b>Figura 8.</b> Codificación del Polietileno de Tereftalato .....	20
<b>Figura 9.</b> Fibras de caucho de neumáticos reciclados .....	22
<b>Figura 10.</b> Fórmula empírica del caucho natural .....	23
<b>Figura 11.</b> Neumáticos fuera de uso (NFU) obstaculizando espacios públicos .....	24
<b>Figura 12.</b> Ubicación de la empresa GALARAMI CIA. LTDA.....	27
<b>Figura 13.</b> Instalaciones internas de la comercializadora 2.....	27
<b>Figura 14.</b> Equipo utilizado en la comercializadora 2.....	28
<b>Figura 15.</b> Vertido de la arena en la mezcladora.....	28
<b>Figura 16.</b> Colocación del cemento en la mezcladora.....	29
<b>Figura 17.</b> Colocación de fibras de caucho y/o PET en la mezcladora.....	29
<b>Figura 18.</b> Mezcla de la resina con agua .....	30
<b>Figura 19.</b> Vertido del agua con resina y prueba de la consistencia de la masa .....	30
<b>Figura 20.</b> Vertido de la mezcla en el suelo sin residuos .....	31
<b>Figura 21.</b> Colocación y distribución del material en los moldes de la máquina vibratoria .....	31

<b>Figura 22.</b> Pisones vibrando el material .....	32
<b>Figura 23.</b> Levantamiento de los pisones por medio de una palanca.....	32
<b>Figura 24.</b> Retiro y transporte de los bloques de la máquina de vibrado .....	33
<b>Figura 25.</b> Curado de los bloques.....	33
<b>Figura 26.</b> Arena procedente de la Cantera de HOLCIM Ecuador .....	34
<b>Figura 27.</b> Tamices para realizar la granulometría de la arena-PET-fibras de caucho .....	35
<b>Figura 28.</b> Separación de las partículas mediante tamizado mecánico .....	36
<b>Figura 29.</b> Muestra de PET enjuagado de la empresa ENKADOR S.A .....	38
<b>Figura 30.</b> Tamizado del PET .....	39
<b>Figura 31.</b> Fibras de caucho fino < 2 mm de la empresa ECOCAUCHO .....	40
<b>Figura 32.</b> Curva granulométrica Arena-PET-Caucho.....	42
<b>Figura 33.</b> Tipo de cemento utilizado en la fabricación de bloques.....	43
<b>Figura 34.</b> Dimensión del bloque elaborado .....	44
<b>Figura 35.</b> Molde metálico utilizado para la elaboración de los bloques .....	44
<b>Figura 36.</b> Bloques listos para ser almacenados.....	50
<b>Figura 37.</b> Medición y pesaje de los bloques .....	50
<b>Figura 38.</b> Refrentado de los bloques.....	51
<b>Figura 39.</b> Colocación de los bloques en el tanque de curado .....	51
<b>Figura 40.</b> Colocación del bloque para el ensayo en la máquina de compresión simple .....	52
<b>Figura 41.</b> Fisura del bloque comprimido .....	52
<b>Figura 42.</b> Peso inicial del bloque saturado .....	53
<b>Figura 43.</b> Saturación de los bloques en el tanque de curado .....	54
<b>Figura 44.</b> Retiro del agua de la superficie del bloque.....	54

<b>Figura 45.</b> Secado del bloque en el horno ventilado .....	55
<b>Figura 46.</b> Murete elaborado con bloques de la comercializadora 2.....	59
<b>Figura 47.</b> Murete elaborado con el 25 % de PET .....	59
<b>Figura 48.</b> Dimensiones de los muretes .....	60
<b>Figura 49.</b> Ensayo de compresión .....	60
<b>Figura 50.</b> Ensayo de tensión diagonal .....	61
<b>Figura 51.</b> Bloques convencionales utilizados para el ensayo de resistencia a la compresión ....	62
<b>Figura 52.</b> Resistencia a la compresión del bloque prensado Comercializadora 1 .....	63
<b>Figura 53.</b> Resistencia a la compresión del bloque liviano comercializadora 1 .....	64
<b>Figura 54.</b> Resistencia a la compresión del bloque prensado comercializadora 2 .....	65
<b>Figura 55.</b> Fisuras en el bloque comprimido.....	66
<b>Figura 56.</b> Resistencia a la compresión del bloque con 12.5% de PET .....	67
<b>Figura 57.</b> Resistencia a la compresión del bloque con 25% de PET .....	68
<b>Figura 58.</b> Resistencia a la compresión del bloque con 50% de PET .....	69
<b>Figura 59.</b> Resistencia a la compresión del bloque con 62.5% de PET .....	70
<b>Figura 60.</b> Resistencia a la compresión del bloque con 81.25% de PET .....	71
<b>Figura 61.</b> Resistencia a la compresión del área bruta de bloques elaborados con PET.....	72
<b>Figura 62.</b> Resistencia ideal a la compresión de bloques con PET .....	73
<b>Figura 63.</b> Análisis del volumen ideal de la resina .....	74
<b>Figura 64.</b> Resistencia a la compresión del área bruta y neta del bloque con 25% de caucho ....	75
<b>Figura 65.</b> Resistencia a la compresión del área bruta del bloque con el 31.25% de fibras de caucho .....	76
<b>Figura 66.</b> Gráfica resistencia vs días de curado de bloques con fibras de caucho.....	77



<b>Figura 67.</b> Absorción, densidad y contenido de humedad de bloques presando comercializadora 1 .....	78
<b>Figura 68.</b> Absorción, densidad y c. de humedad de bloques liviano comercializadora 1 .....	79
<b>Figura 69.</b> Absorción, densidad y c. de humedad del bloque presado comercializadora 2 .....	80
<b>Figura 70.</b> Absorción, densidad y c. de humedad de bloques con PET (12.5%) .....	82
<b>Figura 71.</b> Absorción, densidad y c. de humedad de bloques con PET (25%) .....	83
<b>Figura 72.</b> Absorción, densidad y c. de humedad de bloques con PET (50%) .....	84
<b>Figura 73.</b> Absorción, densidad y c. de humedad de bloques con PET (62.5%) .....	85
<b>Figura 74.</b> Absorción, densidad y c. de humedad de bloques con PET (81.25%) .....	86
<b>Figura 75.</b> Absorción, densidad y c. de humedad de bloques con fibras de caucho .....	88
<b>Figura 76.</b> Resistencia a la compresión a los 28 días de todos los bloques .....	139
<b>Figura 77.</b> Absorción a los 28 días de todos los bloques .....	140
<b>Figura 78.</b> Densidad a los 28 días de todos los bloques.....	141
<b>Figura 79.</b> Contenido de humedad a los 28 días de todos los bloques.....	141
<b>Figura 80.</b> Fallas en el murete del ensayo de compresión.....	142
<b>Figura 81.</b> Fallas en el murete del ensayo de tensión diagonal .....	144
<b>Figura 82.</b> Fallas en el murete del ensayo de compresión.....	146
<b>Figura 83.</b> Fallas en el murete del ensayo de tensión diagonal .....	147
<b>Figura 84.</b> Ensayo a la compresión de muretes con bloques convencionales y con PET .....	149
<b>Figura 85.</b> Ensayo a la compresión de muretes con bloques convencionales y con PET .....	149
<b>Figura 86.</b> Bloque con PET .....	151
<b>Figura 87.</b> Bloque con fibras de caucho de neumático reciclado.....	151
<b>Figura 88.</b> Bloqueras que comercializan el bloque en Quito y Sangolquí .....	158

<b>Figura 89.</b> Modelo de la estructura a analizar .....	159
<b>Figura 90.</b> Losa alivianada con bloques de hormigón.....	161
<b>Figura 91.</b> Modelo de los pórticos 1, 2, A y B y su diagrama de momentos .....	163
<b>Figura 92.</b> Modelo de los pórticos 1, 2, A y B y su diagrama de momentos .....	166

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el fin de generar un nuevo material alternativo de construcción mediante el uso del polietileno de tereftalato (PET) y las fibras de caucho de los neumáticos en la elaboración de bloques para mampostería de 20 x 40 x 15 cm. Con esto se pretende mitigar el impacto ambiental que generan estos materiales al ser desechados en la naturaleza sin un correcto proceso de reciclaje. En este sentido se elaboraron bloques sustituyendo en forma gradual el árido fino que en este caso es la arena por diferentes porcentajes tanto de PET como de las fibras de caucho de los neumáticos. La dosificación en ambos casos se las realizó por volumen, en el caso del PET se fue sustituyendo por la arena en los porcentajes de 12.5%, 25%, 50%, 62.5% y 81.25%, las fibras de caucho se fueron sustituyendo en porcentajes de 25%, 31.25% y 50%. Una vez elaborados los bloques se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, densidad, absorción y contenido de humedad, con los datos tabulados se pudo hacer los análisis correspondientes a fin de comparar los resultados obtenidos en los bloques elaborados con PET y fibras de caucho con los bloques tradicionales. Finalmente se construyeron muretes de 60 x 60 cm a los cuales se realizaron ensayos de resistencia a la compresión axial y tensión diagonal con la finalidad de establecer las cargas asociadas a la resistencia máxima de los muretes.

### Palabras Clave.-

- **POLIETILENO DE TEREFALATO (PET)**
- **FIBRAS DE CAUCHO**
- **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**
- **COMPRESIÓN AXIAL**
- **RECICLAJE PARA MAMPOSTERÍA**

## **ABSTRACT**

The present work was carried out in order to generate a new alternative material through the use of polyethylene terephthalate (PET) and rubber fibers of tires in the construction of blocks for masonry of 20 x 40 x 15 cm. This is intended to mitigate the environmental impact generated by these materials to be discarded in nature without a proper recycling process. In this sense, blocks were created by gradually replacing the fine aggregate, which in this case is sand, by different percentages of both PET and rubber fibers of the tires. The dosages in both cases were made by volume, in the case of PET was replaced by sand in the percentages of 12.5%, 25%, 50%, 62.5% and 81.25%, rubber fibers were replaced in percentages of 25%, 31.25% and 50%. Once the blocks were made, tests of compressive strength, density, absorption and moisture content were performed, with the tabulated data the corresponding analyzes could be made in order to compare the results obtained in the blocks made with PET and rubber fibers with the traditional blocks. Finally, 60 x 60 cm walls were built, to which tests of resistance to axial compression and diagonal tension were carried out in order to establish the loads associated with the maximum strength of the walls.

### **Keywords.-**

- **TERTIHTALATE POLYETHYLENE (PET)**
- **RUBBER FIBERS**
- **RESISTANCE TO COMPRESSION**
- **AXIAL COMPRESSION**
- **RECYCLING FOR WALL**

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Antecedentes

Varias edificaciones alrededor del mundo han sido construidas mediante el uso de botellas de plástico y de neumáticos en desuso, siendo estos un referente para la humanidad. El primer documentado es el diseño de vivienda tipo autónoma llevada a cabo por Michael Reynolds en 1970 en Estados Unidos. A este tipo de vivienda se la denominó Earthship, su principio básico era el uso de materiales de la zona los que a su vez debían ser factibles económicamente para los pobladores de ese entorno. La idea fundamental era el uso de la menor cantidad de energía para convertir un objeto natural o reciclado en un material de construcción (Reynolds, 1990, pág. 192).

En el año 2005, se tiene la segunda referencia, se edificó una vivienda de 60 m<sup>2</sup> utilizando 14.000 botellas de plástico rellenas completamente con tierra. Esta iniciativa fue dada por el profesor de ciencias físicas Tomislav Radovanovic. Esta construcción se llevó a cabo en la República de Serbia en la ciudad de Kragujevac a 130 kilómetros al sur de Belgrado (EL Clarín, 2007).

El Centro Experimental de Vivienda Económica (CEVE) con sede en Argentina, ha elaborado ladrillos con diferentes materiales producto de los desechos, entre los que se hallan: papel, polietileno de tereftalato (PET) y cáscaras de maní. Los ladrillos elaborados mediante el uso del papel son relativamente más ligeros en comparación a los ladrillos tradicionales; su aspecto es rugoso y gris; son duros, sin embargo no son tan resistentes que los tradicionales; un ladrillo común pesa 2,5 kilos; el de papel 1,1 kilo; el de PET un kilo; y el de cáscara de maní, mitad de kilo (Alesmar, Rendón, & Korody, 2008, pág. 3).

Investigadores de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) en España, desarrollaron un aislante acústico haciendo uso del residuo de los neumáticos, este nuevo material tiene la capacidad de captar el ruido y las vibraciones que se generan en los edificios, está compuesto por caucho previamente triturado y fibras metálicas extraídas de los neumáticos.

## **1.2. Introducción**

Muchos recursos renovables y no renovables que son utilizados como materia prima para la producción de bienes y servicios son extraídos de la Tierra, gran parte de estos recursos son empleados en la fabricación de materiales de construcción. Esto a lo largo de los años ha generado una afectación en la corteza terrestre y por ende al medio ambiente, en este sentido es fundamental mantener la flora y la fauna de manera estable ya que sin ello los seres humanos no podrían respirar, beber agua o comer. Los árboles y plantas absorben dióxido de carbono del medio ambiente, por lo que son necesarios en la naturaleza sobre todo porque disminuyen el impacto ambiental producido por el calentamiento global (Gaggino, 2008, pág. 147) .

A través de la historia se ha evidenciado la necesidad de buscar materiales alternativos que generen condiciones óptimas para el diseño y construcción de obras civiles. En la actualidad los materiales convencionales presentan características de durabilidad, resistencia, trabajabilidad y costos elevados, mientras que el PET reciclado comparte las mismas propiedades pero su costo es inferior y de fácil acceso (Sánchez, Peña, & Rico, 2018, pág. 5).

El Polietileno de Tereftalato (PET), de acuerdo con (Alesmar, Rendón, & Korody, 2008):

“Fue patentado como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J.T. Dicknson en 1941. Dicho polímero comenzó a ser utilizado a partir de 1955 para la producción de envases de líquidos” (pág. 2).

Diversos materiales como la madera, el cloruro de polivinilo (PVC), el vidrio, han sido reemplazados por el polietileno de tereftalato (PET), esto se debe a que la industria del plástico ha crecido en los últimos años. El plástico se caracteriza por ser un material más ligero y resistente a la compresión mecánica, posee transparencia y brillo, hace que los alimentos mantengan un buen olor y sabor. La fabricación de botellas de PET en todo el mundo es de cerca de 207 millones de toneladas al año, cifra que aumenta significativamente a nivel mundial (Alesmar, Rendón, & Korody, 2008, pág. 3).

Por su parte la producción masiva de neumáticos, que conlleva una gran cantidad de energía en su fabricación, no presenta políticas claras para desaparecer los millones de toneladas de neumáticos usados en el planeta, esto genera una acumulación de neumáticos a gran escala ocupando amplias extensiones de terreno y que a más de causar problemas ambientales, contaminan las aguas subterráneas, generan posibles incendios con humos de gran toxicidad difíciles de apagar y por último provoca el amontonamiento de neumáticos en nuevos botaderos (Avilés, 2006, pág. 2).

### **1.3. Planteamiento del Problema**

El calentamiento global es uno de los mayores problemas que enfrenta el ser humano desde su creación, esto debido al abrupto y anormal cambio climático que se ha podido evidenciar en el último siglo, lo que ha puesto en riesgo a la supervivencia de los seres vivos de este planeta

Básicamente existen dos factores que influyen en la producción de este fenómeno. El primero, está relacionado con los gases de efecto invernadero (GEI) producto de la alta emisión de gases por parte de las ciudades industrializadas o desarrolladas, que demandan una considerable cantidad de bienes de consumo lo que a su vez genera una gran acumulación de basura y desechos sólidos (Ruiz, López , Cortes , & Froese, 2012, pág. 292).

El segundo factor tiene que ver con los gases generados por los materiales utilizados en la construcción, el concreto, el acero y el ladrillo implican el uso de grandes cantidades de energía para su producción, por ende contribuyen al desgaste ambiental. Lo que se busca es usar nuevos materiales alternativos que puedan ser empleados en edificaciones, que mitiguen el impacto ambiental y minimicen el calentamiento global (Ruiz, López , Cortes , & Froese, 2012, pág. 292).

Hoy en día una gran parte de los materiales empleados para la construcción son extraídos de minas y canteras, especialmente los que utilizan agregados finos en la elaboración de bloques. La obtención de estos recursos representa un rubro considerable para la construcción debido a la distancia que conlleva su transporte y el costo de explotación del mismo. Por otra parte existe una gran cantidad de materiales de bajo costo que son desechados en el medio ambiente y que pueden ser reutilizados si se los sabe aprovechar de la manera correcta, como por ejemplo las fibras de los neumáticos de los vehículos así como también el plástico proveniente de botellas plásticas.

Los neumáticos representan uno de los materiales de mayor uso en el mundo ya que cumplen un papel muy importante en lo que refiere a movilidad vehicular y conectividad. Por consiguiente es uno de los materiales que más se fabrica en la actualidad, sin embargo una vez terminada su vida útil por desgaste, es desechado en las calles o botadores, originando con esto un impacto negativo



en el medio ambiente dado que la degradación total de un neumático se produce de 500 a 600 años aproximadamente (Alfonzo, 2016, pág. 3).

Por otra parte, la basura que se originaba por la vida cotidiana de los seres humanos hasta el año de 1950, consistía básicamente en residuos reciclables o biodegradables. Con la aparición del plástico la cantidad de desechos tirados en el medio ambiente fue incrementando, esto debido a la mejor resistencia que presenta el plástico ante la corrosión, la descomposición orgánica y a la intemperie. Miles de millones de toneladas de plástico se generan cada año a nivel mundial, sin embargo la descomposición de los plásticos sintéticos puede tardar hasta 500 años, es decir la degradación emplea mucho más tiempo en relación a la descomposición de productos orgánicos que tardan de 3 a 4 semanas (Valle, 2013, pág. 33).

En este contexto el uso del plástico entró al mundo industrial durante la segunda guerra mundial, hasta expandirse también en el campo de la construcción. Actualmente se usa de diferentes formas, ya sea en elementos constructivos tales como: pisos, cubiertas de muebles, tragaluces, falsos plafones, etcétera, o en utensilios desechables como: recipientes, botellas, frascos, bolsas, entre otras aplicaciones. Sin embargo a causa del crecimiento exponencial de la industria del plástico, se ha generado un problema de tipo ambiental, producto de la acumulación de éstos como desecho, sin considerar que pueden transformarse y reutilizarse (Valle, 2013, pág. 33).

En este orden de ideas uno de los grandes problemas que se plantea dentro de la sociedad ecuatoriana, es el desconocimiento sobre nuevos materiales alternativos empleados en la construcción de viviendas, debido a la costumbre que tiene la sociedad como tal, al concebir al bloque de hormigón, ladrillo cerámico y adobe como la mejor alternativa para mampostería en viviendas (Angumba Aguilar, 2016, pág. 2).

En la actualidad la fabricación de mampuestos, ya sea de ladrillo o bloques mezclados de hormigón con material granular se lo realiza en distintos lugares, esto se debe a la gran demanda de vivienda que existe por parte de la sociedad. La materia prima utilizada para la fabricación de bloques se extrae de minas y canteras que en algún momento, producto de su explotación escasearán, lo que conllevará a que su costo de adquisición sea muy elevado (Almeida Salazar, 2011, pág. 2).

Investigadores de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, analizaron las propiedades mecánicas de los bloques de hormigón utilizados en diferentes edificaciones del Valle de los Chillos perteneciente a la ciudad de Quito, demostraron que los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión de bloques eran muy bajos, por lo que no era aconsejable usarlos en mampostería ni en alivianamientos en losas. (Robalino, Peñaherrera, Tito, & López, 2015, pág. 156)

#### **1.4. Justificación**

El presente trabajo de investigación se lo lleva a cabo con la finalidad de reducir el impacto ambiental generado por el aumento de botellas plásticas en desuso y la gran cantidad de neumáticos acumulados en botaderos o basureros, con esto lo que se busca es reciclar estos materiales para de esta manera reducir los impactos al planeta producidos por las actividades propias del ser humano.

En este sentido ante la gran demanda de vivienda, se pretende crear nuevos sistemas alternativos de construcción, para ello, en la presente investigación, se propone el diseño de bloques mediante el uso de plástico (PET) y fibras de neumáticos, para luego analizar sus propiedades físico-mecánicas y compararlas con los bloques elaborados tradicionalmente, utilizando la Norma

Técnica Ecuatoriana NTE INEN 3066 2016-11, “Bloques de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo”

### **1.5. Importancia**

Este proyecto de investigación busca realizar un análisis estadístico experimental de bloques diseñados con agua, arena, cemento, PET y fibras de neumático que, además de introducir nuevos sistemas alternativos de construcción amigables con el medio ambiente, permita elaborar mampuestos con mayor resistencia a la compresión y con un peso mucho menor al bloque tradicional. Al alivianar el peso del bloque se reducirá la carga muerta y con esto el comportamiento estructural de la misma será diferente.

En este contexto cabe mencionar que en el terremoto del 16 Abril del 2016 con una magnitud de 7.8 en la escala sismológica de Richter, en la provincia de Manabí, se pudo apreciar que la mampostería no fue construida por personal técnico calificado, a lo que sumado una baja ductilidad, falta de anclajes y poca resistencia del mampuesto, hizo que las paredes colapsen y aplasten a la gente, dando como resultado un gran número de fallecimientos.

La importancia de este proyecto de investigación recae en la búsqueda un mampuesto alternativo para la construcción, amigable con el ambiente, con un peso más liviano en relación al bloque tradicional, el cual pueda ser manipulado fácilmente, resistente y que ante un posible sismo, no cause la muerte de las personas por aplastamiento.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo General**

- Diseñar bloques para mampostería en obras civiles con agregados de fibras de neumáticos y plástico reciclado (PET).

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- Determinar la resistencia a la compresión de los bloques elaborados con compuestos de fibras de neumáticos y plástico reciclado (PET), por medio de ensayos en el laboratorio.
- Analizar las resistencias obtenidas de los bloques elaborados con PET y caucho en relación con los bloques tradicionales.
- Comparar los pesos volumétricos obtenidos con los bloques diseñados con los bloques tradicionales.
- Cuantificar el costo de elaboración de los bloques compuestos de fibras de neumáticos y plástico reciclado (PET)
- Construir una mampostería de 0.60 m x 0.60 m con los bloques elaborados con PET y fibras de neumáticos a fin de comprobar sus cargas axiales.

## **1.7. Hipótesis**

La resistencia a la compresión y el peso volumétrico obtenidos en los bloques procesados con agregados de resina de neumático y polietileno son aptos para la utilización en mampostería en obras civiles.

## **1.8. Variables de la investigación**

### **1.8.1. Variable Independiente**

Resistencia a la compresión y el peso volumétrico adecuados en los bloques procesados con agregados de fibras de caucho de neumáticos y plástico reciclado (PET).

### **1.8.2. Variable dependiente**

Utilización en mampostería en obras civiles.

Disminución de la humedad por capilaridad en mampostería.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Mampostería**

##### **2.1.1. Definición de mampostería**

El sitio web Rocas y Minerales (2018) explica que, la mampostería es un sistema de construcción tradicional que consiste en formar edificaciones de muros superponiendo rocas, ladrillos o bloques de concreto prefabricados de forma manual, empleando una mezcla de cemento o cal con arena y agua para que se adhieran entre sí.

##### **2.1.2. Tipos de mampostería**

Moreno & Cañizares (2011) definen los siguientes tipos de mampostería: mamposterías ordinarias, no portantes y portantes.

#### **2.2. Mampuestos**

##### **2.2.1. Definición de mampuesto**

Los mampuestos son elementos que se emplean para la construcción de mamposterías o paredes divisoras de ambientes (Almeida Salazar, 2011).

##### **2.2.2. Tipos de mampuestos**

El Reglamento Nacional de Construcción RCN (2017) clasifica a los mampuestos en dos tipos:  
Bloques de concreto y ladrillos de arcilla

## **2.3. Bloques para mampostería**

### **2.3.1. Definición del bloque**

Un bloque de hormigón 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). Por otro lado, Demera Centeno & Romero Rodríguez (2018) complementan que en un bloque prefabricado de hormigón, el área neta es menor en un 75% o más del área bruta y las dos secciones son medidas en un mismo plano paralelo a la celdas huecas del bloque.

### **2.3.2. Clasificación del bloque**

Aplicando la normativa ecuatoriana NTE INEN 3066 (2016) los bloques se clasifican de acuerdo a su uso (Tabla 1). Este proyecto de investigación se enfoca principalmente en el estudio del bloque tipo “B” para ser ocupados en mamposterías (paredes) no estructurales, es decir, que no soportan cargas exteriores simplemente su peso propio, y son aplicadas en obras civiles, como separadoras de espacios tanto interiores como exteriores.

Para que los bloques puedan ser aplicados en la construcción, éstos deben cumplir con las resistencias netas mínimas a la compresión simple, tal como lo indica la Tabla 1. En este proyecto el objetivo es llegar a obtener una resistencia igual o mayor a los 4 MPa por estar diseñando bloques clase B.

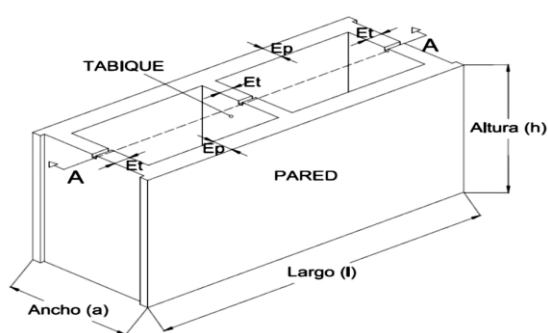
**Tabla 1***Clasificación de los bloques de acuerdo a su uso*

Clase	Uso	Resistencia neta mínima a la compresión simple MPa	Densidad (Kg/m3)			Absorción de agua máxima promedio (Kg/m3)		
			Liviano	Mediano	Normal	Liviano	Mediano	Normal
A	Mampostería estructural	13.8	288	240	208	320	272	240
B	Mampostería no estructural	4	288	240	208	320	272	240
C	Alivianamientos en losas	1.7	288	240	208	320	272	240

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016, pág. 10)

**2.3.3. Partes del bloque**

En la *Figura 1* se puede apreciar la nomenclatura de las partes de un bloque de hormigón dónde “l” es el largo, “a” el ancho, “h” la altura, “Ep” el espesor de la pared, el cual debe ser el mismo en los dos extremos del bloque y “Et” el espesor del tabique interior y exterior.

**Figura 1.** Nomenclatura de partes del bloque de hormigón

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016, pág. 10)



### 2.3.4. Dimensiones del bloque

De acuerdo a la normativa ecuatoriana NTE INEN 3066 (2016) en los bloques de hormigón se tiene las dimensiones modulares, que son el largo, ancho y altura del bloque una vez producido el bloque y las dimensiones nominales las cuales son la suma de la dimensión nominal más el ancho de la respectiva junta (pág. 2). En la Tabla 2 se aprecia las dimensiones mínimas de paredes y tabiques de los bloques clase A.

**Tabla 2**

*Dimensiones mínimas de paredes y tabiques, bloques Clase A*

Ancho modular del bloque (mm)	Espesores mínimos de paredes y tabiques (mm)		Área mínima normalizada de tabiques (mm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
	Paredes	Tabiques	
≤ 100	19	19	45140
101 a 150	25	19	45140
> 150	32	19	45140

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016, pág. 4)

En la Tabla 3 se puede apreciar las dimensiones tanto modulares como nominales para las tres clases de bloques (A, B y C), además la normativa ecuatoriana NTE INEN 3066 (2016) indica que los valores de las columnas podrán combinarse entre sí, siempre y cuando tomando en cuenta que el largo sea mayor al ancho.

**Tabla 3***Dimensiones modulares y dimensiones nominales de los bloques de hormigón*

<b>Dimensiones modulares (mm)</b>			<b>Dimensiones nominales (mm)</b>		
<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Altura</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Altura</b>
400	100	200	390	90	190
400	150	200	390	140	190
400	200	200	390	190	190

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016, pág. 4)

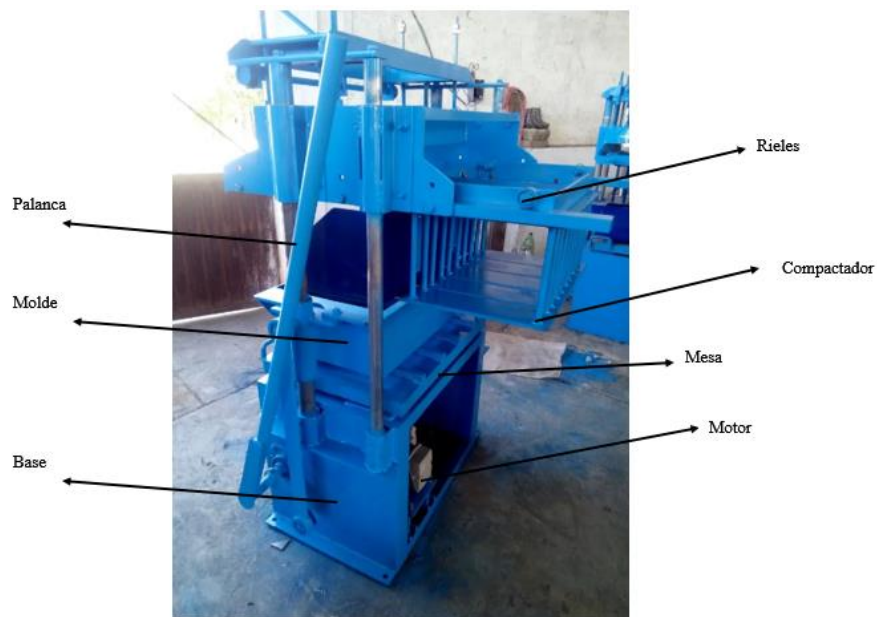
Este proyecto se basará en diseñar y ensayar bloques tipo B y C con las dimensiones de 400x150x200 mm de largo, ancho y altura respectivamente, que son los más usuales en las construcciones de obras civiles como cerramientos y paredes divisorias y que cumplen con lo establecido en la norma.

### **2.3.5. Fabricación del bloque**

#### **2.3.5.1. Máquina de volteo**

Gamboa de León Regil (2005) menciona que la producción de bloques de hormigón ha evolucionado y mejorado sus sistemas de forma sencilla y más precisa, por medio de las máquinas de volteo, que son manuales y funcionan con un motor eléctrico monofásico de 2.5 Hp de potencia, y por medio de un sistema de vibrado-compresión compactan la mezcla (cemento, áridos y agua) hasta que se forme el bloque con las dimensiones establecidas. Con esta máquina al final del día se tiene un promedio de 2000 bloques, pero hay que tomar en cuenta que influye mucho la destreza de los operarios de la maquinaria.

Las partes principales de una máquina de volteo y su ubicación se detallan en la Figura 2.



*Figura 2.* Máquina de volteo y sus partes

### **2.3.5.2. Mezcladora de eje horizontal**

Como complemento de la máquina de volteo se tiene la mezcladora de eje horizontal, una máquina manual que al accionarse por medio de un motor eléctrico monofásico de 10 Hp y una caja de transmisión, hacen rotar el eje central accionando el sistema para mezclar hasta una capacidad equivalente a un saco de cemento con los respectivos agregados (Gamboa de León Regil, 2005, pág. 10).

Las partes principales de la mezcladora de eje horizontal se detallan en la Figura 3.



**Figura 3.** Mezcladora de eje horizontal

### 2.3.5.3. Proceso de fabricación

La mezcla para fabricar los bloques de concreto tradicionales que se encuentran liderando el mercado en la actualidad se elaboran de cemento hidráulico, áridos finos y gruesos, tales como: arena, grava, piedra partida, granulados volcánicos, piedra pómez, escorias entre otros materiales inorgánicos adecuados (NTE INEN 3066, 2016, p. 3) adicional se agrega agua de acuerdo a la dosificación seleccionada.

Los materiales antes mencionados se detallarán más a fondo en el capítulo 3 de este trabajo de investigación, donde se dará a conocer las propiedades que deben cumplir, respecto a las normativas de diseño, para poder ser utilizados en la fabricación del bloque de estudio.

El proceso de fabricación de los bloques tradicionales, es decir los que no incluyen materiales reciclables, consta de encender la mezcladora y alimentarla con una parte del total del volumen de arena seleccionado, posteriormente se agrega cemento y agua para que pueda mezclarse durante 30 segundos mientras se agrega el faltante de arena, y se deja mezclar hasta que la consistencia de

la mezcla sea pareja (Figura 4) y finalmente se agrega más agua hasta obtener la humedad necesaria, una vez que la mezcla esté en su punto se vacía la carga por la escotilla de vaciado (Gamboa de León Regil, 2005, pág. 12).



**Figura 4.** Mezcla con una consistencia uniforme

Luego de descargado el material de la mezcladora, se pasa a la máquina de volteo o vibratoria y de forma manual y con la ayuda del vibrado se rellena el molde rápidamente y de forma homogénea. Después se suelta el compactador que cae sobre los moldes los cuales al estar sobre una mesa le permite ser compactado hasta llegar a las medidas establecidas, todo por un sistema de vibración. Para terminar el proceso, se retira el compactador y se mueve la palanca para que se levante el molde y poder retirar los bloques (Figura 5) con la ayuda de un coche transportador especial de bloques (Gamboa de León Regil, 2005, pág. 10). Como nota importante los bloques salen sobre unas tablas unidas o un pallet.



**Figura 5.** Retiro de los bloques con el coche transportador de bloques

Después que se retiren los bloques de la máquina de volteo se coloca a los bloques en un lugar seguro, en una cubierta o se los cubre con plástico, se debe garantizar la protección del sol, viento y lluvia para que puedan fraguar sin perder la humedad o humedecerse demás, ya que esto produce un rápido secado o un fisuramiento lo cual provoca que se pierda la resistencia esperada. El periodo de fraguado debe ser entre 4 a 8 horas. Luego deben ser curados para mantener húmedos los bloques, esto permite que continúe la reacción química del cemento y obtener un bloque con la resistencia adecuada. Hay que curar los bloques durante siete días y al menos tres veces por día, y muy importante hay que colocar los bloques en grupos de máximo cuatro, dejando una distancia de mínimo 2 cm para que se pueda curar completamente el bloque y circule el aire. Para el secado y almacenamiento de los bloques se debe tener suficiente espacio para que puedan cumplir los 28 días de reposo sin problemas (Arrieta Freyre & Peñaherrera Deza, 2011).

## 2.4. Materia prima

### 2.4.1. Plástico reciclado (PET)

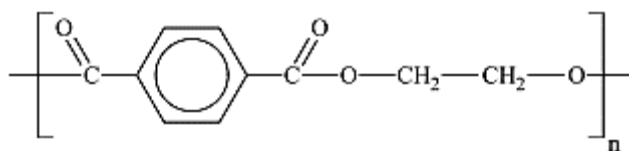
#### 2.4.1.1. Definición del PET

El Polientiléntereftalato (PET) es un material que se utiliza mucho para elaborar recipientes de bebidas de agua, jugos, detergentes, aceites, entre otros (Angumba Aguilar, 2016). En la Figura 6 se puede apreciar el PET triturado con el que se llevó a cabo este proyecto.



*Figura 6.* PET triturado

El PET es un compuesto, que pertenece al grupo de materiales sintéticos termo formables y se obtiene al combinar el ácido tereftálico y el etilenglicol que son derivados del petróleo, además es aplicable en empaques misceláneos, fibras y envases (Juárez, Santiago, & Vera, 2010). La fórmula química se presenta en la Figura 7.



*Figura 7.* Fórmula química desarrollada del PET

Fuente: (Juárez, Santiago, & Vera, 2010, pág. 3)

### 2.4.1.2. Codificación del PET

En lo que respecta a la familia de plásticos existen más de cien tipos, pero solo seis son los más comunes, y se los puede identificar con un número encerrado por un triángulo (Figura 8), según el SPI (Sistema de Identificación de Plásticos), esto lo que hace es facilitar el reciclado y su clasificación (Hachi Quintana & Rodríguez Mejía, 2010). En esta investigación se va a ser énfasis y a detallar las características solamente del plástico Polietileno de Tereftalato (PET).



**Figura 8.** Codificación del Polietileno de Tereftalato

Fuente: (Hachi Quintana & Rodríguez Mejía, 2010)

### 2.4.1.3. Proceso de producción del PET

La resina se expone en cilindros pequeños, que una vez secos se funden y luego se inyectan en múltiples cavidades en donde se producen los recipientes o proformas que todavía no están inflados y solo está formada la boca del envase. Posterior a este proceso las proformas se someten a calentamiento para luego colocarlos dentro de un molde y someterlos a estiramiento con la ayuda de un pistón hasta lograr el tamaño requerido, finalmente se infla con aire a presión y toman la forma de un envase típico (Quiminet, 2005).

### 2.4.1.4. Características del PET

Alesmar, Rendón & Korody (2008) describen que el PET es producto del petróleo crudo, gas natural y aire; a más detalle un kilo de PET contiene 13% de aire, 23% de derivados líquidos del



gas natural y 64% de petróleo. Además, describen que es un material característico por su ligereza y buena resistencia a la compresión.

#### **2.4.1.5. El reciclado del PET**

El PET una vez reciclado se convierte en RPET, un material que no puede aplicarse en la producción de envases destinados a almacenar alimentos, debido a que la esterilización del producto no es segura ya que en la producción de estos productos no se aplican temperaturas lo suficientemente altas (Maldonado Castro & Medina Cajas, 2008, pág. 19).

El PET para ser reciclado necesita pasar por diferentes procesos como ser clasificados por el color, empacados y comprimidos en paquetes de 3.000 a 5.000 botellas y cada uno de ellos se les imprime una identidad electrónica para facilitar su rastreo. Posteriormente el PET pasa a ser triturado, las etiquetas de papel son retiradas por presión de aire y las adheridas a las botellas con pegamento son removidas con un lavado intensivo, se eliminan las tapas debido a su peso. Esta materia prima es mezclada con sosa cáustica a temperaturas elevadas y el resultado final es utilizado para elaborar nuevos productos dentro de la industria (Angumba Aguilar, 2016, pág. 14).

#### **2.4.1.6. El PET en el ambiente**

Según el sitio web Semana Sostenible (2013) el reciclaje de envases PET es importante en la lucha contra la contaminación y el calentamiento global, pero al ser el elemento reciclable más usado en todo el mundo, según Greenpeace, la demanda se acelera y aumenta la producción en las diversas empresas de reciclaje, lo cual provoca que se incremente el impacto ambiental del plástico. El principal problema está en que el porcentaje de reciclado es menor que el de producción, consecuencia de que el RPET no puede ser utilizado en envases para bebidas o alimentos.

#### **2.4.1.7. Tecnologías de reciclaje de plástico**

Röben (2013) menciona tres alternativas de reciclaje y recuperación de los plásticos, que son reciclaje mecánico, reciclaje químico y el reciclado energético. El PET utilizado en este proyecto pasó por el método de reciclaje mecánico que es el que utiliza la empresa ENKADOR, la misma de donde se obtuvo el material para este proyecto.

##### **2.4.1.7.1. Reciclado mecánico**

El reciclado mecánico es la técnica más utilizada que consiste en separar, lavar los envases y molerlos para obtener unas escamas que se destinan en forma directa al producto que se va a fabricar (Quito & Villafuerte, 2011, pág. 17).

#### **2.4.2. Fibras de caucho de neumáticos reciclados**

Las fibras de caucho de neumáticos reciclados (Figura 9) o caucho granulado reciclado se obtiene de la trituración de los neumáticos fuera de uso (NFU), y separación de los componentes que no se desean como son el acero y fibras textiles, en lo cual se obtiene migas de caucho con diferentes granulometrías según la aplicación que se requiera (Olivares Carmona, 2016, pág. 6).

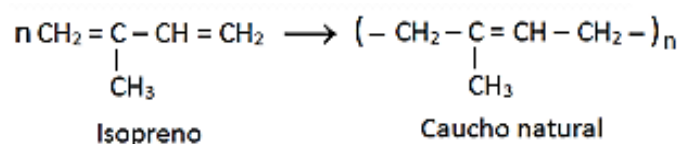


**Figura 9.** Fibras de caucho de neumáticos reciclados

### 2.4.2.1. Definición del caucho

El caucho es un polímero que surge como una emulsión lechosa o material viscoso, conocido como látex, el mismo que resulta de la savia de varias plantas y también puede ser producido sintéticamente (Almeida Salazar, 2011, pág. 9). El árbol *Hevea brasiliensis* o conocido como Árbol de Hule es en donde se practican las incisiones para extraer el látex, que contiene entre un 25% y 40% de caucho natural.

El sitio web Quiminet (2012) detalla que existen dos tipos de cauchos: el caucho natural y el caucho sintético. En la Figura 10 se presenta la fórmula empírica del caucho natural.



**Figura 10.** Fórmula empírica del caucho natural

Fuente: (Quiminet, 2012)

### 2.4.2.2. El reciclado de los neumáticos

Olivares Carmona (2016) destaca que alrededor del 60% de la composición del neumático son cauchos naturales o sintéticos, los cuales pueden ser reutilizados en varias aplicaciones, pero en países con mayor tecnología se puede reciclar hasta el 98% del neumático y sólo un 2% de residuo industrial que es convertido en ceniza (pág. 6).

### 2.4.2.3. Los neumáticos en el ambiente

Los NFU son desechados en las orillas de las vías, caminos o en vertederos clandestinos (Figura 11), los cuales ocupan mucho espacio y mientras más se acumulan más se incrementa la posibilidad

de incendios y emanación de gases tóxicos, adicional se produce la propagación de roedores, insectos y entre otras infecciones que son perjudiciales para la salud de los seres humanos y animales (Olivares Carmona, 2016, pág. 5).



*Figura 11.* Neumáticos fuera de uso (NFU) obstaculizando espacios públicos

#### **2.4.2.4. Tecnologías de reciclaje de neumáticos reciclados**

Urra Carrasco (2006) manifiesta que para el reciclaje de neumáticos hay seis métodos más importantes, que son termólisis, pirolisis, incineración, trituración criogénica, trituración mecánica y neumáticos convertidos en energía eléctrica. Las fibras de caucho utilizadas en este proyecto pasaron por el método de trituración mecánica.

##### **2.4.2.4.1. Trituración mecánica**

La trituración mecánica es un método puramente mecánico porque no se utilizan químicos ni se adiciona calor, sino que se pasa los NFU por una serie de máquinas trituradoras hasta conseguir la salida de un material de menor volumen, el cual dependerá del uso que se le vaya a dar al nuevo producto (Pérez Oyola & Arrieta Ballén, 2017).

## **2.5. Técnicas de dosificación**

El objetivo de este proyecto de investigación es aplicar una dosificación adecuada para elaborar una cierta cantidad de bloques. Consiste en ir reemplazando el árido fino (arena) por la materia prima reciclable, PET y fibras de caucho de neumáticos reciclados. Para ello en el sitio web Tecnología del Plástico (2016) se menciona dos tipos de dosificación, dosificación gravimétrica, en donde se pesa el material, y dosificación volumétrica, que consta en colocar el material en relación al volumen. Siendo éste último método el aplicado en este proyecto, y las dosificaciones seleccionadas se detallará en el capítulo 3.

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DE BLOQUES

#### 3.1 Metodología

##### 3.1.1 Antecedentes

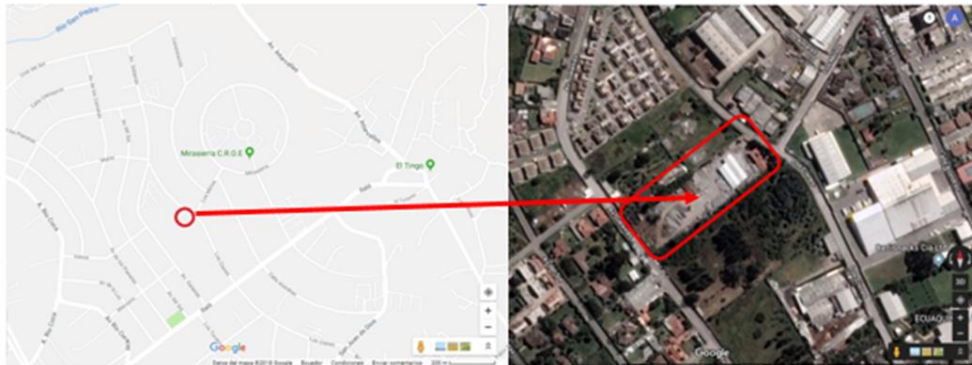
Para dar inicio a esta investigación se adquirieron bloques de 40 x 20 x 15 cm, en la Comercializadora 1, ubicada en el sector de Sangolquí y la bloquera GALARAMI Comercializadora 2, estos bloques fueron sometidos a ensayos de compresión de acuerdo a la norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 3066, 2016). Una vez realizados los ensayos se pudo establecer que los bloques elaborados por la Comercializadora 1 no cumplían con la resistencia a la compresión requerida, no así los elaborados por la Comercializadora 2 que cumplieron con todos los requisitos establecidos por la norma antes mencionada.

Por lo antes expuesto se decidió elaborar los bloques con PET y fibras de caucho de neumático siguiendo el mismo proceso de fabricación que la empresa comercializadora 2

##### 3.1.2 Descripción del proceso para la elaboración de los bloques con PET y fibras de caucho de neumático

En la fabricación de los bloques de este proyecto se utilizó cemento hidráulico, arena no lavada (árido fino), plástico reciclado (PET) y fibras de caucho de neumático, adicional resina y agua potable. El PET y las fibras de caucho de neumático van a reemplazar al árido fino en diferentes porcentajes, por eso la granulometría de cada material debe ser uniforme para así obtener una buena densidad en la mezcla y una textura fina en las paredes exteriores del bloque.

Los bloques con fibras de caucho de neumático y los bloques con plástico reciclado (PET) se fabricaron en la empresa GALARAMI CIA. LTDA, ubicada en el sector Alangasí, Quito, Pichincha, Ecuador, en las calles Los Cisnes lote 54 y Los Mirlos (Figura 12).



**Figura 12.** Ubicación de la empresa GALARAMI CIA. LTDA

Fuente: (Google Maps, 2014)

Esta prestigiosa empresa se dedica a la fabricación de bloques y adoquines (Figura 13). El propietario es el Ing. Robinson Galarza quien prestó las instalaciones y el material de la empresa para el desarrollo del proyecto.



**Figura 13.** Instalaciones internas de la comercializadora 2



**Figura 14.** Equipo utilizado en la comercializadora 2

El proceso de fabricación que lleva a cabo en la Comercializadora 2, se muestra a continuación, tomando en cuenta que todas las dosificaciones se hacen por volumen:

1. Se vierte la arena en la mezcladora de turbina horizontal, según la dosificación preseleccionada.



**Figura 15.** Vertido de la arena en la mezcladora

2. Luego se añade cemento y se deja mezclar hasta que la proporción tome un color uniforme.





**Figura 16.** Colocación del cemento en la mezcladora

3. A continuación se coloca el PET o las fibras de caucho de neumático, según el tipo de bloque que se esté fabricando en ese momento, y al igual que el paso anterior la mezcla procede hasta que la masa tome el mismo color.



**Figura 17.** Colocación de fibras de caucho y/o PET en la mezcladora

4. Se procede a colocar la resina en el volumen de agua seleccionado y se mezcla por aproximadamente un 1 minuto hasta que el líquido tome un solo tono de color.



**Figura 18.** Mezcla de la resina con agua

5. A continuación, se vierte el agua con resina poco a poco en la mezcla de cemento, arena y material reciclable hasta que se forme una masa consistente, la misma que al tomarla con la mano, hacer un puño ésta no se desmorone al abrir la mano. Este proceso puede durar aproximadamente entre 7 y 10 minutos.



**Figura 19.** Vertido del agua con resina y prueba de la consistencia de la masa

6. Una vez obtenida la masa adecuada, ésta se vierte de la mezcladora hacia una carretilla o al contrapiso a fin de que no se contamine con materiales orgánicos que bajen la resistencia del bloque.



**Figura 20.** Vertido de la mezcla en el suelo sin residuos

7. Se enciende la máquina vibradora o de volteo y el material vertido se toma con una pala y se rellenan los moldes en la máquina, distribuyendo el material por todos los espacios para que los bloques no tengan diferencias en sus dimensiones.



**Figura 21.** Colocación y distribución del material en los moldes de la máquina vibratoria

8. Se sueltan los pisones que caen libremente y comienzan a vibrar todo el material, de forma vertical, sobre los moldes, formando así un bloque uniforme y consistente. Este proceso no dura más de 1 minuto y se obtienen 4 bloques.



**Figura 22.** Pisones vibrando el material

9. Posteriormente se apaga la máquina y con la ayuda de una palanca se levantan los pisones y se verifica si los bloques tienen el aspecto y consistencia esperada, caso contrario se repite el paso anterior hasta que se formen correctamente.



**Figura 23.** Levantamiento de los pisones por medio de una palanca

10. Una vez obtenidos los bloques esperados, se retiran de la máquina con un coche transportador de bloques, a fin de colocarlos continuamente y procedan al secado.



*Figura 24.* Retiro y transporte de los bloques de la máquina de vibrado

11. El proceso termina con el curado de los bloques por 2 o 3 días y posteriormente apilarlos hasta cuando cumplan los días esperados y sean llevados al laboratorio para ser ensayados.



*Figura 25.* Curado de los bloques

## 3.2 Preparación de la materia prima

### 3.2.1 Agregados

En el ámbito relacionado con la construcción, se define a los agregados como materiales minerales, sólidos inertes, que con una correcta granulometría, se utilizan en la elaboración de materiales hechos por la mano del hombre que son sumamente resistentes. El tamaño de los

agregados son muy diversos, comprende desde polvo casi intangible de 60 micras de diámetro hasta fragmentos cuya dimensión puede ser de varios metros (Holcim Ecuador S.A., 2017).

En la actualidad el empleo de los agregados es muy variado. En la construcción se utilizan para la elaboración de concreto, bloques, adoquines para viviendas, escuelas, hospitales, edificios, centros comerciales, etc. En obras públicas, en la construcción de carreteras, presas de hormigón, puertos, puentes, viaductos, aeropuertos, etc (Holcim Ecuador S.A., 2017).

### 3.2.2 Agregado fino

Se entiende por agregado fino al producto que se origina de la disgregación de la roca volcánica, por su tamaño de sus partículas es capaz de pasar el tamiz de 9.5 mm (3/8”) y retenido en el tamiz 75  $\mu\text{m}$  (N° 200) (Holcim Ecuador S.A., 2017).

El agregado fino que se ocupó en la presente investigación es arena extraída de la roca tipo andesita, procedente de la Cantera de Holcim Ecuador, perteneciente a la parroquia de Pifo, cantón Quito (ver Figura 26)



**Figura 26.** Arena procedente de la Cantera de HOLCIM Ecuador

### 3.2.2.1 Cálculo Granulométrico de la Arena

El ensayo para determinar la distribución granulométrica de la arena se la realizó con base a la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 696, 2011) “Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso” y a la Norma (ASTM C136, 2001) “Método de ensayo normalizado para determinar el análisis granulométrico de los áridos finos y gruesos”. La aplicación de estas normas es para establecer el módulo de finura de la arena. En la Figura 27 se observa los tamices que se usaron para realizar la granulometría dando cumplimiento a las normas antes mencionadas.



**Figura 27.** Tamices para realizar la granulometría de la arena-PET-fibras de caucho

Se entiende por análisis granulométrico al método manual o mecánico que permite la separación de las partículas constitutivas del agregado con base a su tamaño, con lo que se puede establecer la cantidad en peso que cada tamaño contribuye al peso total (Figura 28).

El análisis granulométrico según López (2017) radica en establecer la distribución de acuerdo a la dimensión de las partículas que lo componen, o sea, en clasificar el árido en diferentes fragmentos de partículas de similar tamaño, y en hallar la proporción de cada uno

que entra en el árido. Para clasificar por medida se usan tamices con distintas aberturas, a fin de determinar tamaño máximo de agregado. (pág. 53).



*Figura 28.* Separación de las partículas mediante tamizado mecánico

En la tabla 4 se presenta los datos obtenidos de la granulometría realizada a la arena.

**Tabla 4**

*Granulometría de la arena utilizada para la elaboración de los bloques*

Abertura (mm)	Tamiz Nº	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
9.5	3/8 in.	0.00	0.00	100.00
4.75	4	0.20	0.20	99.80
2.36	8	21.50	21.70	78.30
1.18	16	26.40	48.10	51.90
0.6	30	17.50	65.60	34.40
0.3	50	12.30	77.90	22.10
0.15	100	7.10	85.00	15.00
Bandeja		15.00	100.00	0.00



Con los datos obtenidos en la Tabla 4 se puede definir el módulo de finura (MF), es decir qué tan fino o qué tan grueso es el agregado. Según la norma (ASTM 125, 2001) el módulo de finura se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados y dividida la suma por 100, tal como se muestra en la ecuación 1.

$$MF = \frac{\sum \text{Ret. acumulado}}{100} \quad (1)$$

$$MF = \frac{0.20 + 21.70 + 48.10 + 65.60 + 77.90 + 85}{100}$$

$$MF = 2.98$$

(Salcedo, 2006), manifiesta que, “a través de diferentes estudios se ha llegado a la conclusión de que arenas gruesas con módulos de finura entre 2.7 y 3.2, resultan recomendables para una buena manejabilidad y resistencia a la compresión” (pág. 12).

En la Tabla 5, se presenta la clasificación del agregado fino según (Mena & Loera, 1972).

**Tabla 5**

*Clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor del módulo de finura*

<b>Módulo de Finura</b>	<b>Agregado Fino</b>
Menor que 2,00	Muy fino o extra fino
2,00 - 2,30	Fino
2,30 - 2,60	Ligeramente fino
2,60 - 2,90	Mediano
2,90 - 3,20	Ligeramente grueso
3,20 - 3,50	Grueso
Mayor que 3,50	Muy grueso o extra grueso

El módulo de finura obtenido del análisis granulométrico del agregado fino usado para la elaboración de bloques fue de 2.98 con lo que de acuerdo a la Tabla 5, lo clasifica como agregado fino ligeramente grueso.

### 3.2.3 PET

En la Figura 29 se puede apreciar el PET tipo enjuagado T/C, el cual se adquirió en la empresa ecuatoriana ENKADOR S.A. quien en el 2012 incursionó en el mercado de resinas plásticas a partir del reciclaje de las botellas PET post-consumo, con maquinaria de última generación para la fabricación de resina de PET con tecnología FDA. Esta empresa se encuentra ubicada en Selva Alegre km 1 vía a San Fernando, Sangolquí.



*Figura 29.* Muestra de PET enjuagado de la empresa ENKADOR S.A

#### 3.2.3.1 Cálculo Granulométrico del PET

Considerando que el Tereftalato de Polietileno (PET) sustituye en diferentes proporciones al agregado fino, la distribución granulométrica del PET (ver Figura 30), se lo realiza aplicando las mismas normas que se aplicaron con la arena. En la Tabla 6 se presenta los datos obtenidos de la granulometría realizada con el PET.



**Figura 30.** Tamizado del PET

**Tabla 6**

*Granulometría del PET utilizada para la elaboración de los bloques*

Abertura (mm)	Tamiz N°	Peso (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
9.5	3/8 in.	0.00	0.00	0.00	100.00
4.75	4	0.00	0.00	0.00	100.00
2.36	8	87.00	17.40	17.40	82.60
1.18	16	410.00	82.00	99.40	0.60
0.6	30	2.00	0.40	99.80	0.20
0.3	50	0.50	0.10	99.90	0.10
0.15	100	0.50	0.10	100.00	0.00
Bandeja		500.00	0.00	100.00	0.00

$$MF = \frac{17.40 + 99.40 + 99.80 + 99.9 + 100}{100}$$

$$MF = 4.16$$

El módulo de finura obtenido del análisis granulométrico del Tereftalato de Polietileno (PET) usado para la elaboración de bloques fue de 4.16 con lo que de acuerdo a la Tabla 5 lo clasifica como agregado fino muy grueso o extra grueso.

### 3.2.4 Fibras de caucho

En la Figura 31 se puede apreciar las fibras de caucho reciclado adquiridas en la Industria Recicladora de Caucho ECOCAUCHO S.A. Esta empresa nace el 13 de junio de 2013 con el objeto de fabricar productos conformados de caucho reciclado, se encuentra ubicada en la ciudad de Quito, sector Carcelén (ECO CAUCHO S.A, 2013).



*Figura 31.* Fibras de caucho fino < 2 mm de la empresa ECOCAUCHO

#### 3.2.4.1 Cálculo Granulométrico de las fibras de caucho

Considerando que las fibras de caucho van a sustituir en diferentes proporciones al agregado fino, la distribución granulométrica se la realiza aplicando las mismas normas que se aplicaron con la arena. En la Tabla 7 se presenta los datos obtenidos de la granulometría realizada con las fibras de caucho.

**Tabla 7***Granulometría de las fibras de vidrio utilizadas para la elaboración de los bloques*

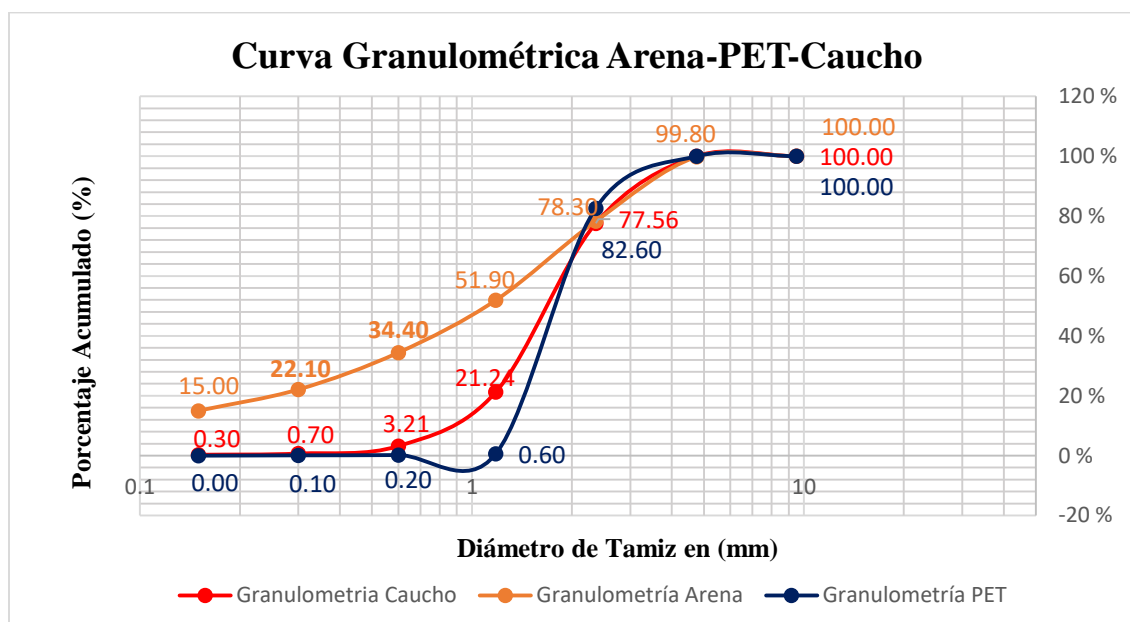
<b>Abertura (mm)</b>	<b>Tamiz N°</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Retenido Parcial (%)</b>	<b>Retenido Acumulado (%)</b>	<b>Pasante Acumulado (%)</b>
9.5	3/8 in.	0.00	0.00	0.00	100.00
4.75	4	0.00	0.00	0.00	100.00
2.36	8	112.00	22.44	22.44	77.56
1.18	16	281.00	56.31	78.76	21.24
0.6	30	90.00	18.04	96.79	3.21
0.3	50	12.50	2.51	99.30	0.70
0.15	100	2.00	0.40	99.70	0.30
		1.50	0.30	100.00	
Bandeja		499.00	0.00	100.00	0.00

$$MF = \frac{22.44 + 78.76 + 96.79 + 99.3 + 99.7}{100}$$

$$MF = 3.96$$

El módulo de finura obtenido del análisis granulométrico de las fibras de caucho usado para la elaboración de bloques fue de 3.96 con lo que de acuerdo a la Tabla 5 lo clasifica como agregado fino muy grueso o extra grueso.

A continuación se presenta la curva granulométrica de la arena, PET y caucho.



**Figura 32.** Curva granulométrica Arena-PET-Caucho

### 3.2.5 Cemento

De acuerdo con (Angumba Aguilar, 2016), el cemento es “el material que sirve para adherir o conglomerar las partículas de los agregados, logrando la unión de los materiales pétreos que forman una masa consistente, resistente y compacta” (pág. 25).

Existen 2 tipos de cementos: El cemento hidráulico que acuerdo a la norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 2380, 2011) “Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos”, recalca que éste se caracteriza por fraguar y endurecerse al mezclarse con el agua debido a una reacción química y el cemento portland norma (NTE INEN 152, 2012) “Cemento Portland. Requisitos”, es un cemento hidráulico producido por la pulverización del Clinker, su composición está dada básicamente por silicatos de calcio hidráulicos.

La (NTE INEN 2380, 2011) clasifica a los cementos hidráulicos de acuerdo a sus propiedades específicas como se puede apreciar en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Clasificación de los cementos hidráulicos*

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
GU	Para construcción en general.
HE	Alta resistencia inicial
MS	Moderada resistencia a los sulfatos
HS	Alta resistencia a los sulfatos
MH	Moderado calor de hidratación
LH	Bajo calor de hidratación

Fuente: (NTE INEN 2380, 2011)

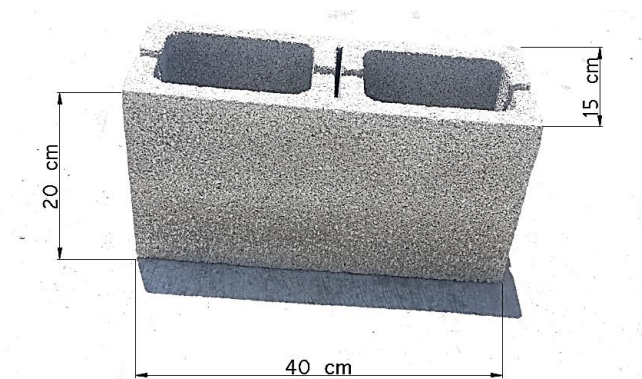
El cemento hidráulico utilizado en la Comercializadora 2 para la elaboración del mortero es el de Holcim, tipo MH “Moderada resistencia a los sulfatos” de 45 kg (Figura 33). Este cemento fue diseñado específicamente para la producción de prefabricados livianos como bloques y adoquines, logrando con esto una mayor resistencia del bloque.



**Figura 33.** Tipo de cemento utilizado en la fabricación de bloques

### 3.3 Dimensión de los bloques

Los bloques elaborados con PET y fibras de caucho tienen las siguientes dimensiones: largo  $l=40$  cm, altura  $h=20$  cm y ancho  $a=15$  cm, como se puede apreciar en la Figura 34. Estos fueron elaborados en un molde metálico que permitía fabricar 4 bloques a la vez en la máquina de volteo, (Figura 2).



*Figura 34.* Dimensión del bloque elaborado



*Figura 35.* Molde metálico utilizado para la elaboración de los bloques



### 3.4 Dosificaciones por porcentajes de PET

La dosificación para la elaboración de los bloques con (PET) se lo realizó por volumen, mediante la mezcla de cemento, arena, PET, resina y agua en diferentes proporciones. Para ello se reemplazó el volumen de arena fina por PET de manera progresiva en un rango del 12.5%, 25%, 50%, 62.5% y 81.25%. Para el cemento y el agua se mantuvo la misma proporción en todos los casos, mientras que la resina se fue incrementando de 16%, 33% y 50% del volumen con relación a 1 litro.

Para llegar a establecer la cantidad en volumen de cada uno de los agregados para la elaboración del mortero se tomó como referencia la dosificación que emplea la Comercializadora 2, en la Tabla 9 se puede apreciar que la relación cemento arena es 1:3, y la cantidad de agua corresponde al 49% de la cantidad de cemento.

**Tabla 9**

*Dosificación para la elaboración de bloques la comercializadora 2*

<b>Cemento</b> <b>[saco 45 kg]</b>	<b>Arena</b> <b>[Parihuela]</b>	<b>Agua</b> <b>[lt]</b>
1	8	22

Según la definición de Modenese (2015) parihuela “es un contenedor metálico de forma cúbica o cilíndrica que tiene un volumen de 0.027 m<sup>3</sup> y sirve para dosificar la cantidad de agregados pétreos en la preparación del concreto, sus dimensiones son de 30 x 30 x 30 cm” (pág. 49).

En este contexto cabe mencionar que una parihuela contiene 8 palas con arena, y una carretilla llena con arena está compuesta por 2 parihuelas, es decir 16 palas con arena. Una pala con arena pesa aproximadamente 2.5 kg, mientras que una pala con PET pesa aproximadamente 2.3 kg. Si se

analiza los datos de la Tabla 9 se entiende que la dosificación para la elaboración de los bloques está dada por: un saco de cemento, 8 parihuelas que significan 64 palas con arena y 22 litros de agua, con esta dosificación se pueden elaborar aproximadamente entre 64 y 68 bloques.

Para determinar la cantidad de agregados en volumen necesarios para la elaboración de bloques con el 12.5 % de PET se partió tomando como base la cuarta parte de la dosificación aplicada por la comercializadora 2, es decir el  $\frac{1}{4}$  del saco de cemento, 16 palas del agregado fino (14 palas con arena y 2 palas con PET), 5.5 litros de agua y el volumen de resina en  $\frac{1}{6}$ ,  $\frac{1}{3}$  y  $\frac{1}{2}$  de litro. Con esta dosificación se obtuvo un total de 16 bloques, La pala empleada en la elaboración del mortero fue una pala cuadrada con mango de madera.

El cálculo del volumen de arena por parihuela se realizó de la siguiente manera:

16 palas con arena  $\rightarrow$  2 parihuelas

14 palas con arena  $\rightarrow$  x

$$x = \frac{14 \text{ palas con arena} * 2 \text{ parihuelas}}{16 \text{ palas con arena}}$$

**x = 1.75 parihuelas de arena**

Lo propio se aplica con el cálculo del volumen de PET por parihuela:

16 palas con PET  $\rightarrow$  2 parihuelas

2 palas con PET  $\rightarrow$  x

$$x = \frac{2 \text{ palas con PET} * 2 \text{ parihuelas}}{16 \text{ palas con PET}}$$

**x = 0.25 parihuelas con PET**

Se repite el procedimiento y se continúa con la elaboración de los bloques con el 25%, 50%, 62.5% y 81.25% de PET. Lo propio se hizo para los bloques elaborados con fibras de caucho con 25% y 31.25%.

**Tabla 10**  
*Dosificaciones por volumen*

porcentaje	Cemento [saco 45 kg]	Arena [Parihuela]	Material reciclado [Parihuela]	Resina [lt]	Agua [lt]
12.5% PET	1/4	1.75	0.25	0 1/6 1/3 1/2	5.5
25% PET	1/4	1.5	0.5	0 1/6 1/3 1/2	5.5
50% PET	1/4	1	1	0 1/6 1/2	5.5
62.5% PET	1/4	0.75	1.25	0 1/6 1/2	5.5
81.25% PET	1/4	0.38	1.62	0 1/6 1/2	5.5
25% CAUCHO	1/4	1.5	0.5	1/2	5.5
31.25% CAUCHO	1/4	1.38	0.62	1/2	5.5

**Tabla 11**  
*Dosificaciones por peso*

porcentaje	Cemento [saco 45 kg]	Arena [Kg]	Material reciclado [Kg]	Resina [lt]	Agua [lt]
12.5% PET	11.25	4.375	0.575	0 1/6 1/3 1/2	5.5
25% PET	11.25	3.75	1.15	0 1/6 1/3 1/2	5.5
50% PET	11.25	2.5	2.3	0 1/6 1/2	5.5
62.5% PET	11.25	1.875	2.875	0 1/6 1/2	5.5
81.25% PET	11.25	0.95	3.726	0 1/6 1/2	5.5
25% CAUCHO	11.25	3.75	1.05	1/2	5.5
31.25% CAUCHO	11.25	3.45	1.302	1/2	5.5

### 3.5 Ensayos

#### 3.5.1 Normas

En la Tabla 12 se detallan las normas aplicadas en los ensayos realizados a los bloques con PET y fibras de caucho.

**Tabla 12**  
Normas aplicadas en los ensayo de laboratorio

ENSAYOS	PET Y CAUCHO	PET
Compresión	Norma técnica ecuatoria NTE 2619:2012 "Bloques huecos de hormigón, refrentado para el ensayo de compresión"	
Densidad, absorción, contenido de humedad	Norma técnica ecuatoria NTE 2619:2012 "Bloques huecos de hormigón, refrentado para el ensayo de compresión"	
Compresión diagonal		American Society for Testing and Materials (ASTM E447-92b, 1994)
Tensión diagonal		American Society for Testing and Materials (ASTM E519-02, 2002)

### 3.5.2 Resistencia a la Compresión

Los ensayos de resistencia a la compresión de los bloques se realizaron dando cumplimiento a la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 3066, 2016) “Bloques de hormigón. Requisitos, métodos de ensayo” y a la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 2619, 2012) “Bloques de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo”. Los ensayos antes mencionados se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Una vez terminado el proceso de curado de los bloques (Figura 36), se los almacenó a fin de proceder con los respectivos ensayos de compresión a los 7, 14, 21 y 28 días. Previo al inicio de cada ensayo se debe pesar y medir los bloques (Figura 37) ya que estos datos sirven para realizar posteriores cálculos y con esto procesar los resultados correctamente.



**Figura 36.** Bloques listos para ser almacenados



**Figura 37.** Medición y pesaje de los bloques

En la Figura 38 se aprecia el refrentado de los bloques para el ensayo, en las caras de arriba y de la base del bloque, el objeto de hacer el refrentado es lograr que los apoyos del bloque queden

completamente uniformes a fin de que al momento de aplicar la carga esta se distribuya a lo largo y ancho de toda la superficie.



**Figura 38.** Refrentado de los bloques

En la Figura 39 se puede apreciar el curado de los bloques dando cumplimiento a la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 2528, 2010).



**Figura 39.** Colocación de los bloques en el tanque de curado

En la Figura 40 se aprecia la colocación de las placas de acero y la correcta ubicación del bloque para su ensayo en la máquina de compresión simple.



*Figura 40.* Colocación del bloque para el ensayo en la máquina de compresión simple

En la Figura 41 se observa la fisura que sufre el bloque una vez terminado el ensayo de compresión



*Figura 41.* Fisura del bloque comprimido

### **3.5.3 Absorción, Densidad y Contenido de Humedad**

Para el cálculo de la absorción, densidad y contenido de humedad se aplicará la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 3066, 2016) “Bloques de hormigón. Requisitos, métodos de ensayo”. Este ensayo consiste en sumergir el bloque en agua el cual está suspendido de un alambre que a su vez



está en conexión con la balanza (Figura 42), esto permite tomar el peso inicial del bloque saturado. En la norma a este peso se lo define como  $M_i$  que quiere decir masa de la muestra sumergida.



**Figura 42.** Peso inicial del bloque saturado

Posteriormente se introduce el bloque al tanque de curado por el lapso de 24 horas a fin de que se sature totalmente (Figura 43), transcurrido este tiempo se procede a sacar el bloque del agua, se lo deja escurrir (Figura 44), se coloca el bloque en la balanza y se registra su peso, este procedimiento se lo debe hacer cada 24 horas hasta que la diferencia de pesos consecutivos sea inferior a 0.2%. En la norma a este peso lo define como  $M_s$  que quiere decir masa de la muestra saturada.



**Figura 43.** Saturación de los bloques en el tanque de curado



**Figura 44.** Retiro del agua de la superficie del bloque

Una vez establecido el peso saturado del bloque se lo debe secar en un horno ventilado a una temperatura de  $104^{\circ}\text{C}$  (figura 45), finalmente se pesa el bloque cada 24 horas hasta que la diferencia de pesos consecutivos sea inferior a 0.2%. En la norma a este peso lo define como  $M_d$  que quiere decir masa de la muestra seca al horno.



*Figura 45.* Secado del bloque en el horno ventilado

### 3.6 Cálculos

#### 3.6.1 Resistencia a la compresión del área bruta

La resistencia a la compresión del área bruta del bloque se calcula de acuerdo a la norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 3066, 2016) de la siguiente manera:

$$\text{Resistencia a compresión del área bruta} = \frac{P_{\text{máx}}}{A_g} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right] \quad (1)$$

$$A_g = l * b \text{ [cm}^2\text{]} \quad (2)$$

Donde:

$P_{\text{máx}}$  es la máxima carga que resiste el bloque (Kg).

$A_g$  es el área bruta del bloque (Kg).

$l$  es el largo del bloque (Kg).

$b$  es la base del bloque (Kg).

### 3.6.2 Resistencia a la compresión del área neta

La resistencia a la compresión del área neta del bloque se calcula de acuerdo a la norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 3066, 2016).

$$\text{Resistencia a compresión del área neta} = \frac{P_{\text{máx}}}{A_n} [\text{Mpa}] \quad (3)$$

Donde:

$P_{\text{máx}}$  es la carga máxima de compresión, (N).

$A_n$  es el área neta de la unidad ( $\text{mm}^2$ ).

### 3.6.3 Área neta promedio

El área neta promedio de la unidad se calcula de acuerdo a la norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 3066, 2016).

$$\text{Volmen neto } (V_n) (\text{mm}^3) = \frac{M_d}{D} = (M_s - M_i) * 10^6 \quad (4)$$

$$\text{Area neta promedio } (A_n)(\text{mm}^2) = \frac{V_n}{h} \quad (5)$$

Donde:

$V_n$  es el volumen neto de la unidad ( $\text{mm}^3$ ).

$M_d$  es la masa de unidad seca al horno ( $\text{mm}^3$ ).

$D$  es la densidad de la unidad seca al horno ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$M_s$  es la masa de la unidad saturada (kg).

$M_i$  es la masa de unidad sumergida (kg).

$A_n$  es el área neta promedio de la unidad ( $\text{mm}^2$ ).

$h$  es la altura promedio de la unidad (mm).

### 3.6.4 Absorción

La absorción se calcula de acuerdo a la norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 3066, 2016).

$$\text{Absorción} = \frac{M_s - M_d}{M_s - M_i} \times 1000 \quad \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (6)$$

$$\text{Absorción} = \frac{M_s - M_d}{M_d} \times 100 \quad [\%] \quad (7)$$

Donde:

$M_s$  es la masa de la unidad saturada (Kg).

$M_i$  es la masa de la unidad sumergida (Kg).

$M_d$  es la masa de la unidad seca al horno (Kg).

### 3.6.5 Densidad

La densidad por cada unidad seca al horno se calcula de acuerdo a la norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 3066, 2016).

$$\text{Densidad (D)} = \frac{M_d}{M_s - M_i} \times 1000 \quad \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (8)$$

Donde:

$M_d$  es la masa de la unidad seca al horno (Kg).

$M_s$  es la masa de la unidad saturada (Kg).

$M_i$  es la masa de la unidad sumergida (Kg).

### 3.6.6 Contenido de humedad

El contenido de humedad se calcula de acuerdo a la norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 3066, 2016).

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{M_r - M_d}{M_s - M_d} \times 100 \quad [\%] \quad (9)$$

Donde:

$M_r$  es la masa de la unidad tal como se recibe (Kg).

$M_d$  es la masa de la unidad seca al horno (Kg).

$M_s$  es la masa de la unidad saturada (Kg).

## 3.7 Ensayo sobre muretes

### 3.7.1 Resistencia a la compresión axial y tensión diagonal de muretes

Los ensayos de resistencia a la compresión y tensión diagonal de muretes se realizaron en el Centro de Investigación de la Vivienda, perteneciente a la facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional. Básicamente estos ensayos se realizaron con la finalidad de conocer la resistencia que presentan los muretes elaborados por la comercializadora 2 (Figura 46) y los muretes elaborados con el 25% de Polietileno de Tereftalato (PET) (Figura 47)



**Figura 46.** Murete elaborado con bloques de la comercializadora 2

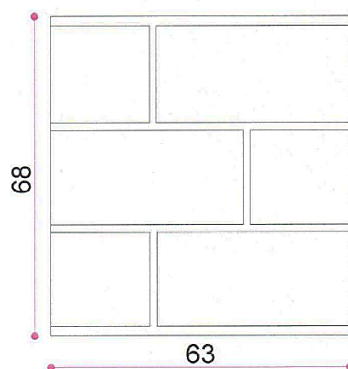


**Figura 47.** Murete elaborado con el 25 % de PET

El ensayo de compresión axial de los muretes se realizó con base a la norma American Society for Testing and Materials (ASTM E447-92b, 1994). Los muretes fueron construidos con bloques de 20\*40\*15 cm y se utilizó un total de 4.5 bloques, la dimensión total del murete se puede apreciar en la Tabla 13. De acuerdo a la norma antes mencionada los muretes fueron curados y ensayados a los 28 días de su fabricación, previo al ensayo se realizó el refrentado a fin de que al momento de aplicar la carga, ésta se distribuya en sobre toda la superficie del murete.

**Tabla 13**  
*Dimensión de los muretes*

Altura [cm]	Ancho [cm]	Espesor [cm]
68	63	15



**Figura 48.** Dimensiones de los muretes

En la Figura 49 se puede observar la aplicación de la carga generada por un gato hidráulico y registrada por una celda de carga, la misma que es distribuida a través de un elemento rígido



**Figura 49.** Ensayo de compresión



Lo propio se realizó con el ensayo de tensión diagonal, realizado con base a la norma American Society for Testing and Materials (ASTM E519-02, 2002), esta norma establece que los muretes deben ser cuadrado, compuesto de 3 o más hiladas. En tal sentido las dimensiones del murete se pueden apreciar en la Tabla 14.

**Tabla 14**  
*Dimensiones del murete para ensayo*

<b>Altura [cm]</b>	<b>Ancho [cm]</b>	<b>Espesor [cm]</b>
60	60	15

En la Figura 50 se puede observar la aplicación de la carga generada por un gato hidráulico y registrado por una celda de carga, la misma que es distribuida a través de un elemento rígido.



**Figura 50.** Ensayo de tensión diagonal

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Resultados de ensayo resistencia a la compresión

##### 4.1.1 Bloques convencionales

Con la finalidad de tener una referencia de la resistencia a la compresión de bloques de acuerdo a la norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 3066, 2016), se sometieron a ensayos los bloques alivianados y prensados por la comercializadora 1 (Figura 51), y los bloques prensados por la comercializadora 2.



**Figura 51.** Bloques convencionales utilizados para el ensayo de resistencia a la compresión

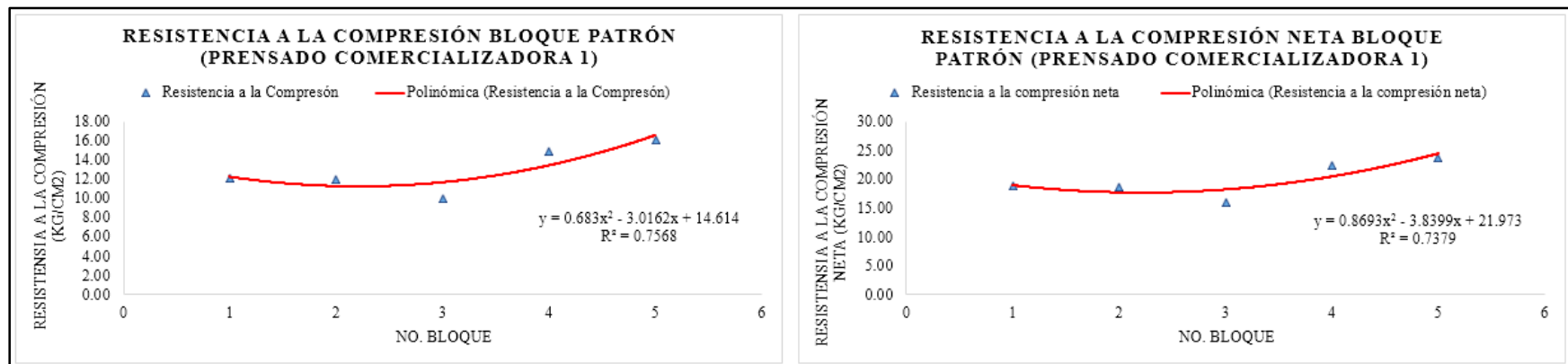
A continuación se presentan las tablas y las gráficas obtenidas de cada tipo de bloque.

#### 4.1.1.1 Bloques prensados Comercializadora 1

**Tabla 15**

*Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de bloques prensados Comercializadora 1*

Nº de bloque	l	a	h	Mr	Mi	Ms	Area bruta	Area neta	Pmáx	Resistencia a la compresión del área bruta	Resistencia a la compresión del área neta
	cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
1	39.90	15.00	20.00	11.60	4.47	12.20	598.50	386.50	7299.00	12.20	18.88
2	39.00	15.10	19.83	11.20	4.30	11.80	588.90	378.21	7093.00	12.04	18.75
3	39.90	15.06	20.10	10.80	3.84	11.40	600.89	376.12	6029.00	10.03	16.03
4	39.80	15.00	19.90	10.80	3.50	11.40	597.00	396.98	8946.00	14.98	22.53
5	39.80	15.08	19.70	10.60	3.61	11.60	600.18	405.58	9683.00	16.13	23.87
<b>Media</b>	<b>39.68</b>	<b>15.05</b>	<b>19.91</b>	<b>11.00</b>	<b>3.94</b>	<b>11.68</b>	<b>597.10</b>	<b>388.68</b>	<b>7810.00</b>	<b>13.08</b>	<b>20.02</b>
<b>Desviación estándar</b>										<b>2.45</b>	<b>3.16</b>
<b>Coefficiente variación</b>										<b>0.19</b>	<b>0.16</b>



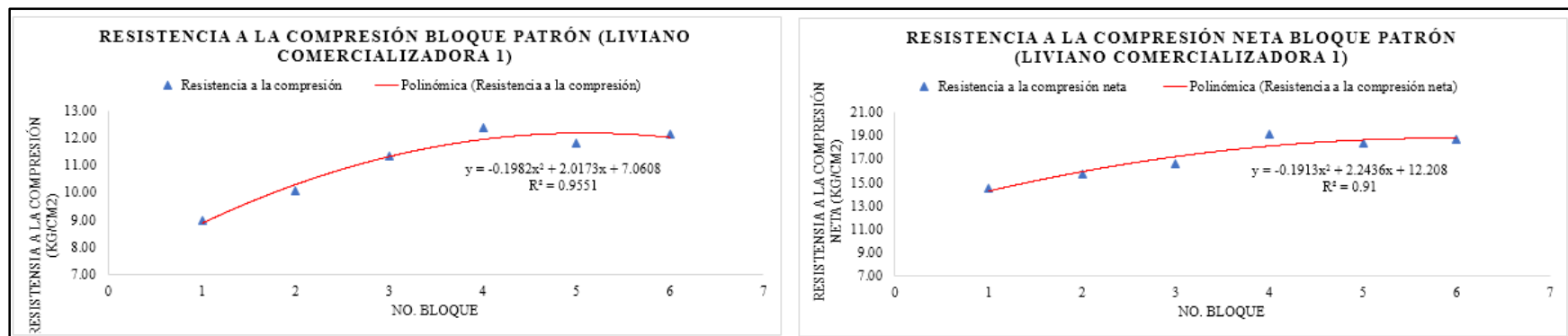
**Figura 52.** Resistencia a la compresión del bloque prensado Comercializadora 1

#### 4.1.1.2 Bloques livianos Comercializadora 1

**Tabla 16**

*Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de bloques livianos comercializadora 1*

N° de bloque	l	a	h	Mr	Mi	Ms	Area bruta	Area neta	Pmáx	Resistencia a la compresión del área bruta	Resistencia a la compresión del área neta
	cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	cm2	cm2	Kg	Kg/cm2	Kg/cm2
1	37.80	13.43	19.10	6.60	1.59	7.60	507.65	314.66	4557.00	8.98	14.48
2	37.60	13.35	19.10	6.40	1.86	8.00	501.96	321.47	5054.00	10.07	15.72
3	37.50	13.23	18.85	6.60	1.80	8.20	496.13	339.52	5626.00	11.34	16.57
4	37.50	13.50	19.10	6.80	1.94	8.20	506.25	327.75	6260.00	12.37	19.10
5	37.50	13.45	19.00	6.40	1.94	8.10	504.38	324.21	5952.00	11.80	18.36
6	37.40	13.42	18.90	6.80	1.95	8.10	501.91	325.40	6094.00	12.14	18.73
<b>Media</b>	<b>37.55</b>	<b>13.40</b>	<b>19.01</b>	<b>6.60</b>	<b>1.85</b>	<b>8.03</b>	<b>503.05</b>	<b>325.50</b>	<b>5590.50</b>	<b>11.12</b>	<b>17.16</b>
<b>Desviación estándar</b>										<b>1.33</b>	<b>1.86</b>
<b>Coefficiente variación</b>										<b>0.12</b>	<b>0.11</b>



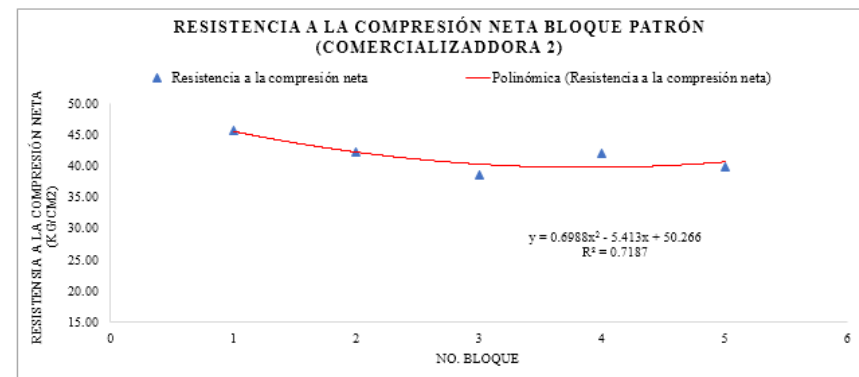
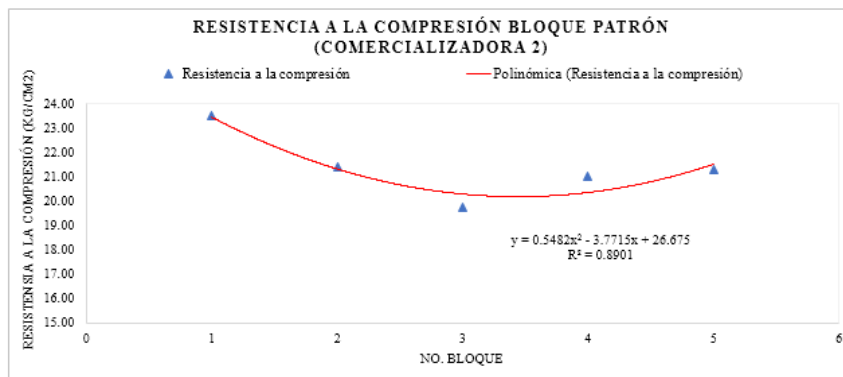
**Figura 53.** Resistencia a la compresión del bloque liviano comercializadora 1

### 4.1.1.3 Bloque prensado de empresa comercializadora 2

**Tabla 17**

*Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de bloques prensados comercializadora 2*

N° de bloque	l	a	h	Mr	Mi	Ms	Area bruta	Area neta	Pmáx	Resistencia a la compresión del área bruta	Resistencia a la compresión del área neta
	cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
1	40.00	15.11	20.15	12.20	5.85	12.10	604.40	310.17	14202	23.50	45.79
2	40.00	15.14	20.40	12.40	6.10	12.35	605.60	306.37	12971	21.42	42.34
3	40.00	15.21	20.38	12.60	5.36	11.70	608.40	311.09	12006	19.73	38.59
4	40.00	15.12	20.55	12.80	5.48	11.70	604.80	302.68	12709	21.01	41.99
5	40.00	15.10	20.49	12.40	5.69	12.30	604.00	322.60	12859	21.29	39.86
<b>Media</b>	<b>40.00</b>	<b>15.14</b>	<b>20.39</b>	<b>12.48</b>	<b>5.70</b>	<b>12.03</b>	<b>605.44</b>	<b>310.58</b>	<b>12949.40</b>	<b>21.39</b>	<b>41.71</b>
<b>Desviación estándar</b>										<b>1.35</b>	<b>2.75</b>
<b>Coefficiente variación</b>										<b>0.06</b>	<b>0.07</b>



**Figura 54.** Resistencia a la compresión del bloque prensado comercializadora 2

En la Figura 55 se aprecia las fisuras que sufre el bloque después de aplicada la carga de compresión.



*Figura 55.* Fisuras en el bloque comprimido

En los tres tipos de bloques se obtuvo un coeficiente de variación menor a 1, lo que indica que el conjunto de datos de la resistencia a la compresión del área bruta no tienen una variación significativa, o no están muy dispersos respecto a la media.

**Tabla 18**

*Valores promedio del ensayo resistencia a la compresión de bloques convencionales*

Tipo de bloque	Resistencia a la compresión	Resistencia a la compresión neta
	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
Comercializadora 1 (prensados)	13.08	20.02
Comercializadora 2 (livianos)	11.12	17.16
Comercializadora 1 (prensados)	21.39	41.71

En la tabla 18 se puede apreciar que el bloque prensado elaborado por la comercializadora 2 cumple con las especificaciones dadas en la Norma NTE INEN 3066, es decir una resistencia a la compresión neta igual o mayor a 40 Kg/cm<sup>2</sup>.

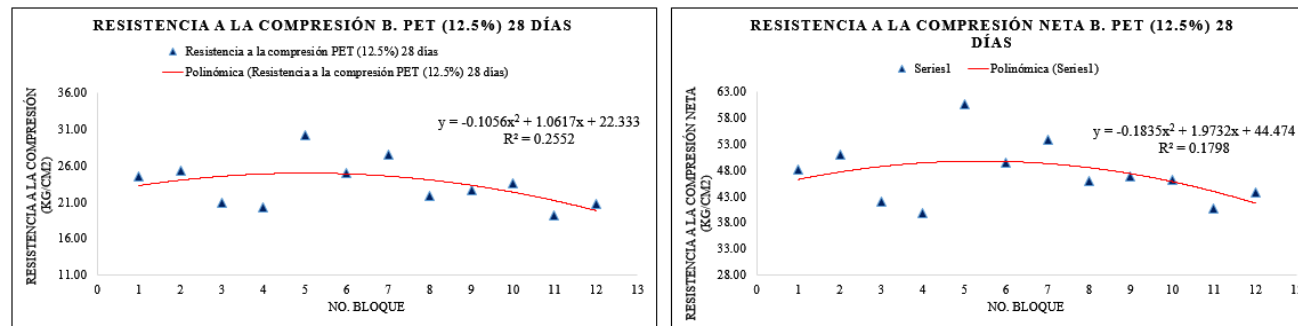
## 4.1.2 Bloques con PET

### 4.1.2.1 Bloque con PET (12.5%)

**Tabla 19**

*Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de bloques con 12.5 % de PET*

% porcentaje de PET	Días	Resina (L)	N° de bloque	l	a	h	Mr	Ms	Mi	Área bruta	Área neta	Pmáx	Resistencia a la compresión del área bruta	Resistencia a la compresión del área neta	
				cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	
12.5%	28	0	1	40.00	15.00	20.48	11.80	12.81	6.55	600.00	305.66	14742.00	24.57	48.23	
			2	40.00	15.00	20.60	11.90	12.64	6.50	600.00	298.06	15230.00	25.38	51.10	
			3	40.00	15.00	20.60	11.48	12.64	6.45	600.00	300.49	12597.00	21.00	41.92	
		1/6	4	40.00	15.01	20.48	11.64	12.80	6.52	600.40	306.64	12207.00	20.33	39.81	
			5	40.00	15.02	20.60	11.82	12.60	6.45	600.80	298.54	18125.00	30.17	60.71	
			6	40.00	15.00	20.60	11.32	12.65	6.40	600.00	303.40	14977.00	24.96	49.36	
		1/3	7	40.00	15.28	20.70	11.98	13.20	6.73	611.20	312.56	16822.00	27.52	53.82	
			8	40.00	15.08	20.78	11.70	12.20	6.22	603.20	287.78	13230.00	21.93	45.97	
			9	40.00	15.00	20.70	12.18	12.31	6.30	600.00	290.34	13569.00	22.62	46.74	
		1/2	10	40.00	15.10	20.80	12.08	13.20	6.76	604.00	309.62	14287.00	23.65	46.14	
			11	40.00	15.18	20.70	12.24	12.20	6.28	607.20	285.99	11673.00	19.22	40.82	
			12	40.00	15.10	20.87	11.82	12.35	6.35	604.00	287.49	12562.00	20.80	43.69	
<b>Media</b>				<b>40.00</b>	<b>15.06</b>	<b>20.66</b>	<b>11.83</b>	<b>12.63</b>	<b>6.46</b>	<b>602.57</b>	<b>298.88</b>	<b>14168.42</b>	<b>23.51</b>	<b>47.36</b>	
<b>Desviación estándar</b>														<b>3.20</b>	<b>5.92</b>
<b>Coefficiente variación</b>														<b>0.14</b>	<b>0.12</b>



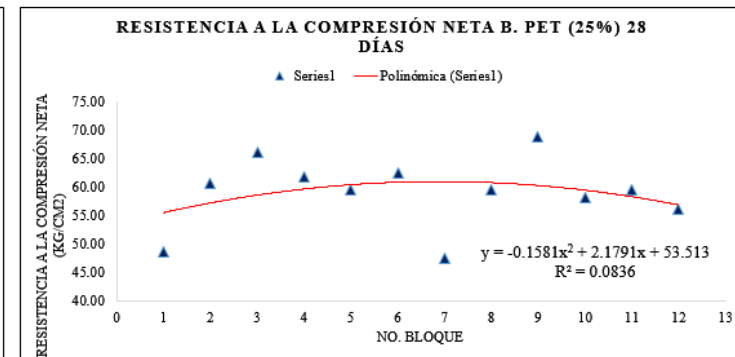
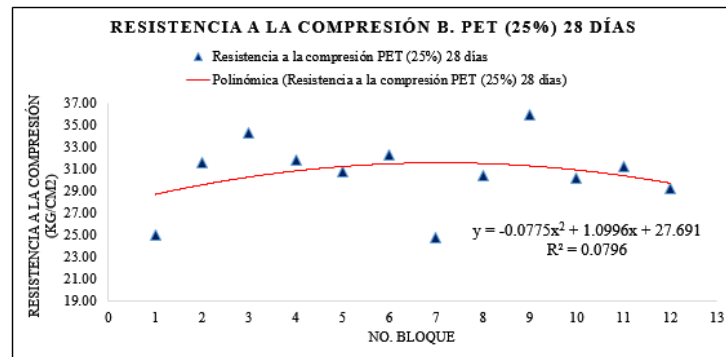
**Figura 56.** Resistencia a la compresión del bloque con 12.5% de PET

#### 4.1.2.2 Bloque con PET (25%)

**Tabla 20**

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de bloques con 25 % de PET

% porcentaje de PET	Días	Resina (L)	N° de bloque	l	a	h	Mr	Ms	Mi	Área bruta	Area neta	Pmáx	Resistencia a la compresión del área bruta	Resistencia a la compresión del área neta
				cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	cm2	cm2	Kg	Kg/cm2	Kg/cm2
25.0%	28	0	1	40.00	15.10	20.38	11.00	12.55	6.22	604.00	310.60	15090.00	24.98	48.58
			2	40.00	15.10	20.60	11.00	12.74	6.28	604.00	313.59	19067.00	31.57	60.80
			3	40.00	15.11	20.54	1.20	12.83	6.39	604.40	313.53	20765.00	34.36	66.23
		1/6	4	40.00	15.10	20.38	11.30	12.60	6.27	604.00	310.60	19221.00	31.82	61.88
			5	40.00	15.10	20.60	11.30	12.98	6.55	604.00	312.14	18620.00	30.83	59.65
			6	40.00	15.11	20.54	11.00	12.75	6.32	604.40	313.05	19545.00	32.34	62.43
		1/3	7	40.00	15.09	20.70	11.62	13.00	6.48	603.60	314.98	14950.00	24.77	47.46
			8	40.00	15.20	20.60	11.70	13.00	6.59	608.00	311.17	18520.00	30.46	59.52
			9	40.00	15.00	20.60	11.50	13.00	6.56	600.00	312.62	21545.00	35.91	68.92
		1/2	10	40.00	15.20	20.60	11.32	12.80	6.31	608.00	315.05	18330.00	30.15	58.18
			11	40.00	15.10	20.57	11.40	12.80	6.28	604.00	316.97	18889.00	31.27	59.59
			12	40.00	15.10	20.60	11.80	12.80	6.32	604.00	314.56	17654.00	29.23	56.12
<b>Media</b>				<b>40.00</b>	<b>15.11</b>	<b>20.56</b>	<b>10.51</b>	<b>12.82</b>	<b>6.38</b>	<b>604.37</b>	<b>313.24</b>	<b>18516.33</b>	<b>30.64</b>	<b>59.12</b>
<b>Desviación estándar</b>													<b>3.25</b>	<b>6.22</b>
<b>Coefficiente variación</b>													<b>0.11</b>	<b>0.11</b>



**Figura 57.** Resistencia a la compresión del bloque con 25% de PET

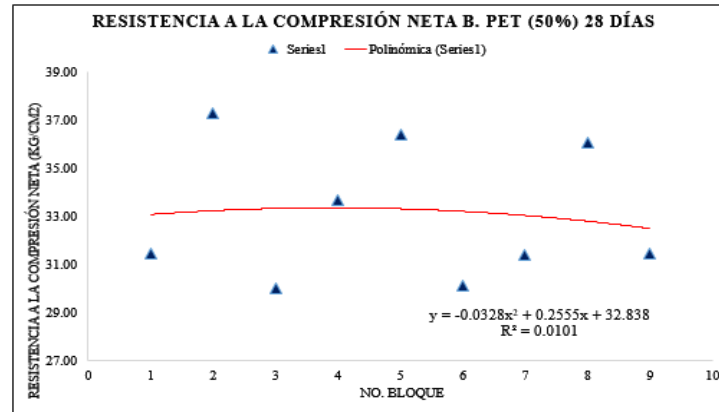
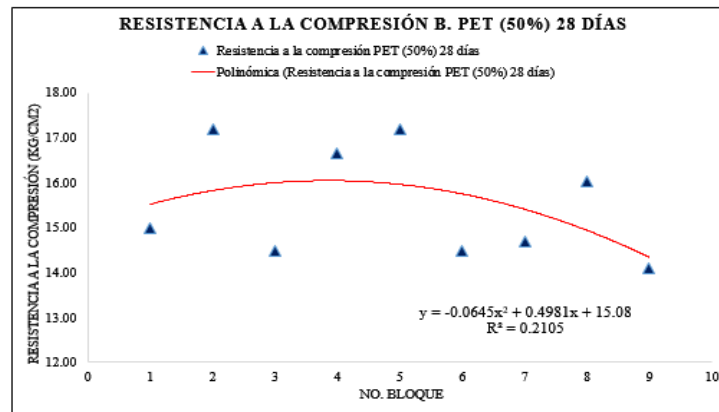


### 4.1.2.3 Bloque con PET (50%)

**Tabla 21**

*Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de bloques con 50 % de PET*

% porcentaje de PET	Días	Resina (L)	N° de bloque	l	a	h	Mr	Ms	Mi	Área bruta	Area neta	Pmáx	Resistencia a la compresión del área bruta	Resistencia a la compresión del área neta
				cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	cm2	cm2	Kg	Kg/cm2	Kg/cm2
50%	28	0	1	40.00	15.10	20.90	10.00	11.14	5.12	604.00	288.04	9051.00	14.99	31.42
			2	40.00	15.25	20.90	10.32	10.91	5.03	610.00	281.34	10482.00	17.18	37.26
			3	40.00	15.10	20.70	9.98	11.21	5.17	604.00	291.79	8746.00	14.48	29.97
		1/6	4	40.00	15.10	20.90	10.00	11.20	4.96	604.00	298.56	10051.00	16.64	33.66
			5	40.00	15.25	20.90	10.32	11.00	4.98	610.00	288.04	10482.00	17.18	36.39
			6	40.00	15.10	20.70	9.98	11.01	5.00	604.00	290.34	8746.00	14.48	30.12
		1/2	7	40.00	15.30	20.58	9.52	11.01	5.12	612.00	286.20	8981.00	14.67	31.38
			8	40.00	15.15	20.78	9.30	10.63	5.03	606.00	269.49	9716.00	16.03	36.05
			9	40.00	15.10	20.80	9.42	10.80	5.17	604.00	270.67	8504.00	14.08	31.42
<b>Media</b>				<b>40.00</b>	<b>15.18</b>	<b>20.77</b>	<b>9.82</b>	<b>10.97</b>	<b>5.02</b>	<b>607.20</b>	<b>286.53</b>	<b>9595.20</b>	<b>15.53</b>	<b>33.08</b>
<b>Desviación estándar</b>													<b>1.24</b>	<b>2.84</b>
<b>Coficiente variación</b>													<b>0.08</b>	<b>0.09</b>



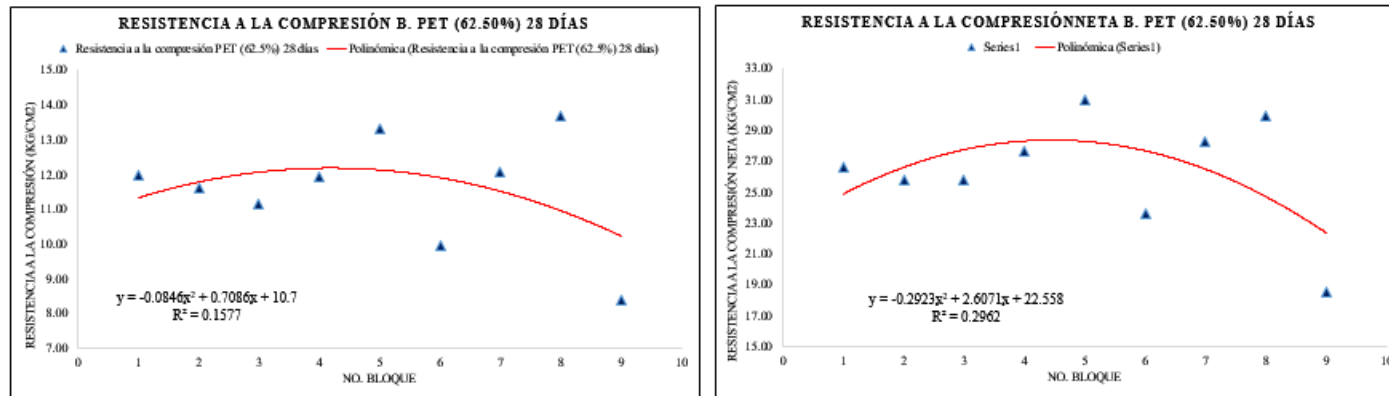
**Figura 58.** Resistencia a la compresión del bloque con 50% de PET

#### 4.1.2.4 Bloque con PET (62.5%)

**Tabla 22**

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de bloques con 62.5 % de PET

% porcentaje de PET	Días	Resina	N° de bloque	l	a	h	Mr	Ms	Mi	Área bruta	Area neta	Pn <sub>máx</sub>	Resistencia a la compresión del área bruta	Resistencia a la compresión del área neta	
		(L)		cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	
62.5%	28		1	40.00	15.02	20.00	9.10	10.11	4.70	600.80	270.50	7190.00	11.97	26.58	
		0	2	40.00	15.20	20.00	9.05	10.06	4.59	608.00	273.50	7047.00	11.59	25.77	
			3	40.00	15.15	20.50	9.08	10.10	4.73	606.00	261.95	6765.00	11.16	25.83	
			4	40.00	15.12	20.70	9.13	10.15	4.74	604.80	261.35	7221.00	11.94	27.63	
		1/6	5	40.00	15.20	20.85	9.05	10.08	4.62	608.00	261.87	8102.00	13.33	30.94	
			6	40.00	15.20	20.80	9.10	10.02	4.69	608.00	256.25	6045.00	9.94	23.59	
			7	40.00	15.16	20.80	9.00	10.01	4.62	606.40	259.13	7330.00	12.09	28.29	
		1/2	8	40.00	15.14	20.00	8.95	10.02	4.48	605.60	277.00	8289.00	13.69	29.92	
			9	40.00	15.10	20.40	9.10	10.18	4.61	604.00	273.04	5054.00	8.37	18.51	
			<b>Media</b>	<b>40.00</b>	<b>15.16</b>	<b>20.63</b>	<b>9.05</b>	<b>10.06</b>	<b>4.63</b>	<b>606.56</b>	<b>263.12</b>	<b>7397.40</b>	<b>11.56</b>	<b>26.34</b>	
			<b>Desviación estándar</b>											<b>1.63</b>	<b>3.69</b>
			<b>Coficiente variación</b>											<b>0.14</b>	<b>0.14</b>



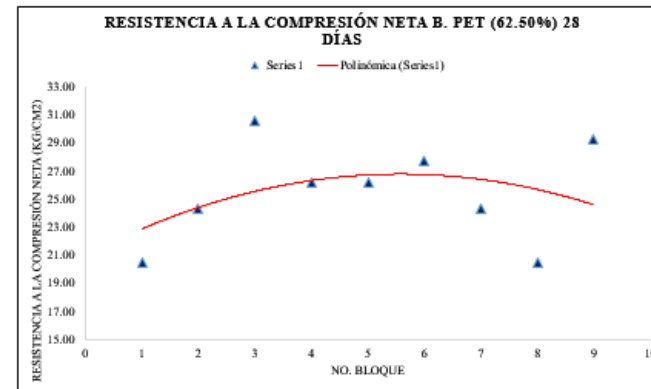
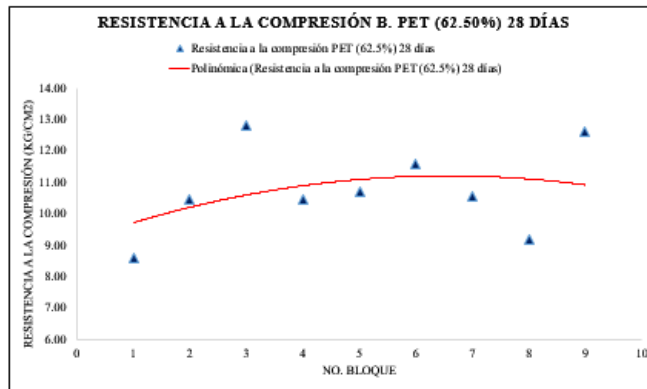
**Figura 59.** Resistencia a la compresión del bloque con 62.5% de PET

#### 4.1.2.5 Bloque con PET (81.25%)

**Tabla 23**

*Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de bloques con 81.25 % de PET*

% porcentaje de PET	Días	Resina	N° de bloque	l	a	h	Mr	Ms	Mi	Área bruta	Area neta	Pmáx	Resistencia a la compresión del área bruta	Resistencia a la compresión del área neta	
		(L)		cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	cm2	cm2	Kg	Kg/cm2	Kg/cm2	
81.3%	28	0	1	40.00	15.10	20.80	8.10	9.29	4.02	604.00	253.37	5180.00	8.58	20.44	
			2	40.00	15.10	20.30	8.06	9.25	3.98	604.00	259.61	6307.00	10.44	24.29	
			3	40.00	15.10	20.40	8.00	9.19	4.03	604.00	252.94	7745.00	12.82	30.62	
		1/6	4	40.00	15.20	21.00	8.00	9.18	4.08	608.00	242.86	6350.00	10.44	26.15	
			5	40.00	15.20	20.70	8.00	9.20	4.04	608.00	249.28	6520.00	10.72	26.16	
			6	40.00	15.20	20.70	8.15	9.36	4.10	608.00	254.11	7045.00	11.59	27.72	
		1/2	7	40.00	15.02	20.00	8.00	9.21	4.00	600.80	260.50	6330.00	10.54	24.30	
			8	40.00	15.20	20.00	8.26	9.53	4.08	608.00	272.50	5589.00	9.19	20.51	
			9	40.00	15.15	20.50	8.20	9.46	4.10	606.00	261.46	7654.00	12.63	29.27	
	<b>Media</b>				<b>40.00</b>	<b>15.16</b>	<b>20.48</b>	<b>8.08</b>	<b>9.30</b>	<b>4.06</b>	<b>606.56</b>	<b>255.85</b>	<b>6366.80</b>	<b>10.77</b>	<b>25.50</b>
	<b>Desviación estándar</b>													<b>1.41</b>	<b>3.53</b>
	<b>Coefficiente variación</b>													<b>0.13</b>	<b>0.14</b>

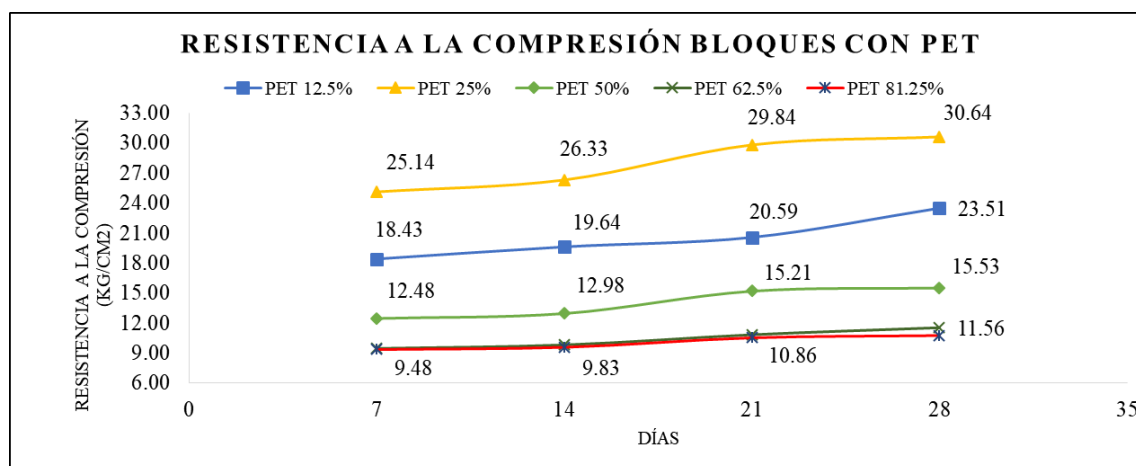


**Figura 60.** Resistencia a la compresión del bloque con 81.25% de PET

**Tabla 24**

Valores promedio del ensayo resistencia a la compresión del área bruta de bloques con PET

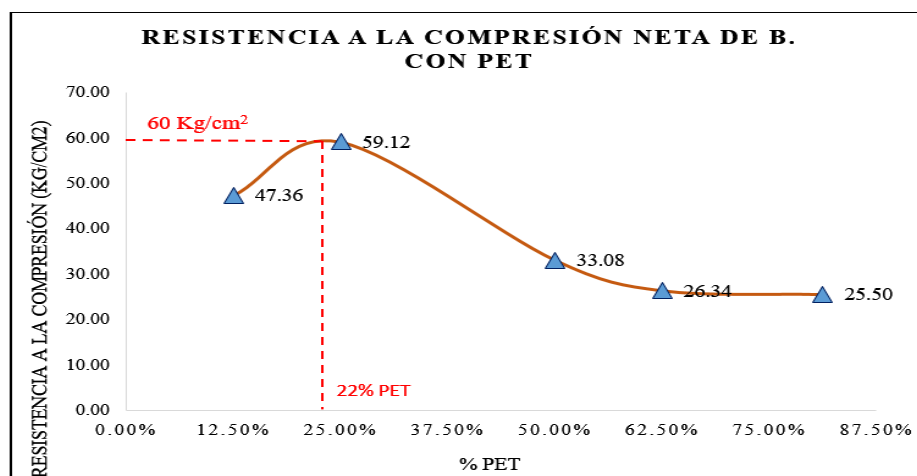
Días	Resistencia a la compresión del área bruta				
	Kg/cm <sup>2</sup>				
	12.5% PET	25% PET	50% PET	62.5% PET	81.25% PET
7	18.43	25.14	12.48	9.48	9.37
14	19.64	26.33	12.98	9.83	9.60
21	20.59	29.84	15.21	10.86	10.55
28	23.51	30.64	15.53	11.56	10.77



**Figura 61.** Resistencia a la compresión del área bruta de bloques elaborados con PET

La Figura 61 muestra los distintos resultados obtenidos en los ensayos de compresión del área bruta de los bloques a los 7, 14, 21 y 28 días con diferentes porcentajes de PET, se puede notar que la mayor resistencia está dada por el bloque elaborado con el 25% de PET con 30.64 Kg/cm<sup>2</sup> y la menor resistencia por el bloque elaborado con el 81.25% de PET con 10.86 Kg/cm<sup>2</sup>

En la Figura 62 se presenta los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión neta de los bloques elaborados con PET en diferentes porcentajes a los 28 días.



**Figura 62.** Resistencia ideal a la compresión de bloques con PET

Trazando una línea en el punto de quiebre de la curva e interpolando se obtiene que el bloque ideal para alcanzar la máxima resistencia neta a la compresión de 60 Kg/cm<sup>2</sup> es el que está compuesto por un 22% de PET aproximadamente.

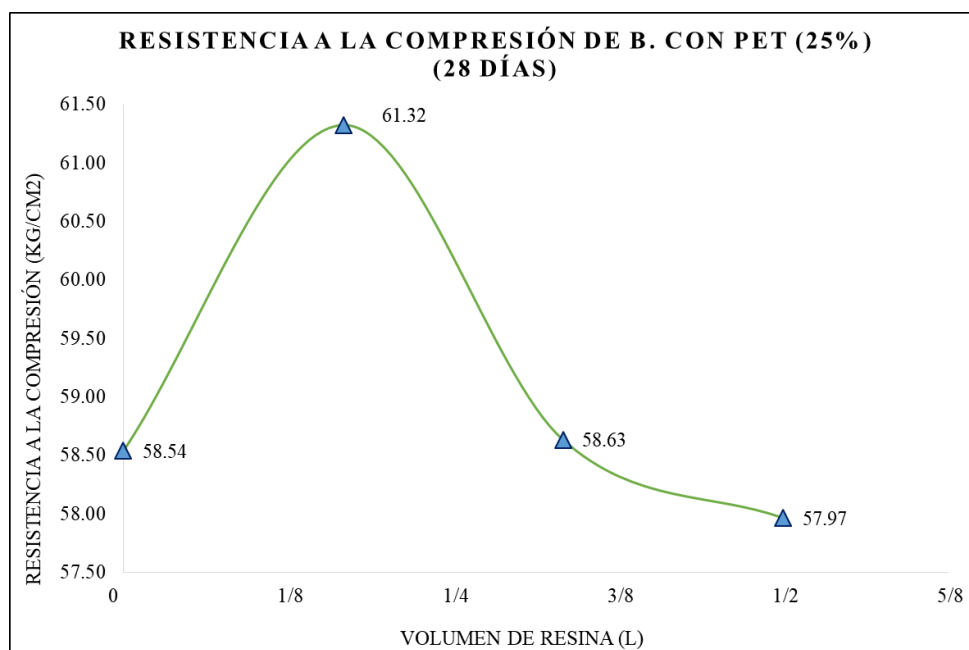
#### 4.1.2.6 Ensayo de bloques con resina

A continuación se hace el análisis del comportamiento de la resina en el bloque con el 25% de PET a los 28 días.

**Tabla 25**

*Volúmenes de resina con su respectiva resistencia en el bloque con el 25% de PET*

Volumen de resina	Resistencia a la compresión neta
L	Kg/cm2
0	58.54
1/6	61.32
1/3	58.63
½	57.97



**Figura 63.** Análisis del volumen ideal de la resina

En la Figura 63 se observa que el volumen ideal de resina para la elaboración de bloques con PET al 25 %, es de 1/6 de litro, sin embargo no existe una diferencia significativa en relación a los bloques elaborados sin resina, por lo que posteriormente se realizará el análisis del costo del bloque sin ocupar resina a fin de no encarecer el costo de producción del mismo.

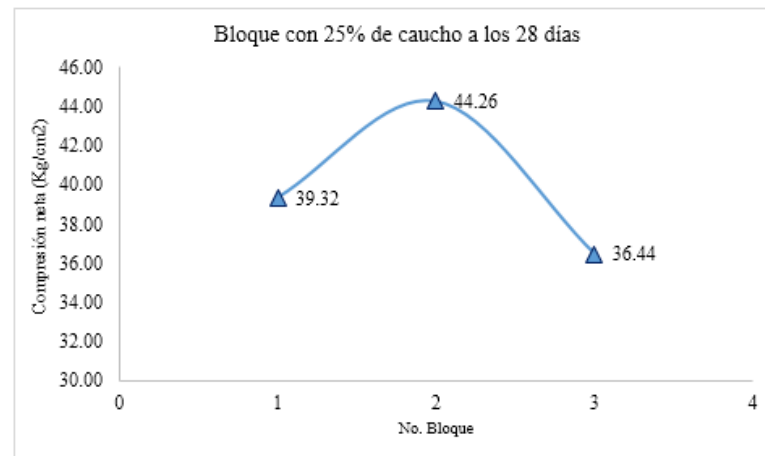
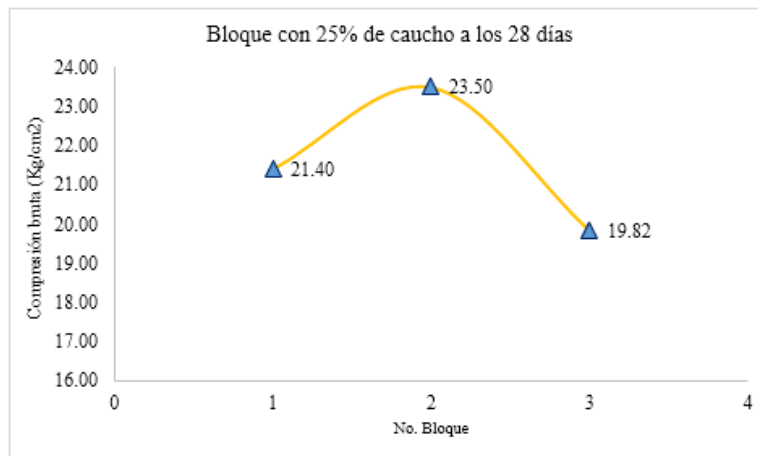
#### **4.1.3 Bloques con fibras de caucho de neumático reciclado**

#### 4.1.3.1 Bloque con fibras de caucho (25%)

**Tabla 26**

*Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del área bruta y neta de bloques con fibras de caucho (25%)*

% porcentaje de CAUCHO	Días	Resina (L)	N° de bloque	l	a	h	Mr	Ms	Mi	Área bruta	Area neta	Pmáx	Resistencia a la compresión del área bruta	Resistencia a la compresión del área neta
				cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	cm2	cm2	Kg	Kg/cm2	Kg/cm2
25%	28	1/2	1	40.00	15.25	20.42	12.45	13.35	6.57	610.00	332.04	13056.00	21.40	39.32
			2	40.00	15.30	20.50	12.40	13.29	6.63	612.00	324.88	14379.00	23.50	44.26
			3	40.00	15.10	20.70	12.00	13.40	6.60	604.00	328.50	11971.00	19.82	36.44
		<b>Media</b>	<b>40.00</b>	<b>15.28</b>	<b>20.46</b>	<b>12.43</b>	<b>13.32</b>	<b>6.60</b>	<b>611.00</b>	<b>328.46</b>	<b>13717.50</b>	<b>21.57</b>	<b>40.01</b>	
		<b>Desviación estándar</b>												<b>1.84</b>
			<b>Coefficiente variación</b>										<b>0.09</b>	<b>0.10</b>



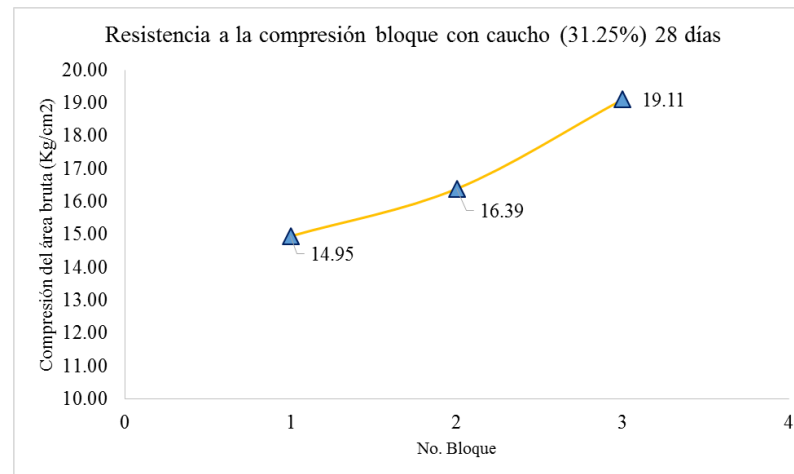
**Figura 64.** Resistencia a la compresión del área bruta y neta del bloque con 25% de caucho

#### 4.1.3.2 Bloque con fibras de caucho (31.25%)

**Tabla 27**

*Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del área bruta de bloques con fibras de caucho (31.25%)*

% porcentaje de CAUCHO	Días	Resina	Nº de bloque	l	a	h	Mr	Área bruta	Pmáx	Resistencia a la compresión del área bruta
		(L)		cm	cm	cm	Kg	cm2	Kg	Kg/cm2
31.25%	28		1	40.00	15.31	20.56	10.80	612.40	9155.00	14.95
		1/2	2	40.00	15.35	20.54	10.90	614.00	10064.00	16.39
			3	40.00	15.51	20.45	10.70	620.40	11855.00	19.11
		<b>Media</b>		<b>40.00</b>	<b>15.33</b>	<b>20.55</b>	<b>10.85</b>	<b>613.20</b>	<b>9609.50</b>	<b>16.82</b>
		<b>Desviación estándar</b>								<b>2.11</b>
		<b>Coefficiente variación</b>							<b>0.13</b>	



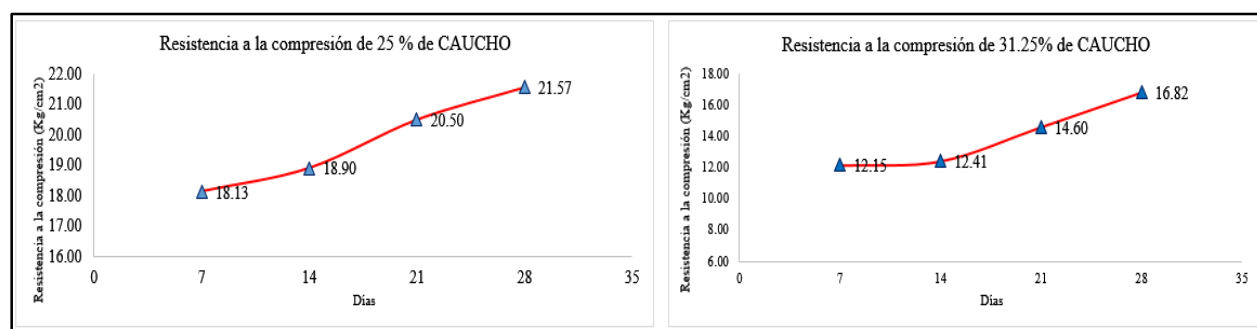
**Figura 65.** Resistencia a la compresión del área bruta del bloque con el 31.25% de fibras de caucho



**Tabla 28**

Valores promedio del ensayo resistencia a la compresión de bloques con caucho

Días	Resistencia a la compresión del área bruta (Kg/cm <sup>2</sup> )	
	25% CAUCHO	31.25% CAUCHO
	7	18.13
14	18.90	12.41
21	20.50	14.60
28	21.57	16.82



**Figura 66.** Gráfica resistencia vs días de curado de bloques con fibras de caucho

En la Figura 66 se aprecia que la resistencia tanto del bloque con el 25% y el 31.25% de fibras de caucho, ha ido creciendo a medida que aumentaban los días de fraguado, adquiriendo una mayor resistencia el bloque con menos porcentaje de caucho, con 21.57 Kg/cm<sup>2</sup> respecto a su área bruta y 40.01 Kg/cm<sup>2</sup> respecto a su área neta, con este resultado cumple con el parámetro de resistencia establecido por la (NTE INEN 3066, 2016).

## 4.2 Resultados de ensayos de absorción, densidad y contenido de humedad

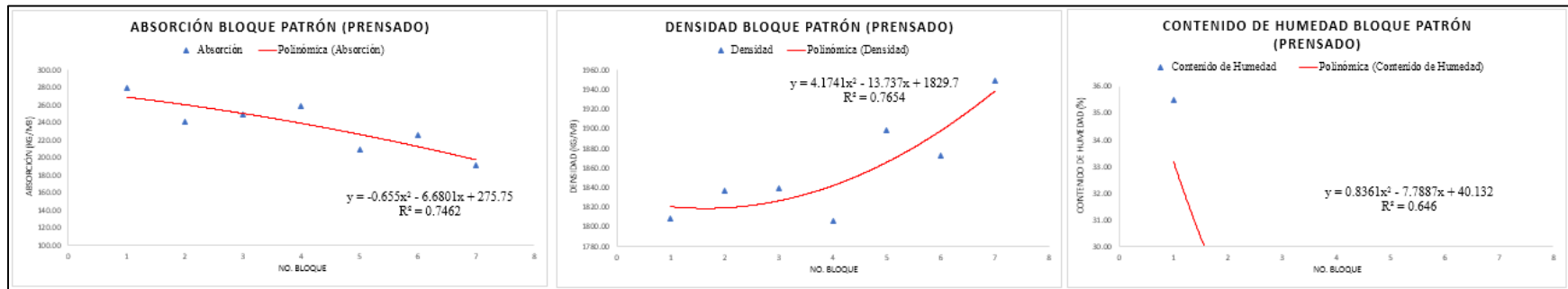
### 4.2.1 Bloques convencionales

### 4.2.1.1 Bloques prensados comercializadora 1

**Tabla 29**

*Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques prensados comercializadora 1*

N° de bloque	l	a	h	Mr	Md	Mi	Ms	Absorción	Absorción	Contenido de humedad	Densidad
	cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg/m3	%	%	Kg/m3
1	39.80	15.08	19.90	10.60	10.05	6.04	11.60	278.88	15.42	35.48	1808.20
2	39.80	15.11	20.05	10.60	10.30	6.04	11.65	240.73	13.11	22.22	1836.66
3	39.90	15.10	19.70	10.60	10.22	6.04	11.60	248.29	13.50	27.54	1838.79
4	39.90	15.20	19.80	10.40	10.06	5.93	11.50	258.44	14.31	23.61	1805.46
5	39.80	15.08	19.90	10.60	10.36	6.04	11.50	208.87	11.00	21.05	1898.13
6	39.80	15.10	20.00	10.60	10.31	6.04	11.55	225.13	12.03	23.39	1871.82
7	40.00	15.10	20.02	11.40	11.11	6.50	12.20	191.16	9.81	26.61	1948.44
<b>Media</b>	<b>39.86</b>	<b>15.11</b>	<b>19.91</b>	<b>10.69</b>	<b>10.34</b>	<b>6.09</b>	<b>11.66</b>	<b>235.93</b>	<b>12.74</b>	<b>25.70</b>	<b>1858.22</b>
<b>Desviación estándar</b>								<b>29.94</b>	<b>1.94</b>	<b>4.89</b>	<b>51.71</b>
<b>Coefficiente variación</b>								<b>0.13</b>	<b>0.15</b>	<b>0.19</b>	<b>0.03</b>



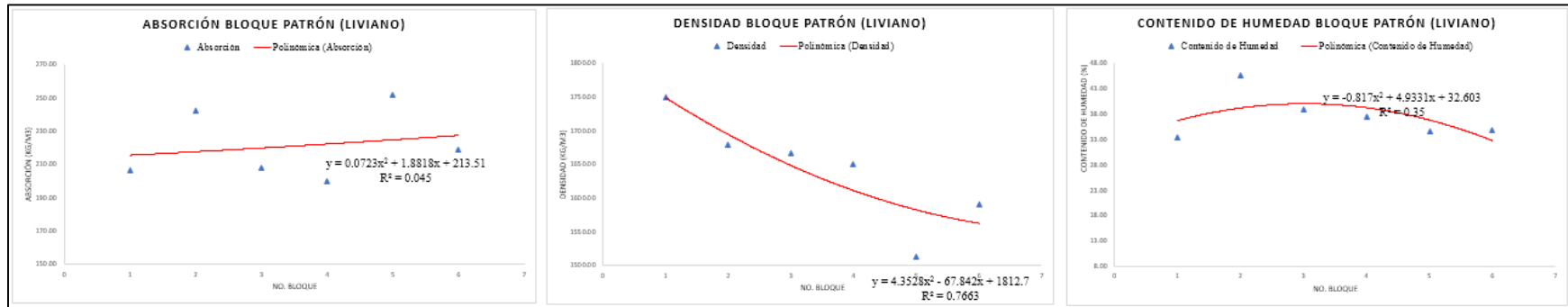
**Figura 67.** Absorción, densidad y contenido de humedad de bloques prensando comercializadora 1

### 4.2.1.2 Bloques livianos comercializadora 1

**Tabla 30**

*Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques livianos comercializadora 1*

N° de bloque	l	a	h	Mr	Md	Mi	Ms	Absorción	Absorción	Contenido de humedad	Densidad
	cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg/m <sup>3</sup>	%	%	Kg/m <sup>3</sup>
1	37.90	13.38	19.15	6.60	6.35	3.47	7.10	206.61	11.81	33.33	1749.31
2	37.60	13.50	19.05	6.80	6.38	3.50	7.30	242.11	14.42	45.65	1678.95
3	37.40	13.40	18.90	6.90	6.58	3.45	7.40	207.59	12.46	39.02	1665.82
4	37.20	13.30	18.80	6.90	6.60	3.40	7.40	200.00	12.12	37.50	1650.00
5	37.30	13.90	19.12	6.80	6.43	3.25	7.50	251.76	16.64	34.58	1512.94
6	37.50	13.35	18.80	7.00	6.68	3.40	7.60	219.05	13.77	34.78	1590.48
<b>Media</b>	<b>37.48</b>	<b>13.47</b>	<b>18.97</b>	<b>6.83</b>	<b>6.50</b>	<b>3.41</b>	<b>7.38</b>	<b>221.19</b>	<b>13.54</b>	<b>37.48</b>	<b>1641.25</b>
<b>Desviación estándar</b>								<b>21.09</b>	<b>1.82</b>	<b>4.52</b>	<b>81.02</b>
<b>Coefficiente variación</b>								<b>0.10</b>	<b>0.13</b>	<b>0.12</b>	<b>0.05</b>



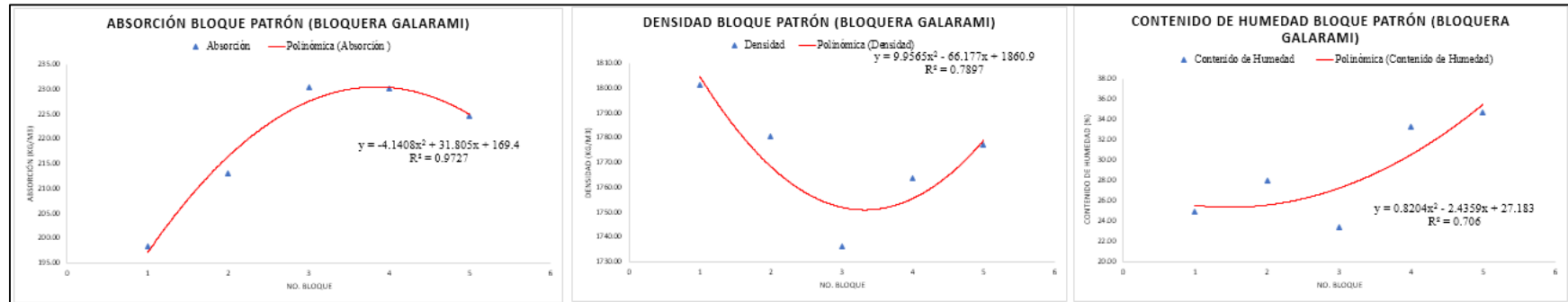
**Figura 68.** Absorción, densidad y contenido de humedad de bloques liviano comercializadora 1

### 4.2.1.3 Bloque prensado comercializadora 2

**Tabla 31**

*Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques prensados de LA COMERCIALIZADORA 2*

Nº de bloque	l	a	h	Mr	Md	Mi	Ms	Absorción	Absorción	Contenido de humedad	Densidad
	cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg/m3	%	%	Kg/m3
1	40.00	15.11	20.15	11.20	10.90	6.05	12.10	198.28	11.01	25.00	1801.06
2	40.00	15.14	20.40	11.40	11.03	6.16	12.35	213.11	11.97	28.03	1780.76
3	40.00	15.21	20.38	10.65	10.33	5.75	11.70	230.29	13.26	23.36	1736.43
4	40.00	15.12	20.55	10.80	10.35	5.83	11.70	230.06	13.04	33.33	1763.80
5	40.00	15.10	20.49	11.40	10.92	6.16	12.30	224.61	12.64	34.78	1777.34
<b>Media</b>	<b>40.00</b>	<b>15.14</b>	<b>20.39</b>	<b>11.09</b>	<b>10.71</b>	<b>5.99</b>	<b>12.03</b>	<b>219.27</b>	<b>12.38</b>	<b>28.90</b>	<b>1771.88</b>
<b>Desviación estándar</b>								<b>13.65</b>	<b>0.91</b>	<b>5.02</b>	<b>23.89</b>
<b>Coefficiente variación</b>								<b>0.06</b>	<b>0.07</b>	<b>0.17</b>	<b>0.01</b>



**Figura 69.** Absorción, densidad y contenido de humedad del bloque prensado comercializadora 2

En estos ensayos también se obtuvo resultados no muy dispersos, con un coeficiente de variación máximo de 27% en el bloque liviano. En la Tabla 32 se resume los valores promedio de cada ensayo.

**Tabla 32**

*Valores promedio de ensayos de absorción, c. humedad y densidad de bloques convencionales*

Tipo de bloque	Absorción	Contenido de humedad	Densidad
	Kg/m <sup>3</sup>	%	Kg/m <sup>3</sup>
Comercializadora 1 (prensados)	235.93	25.70	1858.22
Comercializadora 1 (livianos)	221.19	37.48	1641.25
Comercializadora 2 (prensados)	219.27	28.90	1771.88

En lo que respecta a la densidad, masa unitaria de bloques totalmente seco al horno de acuerdo a la masa del concreto, y cuya clasificación está en la Tabla 2, los bloques livianos de comercializadora 1 corresponden al tipo liviano (<1680 Kg/m<sup>3</sup>,) y el bloque prensado de comercializadora 1 y comercializadora 2 son de tipo mediano (1680 a 2000 Kg/m<sup>3</sup>), y éste último además da como resultado una baja absorción de humedad.

#### **4.2.2 Bloques con PET**

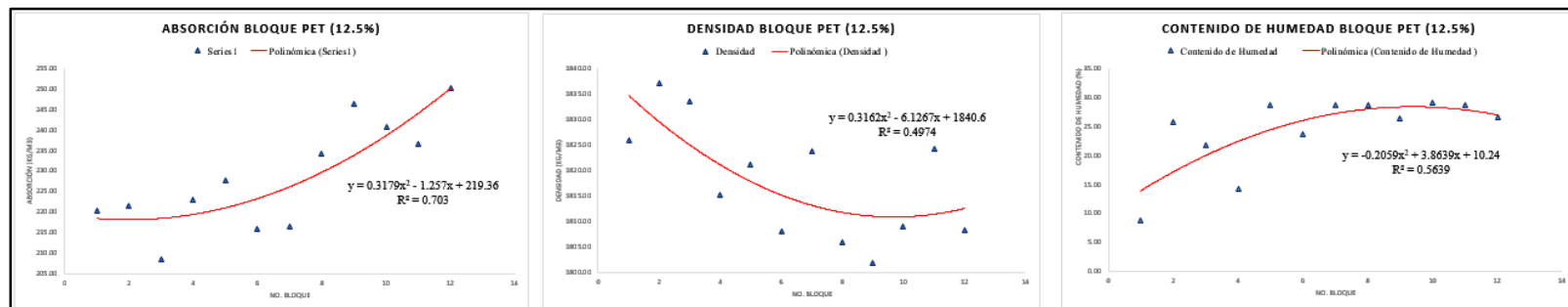
Para los bloques con PET se sigue el mismo procedimiento que con los bloques convencionales. A continuación se detallan los resultados obtenidos en los ensayos de contenido de humedad, absorción y densidad con el 12.5%, 25%, 50%, 62.50% y 81.25% de PET a los 28 días.

#### 4.2.2.1 Bloques con PET (12.5%)

**Tabla 33**

*Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques con PET (12.5%)*

% porcentaje de PET	RESINA (L)	N° de bloque	l	a	h	Mr	Md	Mi	Ms	Absorción	Absorción	Contenido de humedad	Densidad
			cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg/m3	%	%	Kg/m3
12.5%	0	1	40.00	15.20	20.48	11.55	11.43	6.55	12.81	220.45	12.07	8.70	1825.88
		2	40.00	15.02	20.50	11.63	11.28	6.50	12.64	221.50	12.06	25.74	1837.13
		3	40.00	15.12	20.48	11.63	11.35	6.45	12.64	208.40	11.37	21.71	1833.60
	1/3	4	40.00	15.18	20.46	11.60	11.40	6.52	12.80	222.93	12.28	14.29	1815.29
		5	40.00	15.00	20.48	11.60	11.20	6.45	12.60	227.64	12.50	28.57	1821.14
		6	40.00	15.10	20.46	11.62	11.30	6.40	12.65	216.00	11.95	23.70	1808.00
	1/6	7	40.00	15.14	20.60	12.20	11.80	6.73	13.20	216.38	11.86	28.57	1823.80
		8	40.00	15.00	20.60	11.20	10.80	6.22	12.20	234.11	12.96	28.57	1806.02
		9	40.00	15.00	20.60	11.22	10.83	6.30	12.31	246.26	13.67	26.35	1802.00
	1/2	10	40.00	15.20	20.80	12.10	11.65	6.76	13.20	240.68	13.30	29.03	1809.01
		11	40.00	15.05	20.40	11.20	10.80	6.28	12.20	236.49	12.96	28.57	1824.32
		12	40.00	15.06	20.42	11.25	10.85	6.35	12.35	250.00	13.82	26.67	1808.33
<b>Media</b>			<b>40.00</b>	<b>15.09</b>	<b>20.52</b>	<b>11.57</b>	<b>11.22</b>	<b>6.46</b>	<b>12.63</b>	<b>228.40</b>	<b>12.57</b>	<b>24.21</b>	<b>1817.88</b>
<b>Desviación estándar</b>										<b>13.05</b>	<b>0.77</b>	<b>6.45</b>	<b>11.43</b>
<b>Coefficiente variación</b>										<b>0.06</b>	<b>0.06</b>	<b>0.27</b>	<b>0.01</b>



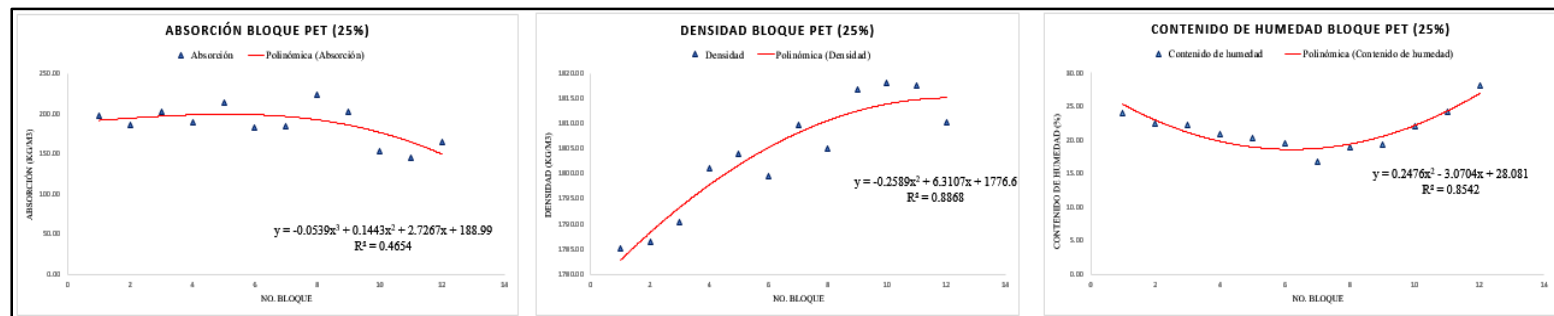
**Figura 70.** Absorción, densidad y contenido de humedad de bloques con PET (12.5%)

#### 4.2.2.2 Bloques con PET (25%)

**Tabla 34**

*Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques con PET (25%)*

% porcentaje de PET	RESINA (L)	N° de bloque	l	a	h	Mr	Md	Mi	Ms	Absorción	Absorción	Contenido de humedad	Densidad
			cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg/m <sup>3</sup>	%	%	Kg/m <sup>3</sup>
25.0%	0	1	40.00	15.09	20.87	11.60	11.30	6.22	12.55	197.47	11.06	24.00	1785.15
		2	40.00	15.22	20.47	11.81	11.54	6.28	12.74	185.76	10.40	22.50	1786.38
		3	40.00	15.17	20.42	11.82	11.53	6.39	12.83	201.86	11.27	22.31	1790.37
	1/3	4	40.00	15.12	20.90	11.65	11.40	6.27	12.60	189.57	10.53	20.83	1800.95
		5	40.00	15.25	20.50	11.88	11.60	6.55	12.98	214.62	11.90	20.29	1804.04
		6	40.00	15.20	20.45	11.80	11.57	6.32	12.75	183.51	10.20	19.49	1799.38
	1/6	7	40.00	15.10	21.00	12.00	11.80	6.48	13.00	184.05	10.17	16.67	1809.82
		8	40.00	15.20	20.20	11.84	11.57	6.59	13.00	223.09	12.36	18.88	1804.99
		9	40.00	15.15	21.05	11.95	11.70	6.56	13.00	201.86	11.11	19.23	1816.77
	1/2	10	40.00	15.10	20.70	12.02	11.80	6.31	12.80	154.08	8.47	22.00	1818.18
		11	40.00	15.10	20.60	12.08	11.85	6.28	12.80	145.71	8.02	24.21	1817.48
		12	40.00	15.10	20.55	12.03	11.73	6.32	12.80	165.12	9.12	28.04	1810.19
<b>Media</b>			<b>40.00</b>	<b>15.15</b>	<b>20.64</b>	<b>11.87</b>	<b>11.62</b>	<b>6.38</b>	<b>12.82</b>	<b>187.23</b>	<b>10.38</b>	<b>21.54</b>	<b>1803.64</b>
<b>Desviación estándar</b>										<b>23.18</b>	<b>1.31</b>	<b>3.01</b>	<b>11.68</b>
<b>Coefficiente variación</b>										<b>0.12</b>	<b>0.13</b>	<b>0.14</b>	<b>0.01</b>



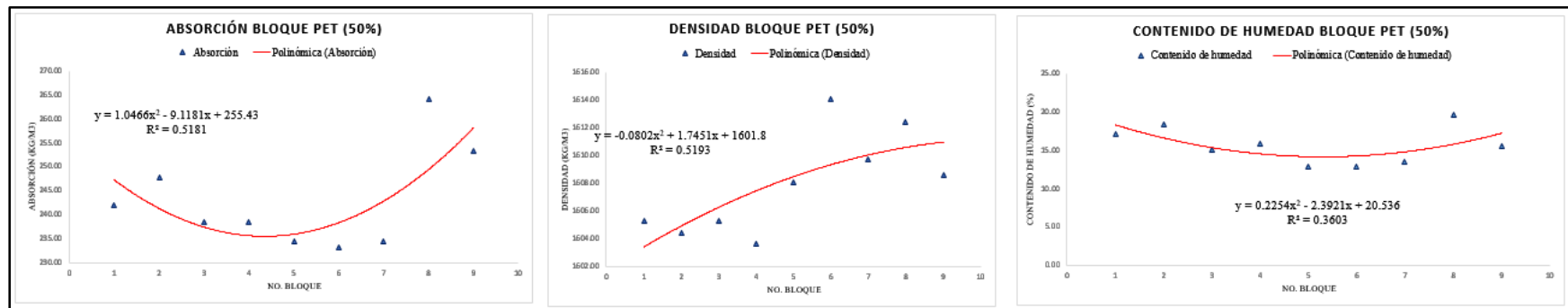
**Figura 71.** Absorción, densidad y contenido de humedad de bloques con PET (25%)

### 4.2.2.3 Bloques con PET (50%)

**Tabla 35**

*Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques con PET (50%)*

% porcentaje de PET	RESINA	N° de bloque	l	a	h	Mr	Md	Mi	Ms	Absorción	Absorción	Contenido de humedad	Densidad	
	(L)		cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg/m3	%	%	Kg/m3	
50%	0	1	40.00	15.08	20.68	9.93	9.68	5.11	11.14	242.12	15.08	17.12	1605.31	
		2	40.00	15.08	20.70	9.72	9.45	5.02	10.91	247.88	15.45	18.49	1604.41	
		3	40.00	15.08	20.75	9.98	9.76	5.13	11.21	238.49	14.86	15.17	1605.26	
	1/6	4	40.00	15.20	20.50	9.98	9.75	5.12	11.20	238.49	14.87	15.86	1603.62	
		5	40.00	15.20	20.80	9.78	9.60	5.03	11.00	234.51	14.58	12.86	1608.04	
		6	40.00	15.20	20.55	9.80	9.62	5.05	11.01	233.22	14.45	12.95	1614.09	
	1/2	7	40.00	15.10	20.70	9.80	9.61	5.04	11.01	234.51	14.57	13.57	1609.72	
		8	40.00	15.10	20.72	9.41	9.11	4.98	10.63	264.15	16.68	19.74	1612.39	
			9	40.00	15.10	20.77	9.56	9.33	5.00	10.80	253.45	15.76	15.65	1608.62
		<b>Media</b>		<b>40.00</b>	<b>15.13</b>	<b>20.69</b>	<b>9.77</b>	<b>9.55</b>	<b>5.05</b>	<b>10.99</b>	<b>242.98</b>	<b>15.14</b>	<b>15.71</b>	<b>1607.94</b>
	<b>Desviación estándar</b>									<b>10.38</b>	<b>0.72</b>	<b>2.41</b>	<b>3.65</b>	
	<b>Coefficiente variación</b>									<b>0.04</b>	<b>0.05</b>	<b>0.15</b>	<b>0.00</b>	



**Figura 72.** Absorción, densidad y contenido de humedad de bloques con PET (50%)

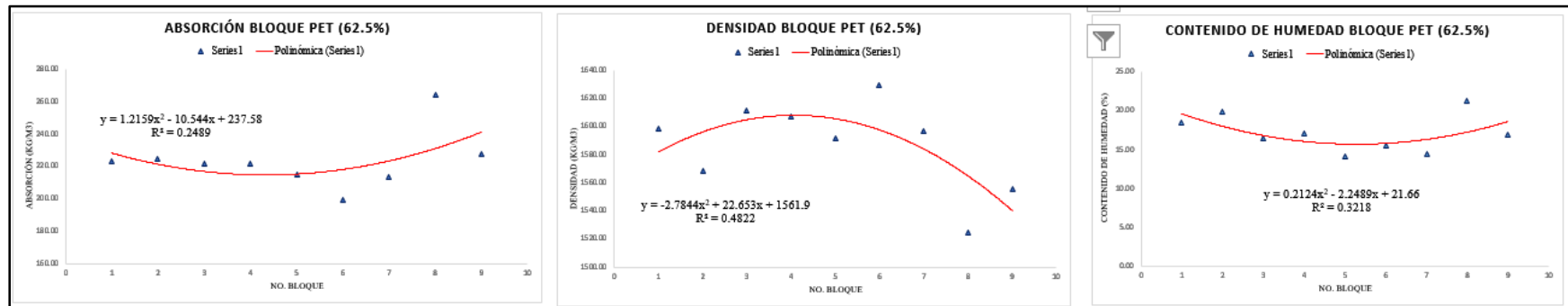


#### 4.2.2.4 Bloques con PET (62.5%)

**Tabla 36**

*Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques con PET (62.5%)*

% porcentaje de PET	RESINA	N° de bloque	l	a	h	Mr	Md	Mi	Ms	Absorción	Absorción	Contenido de humedad	Densidad
	(L)		cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg/m3	%	%	Kg/m3
62.5%	0	1	40.00	15.02	20.00	9.10	8.87	4.56	10.11	223.42	13.98	18.55	1598.20
		2	40.00	15.20	20.00	9.05	8.80	4.45	10.06	224.60	14.32	19.84	1568.63
		3	40.00	15.15	20.50	9.08	8.88	4.59	10.1	221.42	13.74	16.39	1611.62
	1/6	4	40.00	15.12	20.70	9.13	8.92	4.6	10.15	221.62	13.79	17.07	1607.21
		5	40.00	15.20	20.85	9.05	8.88	4.5	10.08	215.05	13.51	14.17	1591.40
		6	40.00	15.20	20.80	9.10	8.93	4.54	10.02	198.91	12.21	15.60	1629.56
	1/2	7	40.00	15.16	20.80	9.00	8.83	4.48	10.01	213.38	13.36	14.41	1596.75
		8	40.00	15.14	20.00	8.95	8.66	4.34	10.02	264.15	15.70	21.32	1524.65
		9	40.00	15.10	20.40	9.10	8.88	4.47	10.18	227.67	14.64	16.92	1555.17
	<b>Media</b>	<b>40.00</b>	<b>15.14</b>	<b>20.45</b>	<b>9.06</b>	<b>8.85</b>	<b>4.50</b>	<b>10.08</b>	<b>223.36</b>	<b>13.92</b>	<b>17.14</b>	<b>1587.02</b>	
	<b>Desviación estándar</b>								<b>17.53</b>	<b>0.96</b>	<b>2.40</b>	<b>32.22</b>	
	<b>Coficiente variación</b>								<b>0.08</b>	<b>0.07</b>	<b>0.14</b>	<b>0.02</b>	



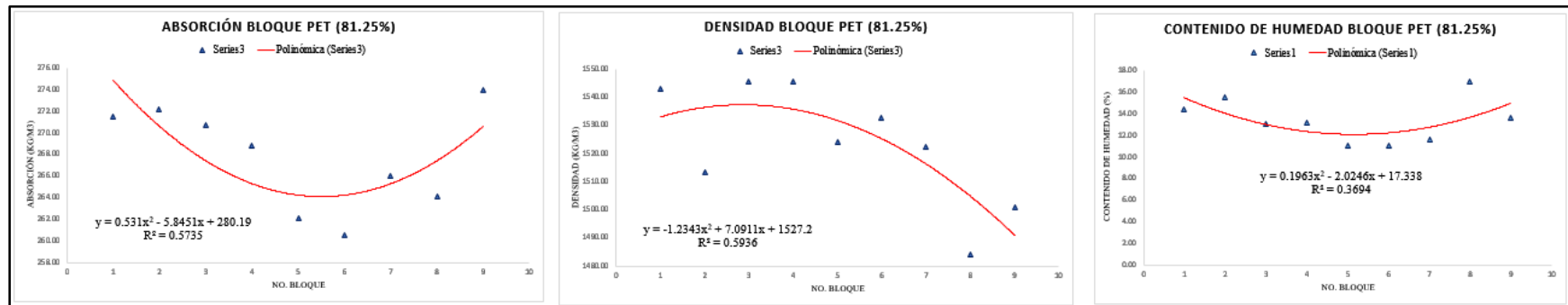
**Figura 73.** Absorción, densidad y contenido de humedad de bloques con PET (62.5%)

#### 4.2.2.5 Bloques con PET (81.25%)

**Tabla 37**

*Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques con PET (81.25%)*

% porcentaje de PET	RESINA	N° de bloque	l	a	h	Mr	Md	Mi	Ms	Absorción	Absorción	Contenido de humedad	Densidad
	(L)		cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg/m3	%	%	Kg/m3
81.25%	0	1	40.00	15.10	20.80	8.10	7.90	4.17	9.29	271.48	17.59	14.39	1542.97
		2	40.00	15.10	20.30	8.06	7.84	4.07	9.25	272.20	17.98	15.60	1513.51
		3	40.00	15.10	20.40	8.00	7.82	4.13	9.19	270.75	17.52	13.14	1545.45
	1/6	4	40.00	15.20	21.00	8.00	7.82	4.12	9.18	268.77	17.39	13.24	1545.45
		5	40.00	15.20	20.70	8.00	7.85	4.05	9.20	262.14	17.20	11.11	1524.27
		6	40.00	15.20	20.70	8.15	8.00	4.14	9.36	260.54	17.00	11.03	1532.57
	1/2	7	40.00	15.02	20.00	8.00	7.84	4.06	9.21	266.02	17.47	11.68	1522.33
		8	40.00	15.20	20.00	8.26	8.00	4.14	9.53	264.15	19.13	16.99	1484.23
		9	40.00	15.15	20.50	8.20	8.00	4.13	9.46	273.92	18.25	13.70	1500.94
	<b>Media</b>		<b>40.00</b>	<b>15.14</b>	<b>20.49</b>	<b>8.09</b>	<b>7.90</b>	<b>4.11</b>	<b>9.30</b>	<b>267.77</b>	<b>17.73</b>	<b>13.43</b>	<b>1523.53</b>
	<b>Desviación estándar</b>									<b>4.76</b>	<b>0.65</b>	<b>2.02</b>	<b>21.15</b>
	<b>Coficiente variación</b>									<b>0.02</b>	<b>0.04</b>	<b>0.15</b>	<b>0.01</b>



**Figura 74.** Absorción, densidad y contenido de humedad de bloques con PET (81.25%)

**Tabla 38**

*Valores promedio de ensayos de absorción, c. humedad y densidad de bloques con PET*

% PET	Absorción	Densidad	Contenido de humedad
	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	%
12.5	228.40	1817.88	24.21
25	187.23	1803.64	21.54
50	242.98	1607.94	15.71
62.5	223.36	1587.02	17.14
81.25	267.77	1523.53	13.43

En la Tabla 38 se observa una disminución de contenido de humedad a medida que se aumenta el porcentaje de PET en el bloque, y de acuerdo a la densidad hasta el 25% de PET se tiene un bloque medianamente denso y del 50% hasta el 81.25% se tiene un bloque liviano, lo que era de esperarse ya que el PET disminuye el peso del bloque.

#### **4.2.3 Bloques con fibras de caucho de neumático reciclado**

Debido a la mala adherencia de las fibras de caucho con la arena y el cemento, estos ensayos se hicieron con el porcentaje más alto de resina, es decir ½ L, para tratar de tener la mejor adherencia posible. La dosificación se la hizo con el 25% de fibras de caucho considerando que con ese porcentaje se tuvo la mayor resistencia en los bloques elaborados con PET.

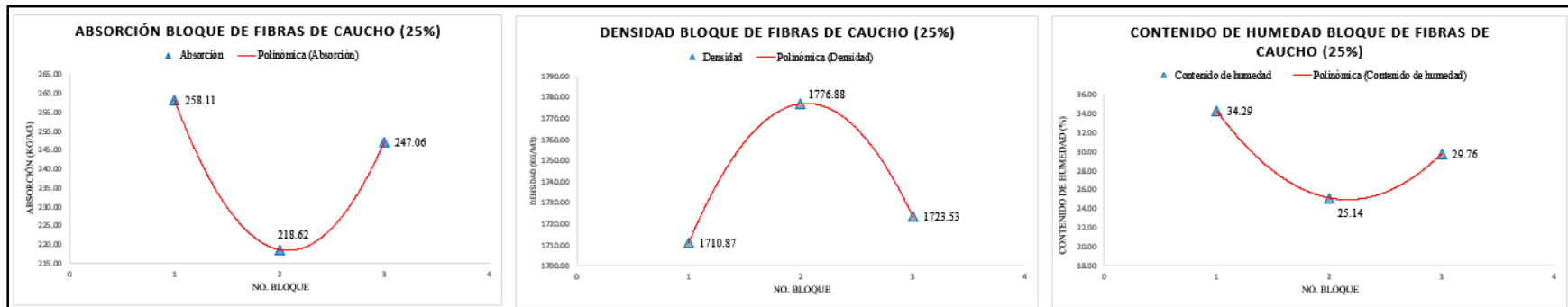
A continuación se presenta los resultados y gráficas de los tres ensayos.

### 4.2.3.1 Bloques con fibras de caucho de neumático reciclado

**Tabla 39**

*Resultados del ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad de bloques con fibras de caucho*

% porcentaje de PET	RESINA	N° de bloque	l	a	h	Mr	Md	Mi	Ms	Absorción	Absorción	Contenido de humedad	Densidad
	(L)		cm	cm	cm	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg/m3	%	%	Kg/m3
25%		1	40.00	15.20	20.60	12.20	11.60	6.57	13.35	258.11	15.09	34.29	1710.87
		1/2	40.00	15.20	20.60	12.20	11.83	6.63	13.29	218.62	12.30	25.14	1776.88
		3	40.00	15.20	20.58	12.22	11.72	6.60	13.40	247.06	14.33	29.76	1723.53
		<b>Media</b>	<b>40.00</b>	<b>15.20</b>	<b>20.59</b>	<b>12.21</b>	<b>11.72</b>	<b>6.60</b>	<b>13.35</b>	<b>241.26</b>	<b>13.91</b>	<b>29.73</b>	<b>1737.09</b>
		<b>Desviación estándar</b>								<b>20.37</b>	<b>1.44</b>	<b>4.57</b>	<b>35.03</b>
		<b>Coefficiente variación</b>								<b>0.08</b>	<b>0.10</b>	<b>0.15</b>	<b>0.02</b>



**Figura 75.** Absorción, densidad y contenido de humedad de bloques con fibras de caucho

En la Tabla 40 se describen los valores promedio de los tres ensayos.

**Tabla 40**

*Valores promedio de ensayos de absorción, c. humedad y densidad de b. con fibras de caucho*

% de fibras de caucho	resina	Absorción	Contenido de humedad	Densidad
	L	Kg/m <sup>3</sup>	%	Kg/m <sup>3</sup>
25%	1/2	241.26	29.73	1737.09

### 4.3 Análisis y discusión de resultados

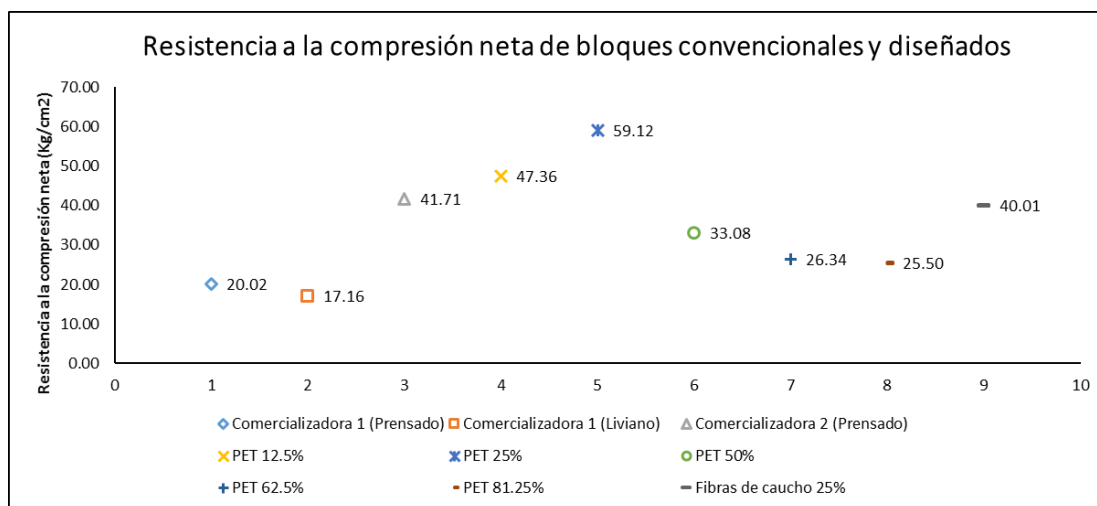
#### 4.3.1 Ensayo resistencia a la compresión

En la siguiente tabla constan los valores promedio de la resistencia a la compresión del área neta obtenida a los 28 días de fraguado de todos los bloques ensayados en este proyecto de investigación.

**Tabla 41**

*Valores promedio de la resistencia a la compresión a los 28 días de todos los bloques*

Tipo de bloques	Resistencia a la compresión neta promedio (28 días)
	Kg/cm <sup>2</sup>
Comercializadora 1 (prensado)	20.02
Comercializadora 1 (liviano)	17.16
Comercializadora 2 (prensado)	41.71
PET 12.5%	47.36
PET 25%	59.12
PET 50%	33.08
PET 62.5%	26.34
PET 81.25%	25.50
Fibras de Caucho 25%	40.01



**Figura 76.** Resistencia a la compresión a los 28 días de todos los bloques

En la Tabla 41 y en la Figura 76 se aprecia que los resultados finales muestran que el bloque con mejor resistencia resultó ser el que tiene 25% de PET con una resistencia de 59.12 Kg/cm<sup>2</sup> superando significativamente a los bloques convencionales. Por su parte el bloque elaborado con fibras de caucho tiene una resistencia aceptable al igual que el bloque elaborado por comercializadora 2.

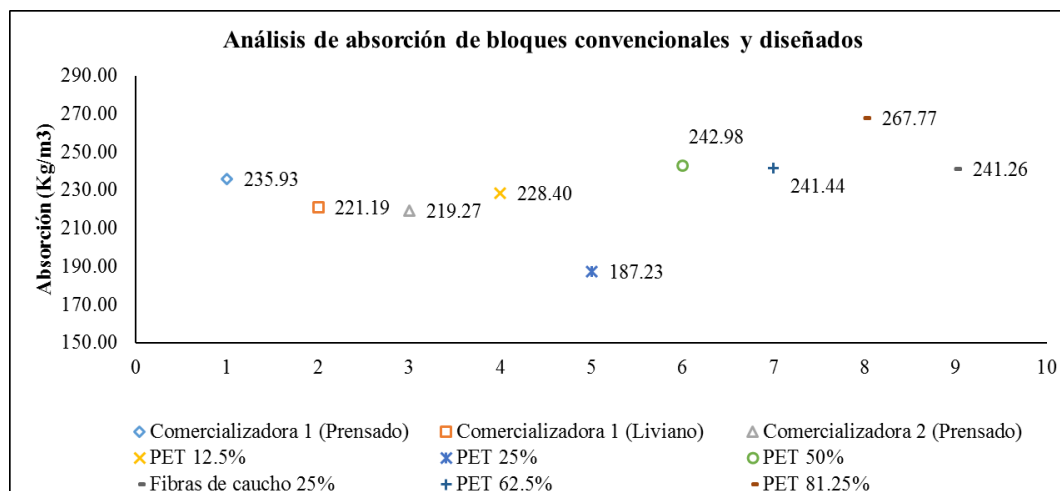
En lo que respecta a los bloques con 50%, 62.5% y 81.25% de PET, no cumplen con la resistencia adecuada para ser empleados como tipo B, es decir como mampostería no estructural, sin embargo su resistencia es la adecuada para ser utilizados como tipo C, en alivianamientos para losas en vista que la resistencia es la adecuada según la norma, además el peso de estos bloques se redujo en un 40% en relación a los bloques convencionales. Lo que concierne a la apariencia los bloques con PET y fibras de caucho, tiene un buen acabado en sus paredes, generando un ahorro al momento del enlucido en la mampostería.

### 4.3.2 Ensayos de absorción, densidad y contenido de humedad

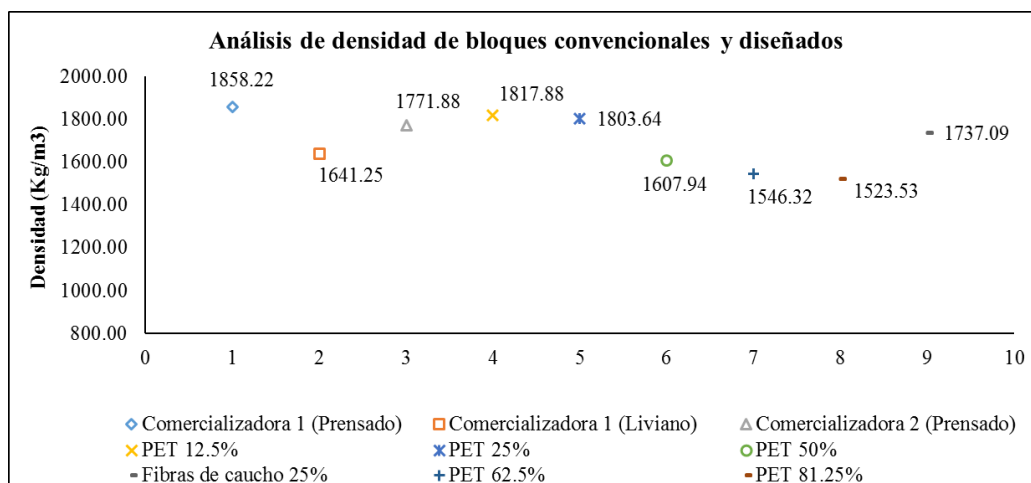
**Tabla 42**

Valores promedio de la absorción, densidad y c. humedad a los 28 días de todos los bloques

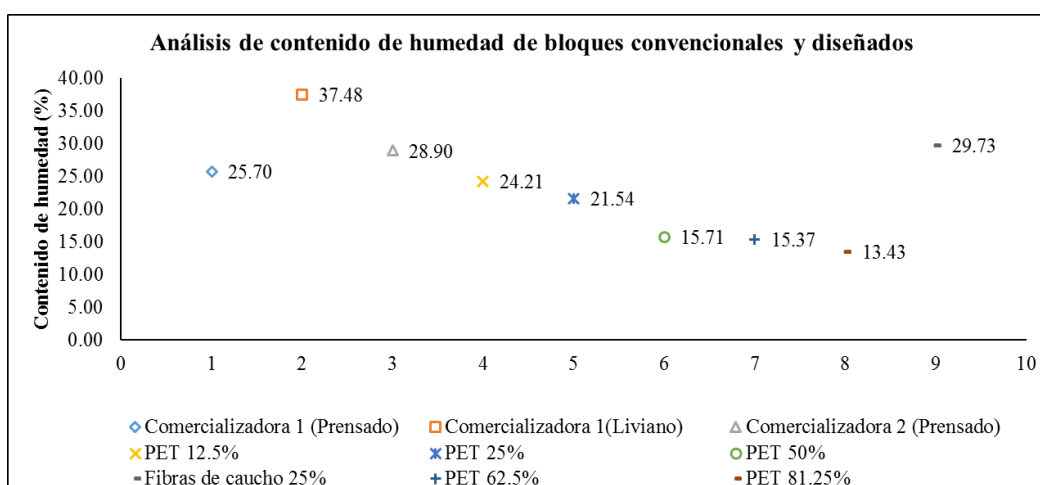
Tipo de bloques	Absorción	Densidad	Contenido de humedad
	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	%
Prensado de Comercializadora 1	235.93	1858.22	25.70
Liviano de Comercializadora 1	221.19	1641.25	37.48
Prensado de Comercializadora 2	219.27	1771.88	28.90
PET 12.5%	228.40	1817.88	24.21
PET 25%	187.23	1803.64	21.54
PET 50%	242.98	1607.94	15.71
PET 62.5%	241.44	1546.32	15.37
PET 81.25%	267.77	1523.53	13.43
Fibras de Caucho 25%	241.26	1737.09	29.73



**Figura 77.** Absorción a los 28 días de todos los bloques



**Figura 78.** Densidad a los 28 días de todos los bloques



**Figura 79.** Contenido de humedad a los 28 días de todos los bloques

Analizando los datos, se puede observar que el bloque elaborado con el 25% de PET, presenta un menor porcentaje de absorción en comparación con los bloques convencionales. Lo propio sucede con el contenido de humedad, es menor debido a que el PET es impermeable y por ende el agua al filtrar en el bloque no se adhiere a las paredes de sus partículas. Es evidente que si se aumenta más PET a la producción del bloque, se va obtener bloques con menor capacidad de



absorber líquidos, pero la resistencia a la compresión disminuye, y la prioridad de este proyecto de investigación es llegar a una mayor resistencia que los bloques del mercado actual.

Por otro lado, los bloques con fibras de caucho (25%) dieron como resultado un bloque más denso y pesado que los de la comercializadora 2, por lo que no se recomendaría cambiar el tipo de producción convencional si el objetivo sería aplicar el caucho como árido fino.

#### **4.4 Ensayo a compresión y tensión diagonal a muretes de 0.6 x 0.6 m**

##### **4.4.1 Muretes de bloques convencionales**

###### **4.4.1.1 Ensayo a compresión**

Una vez que el murete llega a la resistencia máxima se tiene unas fallas como se muestra en la Figura 80.



**Figura 80.** Fallas en el murete del ensayo de compresión

La falla no se dio como se esperaba, en forma longitudinal del murete, y esto se debe a un exceso de masillado en la superficie de contacto con la vigueta, consecuencia de una transmisión no uniforme de la carga.

En la Tabla 43 se presentan los resultados obtenidos del ensayo de compresión, mostrándose el tiempo que se llevó a cabo el ensayo hasta llegar a la resistencia máxima del murete, la carga que se aplicó y los desplazamientos que sufrió el elemento de ensayo.

**Tabla 43**

Compresión en murete de bloques convencionales

<b>Tiempo</b>	<b>Carga</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>seg</b>	<b>kg</b>	<b>mm</b>
0.00	0.000	0.04
4.98	0.000	0.04
9.98	0.000	0.04
34.98	96.869	0.18
39.98	302.715	0.18
44.98	484.344	0.62
49.98	617.538	1.10
54.98	702.298	1.22
59.98	835.493	1.39
64.98	1017.122	1.53
69.98	1222.968	1.70
74.98	1513.574	1.69
79.98	1864.723	1.90
84.98	2252.198	2.23
89.98	2639.673	2.62
94.98	2966.604	2.99
99.98	3463.057	3.36
104.98	4007.943	3.73
109.98	4395.418	4.18
114.98	4710.241	4.63
119.98	5133.544	5.00
124.98	5508.875	5.36
129.98	5545.197	5.76
134.98	5109.330	6.20
139.98	2397.269	6.98
144.98	1440.783	7.46
149.98	1307.601	7.95
234.98	1089.667	11.28
239.98	1077.560	11.29
244.98	1101.775	11.30

#### 4.4.1.2 Ensayo de tensión diagonal

Una vez que el murete llega a la resistencia máxima se tiene unas fallas como se muestra en la

Figura 81



*Figura 81.* Fallas en el murete del ensayo de tensión diagonal

Como resultado se obtuvo una falla perfecta, yendo de extremo a extremo como se esperaba, pero de igual manera se recomienda no colocar excesiva cantidad de masillado, basta con que la superficie quede uniforme y así permitir una distribución uniforme de la carga.

**Tabla 44**

*Resultados de tensión diagonal en murete de bloques convencionales*

<b>Tiempo</b>	<b>Carga</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>Seg</b>	<b>kg</b>	<b>mm</b>
0.00	-84.664	0.005
50.00	399.129	0.658
60.00	471.698	1.042
70.00	520.077	1.442
80.00	580.552	1.776
90.00	665.215	2.056
100.00	749.879	2.280
110.00	919.207	2.446

CONTINÚA



120.00	266.086	3.053
130.00	495.888	3.312
140.00	665.215	3.590
150.00	701.500	3.909
160.00	665.215	4.229
165.00	713.595	4.374
175.00	822.448	4.649
180.00	895.017	4.775
185.00	979.681	4.878
190.00	1040.155	4.993
200.00	1173.198	5.208
205.00	1233.672	5.307
215.00	1318.336	5.549
225.00	1282.051	5.949
235.00	1656.991	6.634
240.00	1209.482	7.034
245.00	1028.060	7.465
250.00	1451.203	7.820
255.00	1874.471	8.106
260.00	2188.898	8.349
265.00	2442.859	8.567
270.00	846.535	9.163
275.00	411.174	9.413
280.00	193.494	9.650

#### **4.4.2 Muretes de bloques con PET**

##### **4.4.2.1 Ensayo a compresión**

Los bloques seleccionados para realizar los muretes son los que tiene 25% de PET ya que fueron los que mejor resultados de resistencia dieron. En los que respecta a la colocación de los muretes para el ensayo a compresión es igual que como se mostró en el literal 4.4.1.

Una vez que el murete llega a la resistencia máxima se tiene unas fallas como se muestra en la Figura 82.



**Figura 82.** Fallas en el murete del ensayo de compresión

La falla se dio en dirección longitudinal del murete, y además hubo desprendimiento del masillado, debido a la excesiva cantidad de masillado.

**Tabla 45**

*Compresión en murete de bloques con PET*

<b>Tiempo</b>	<b>Carga</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>Seg</b>	<b>kg</b>	<b>mm</b>
0.00	0.000	0.02
5.00	0.000	0.04
10.00	0.000	0.05
15.00	0.000	0.06
20.00	0.000	0.07
25.00	0.000	0.08
30.00	0.000	0.01
35.00	339.399	0.18
40.00	540.297	0.45
45.00	783.280	0.62
50.00	899.517	1.08
55.00	997.288	1.12
60.00	1207.904	1.15
65.00	1584.423	1.45
70.00	1993.839	1.65
75.00	2402.950	1.70
80.00	2881.481	1.99
85.00	3037.052	2.12

CONTINÚA



90.00	3599.375	2.52
95.00	4558.012	2.84
100.00	5408.289	3.20
105.00	5848.700	3.53
110.00	5925.278	3.85
115.00	6015.283	4.24
120.00	6797.007	4.67
125.00	7615.595	5.00
130.00	7355.600	5.65
135.00	3904.439	6.15
140.00	2101.303	6.74
145.00	1584.667	7.36

#### 4.4.2.2 Ensayo de tensión diagonal

En lo que respecta a la colocación de los muretes para el ensayo de tensión diagonal es igual que como se mostró en el literal 4.4.1.2.

Las fallas obtenidas en este murete se aprecian en la Figura 83.

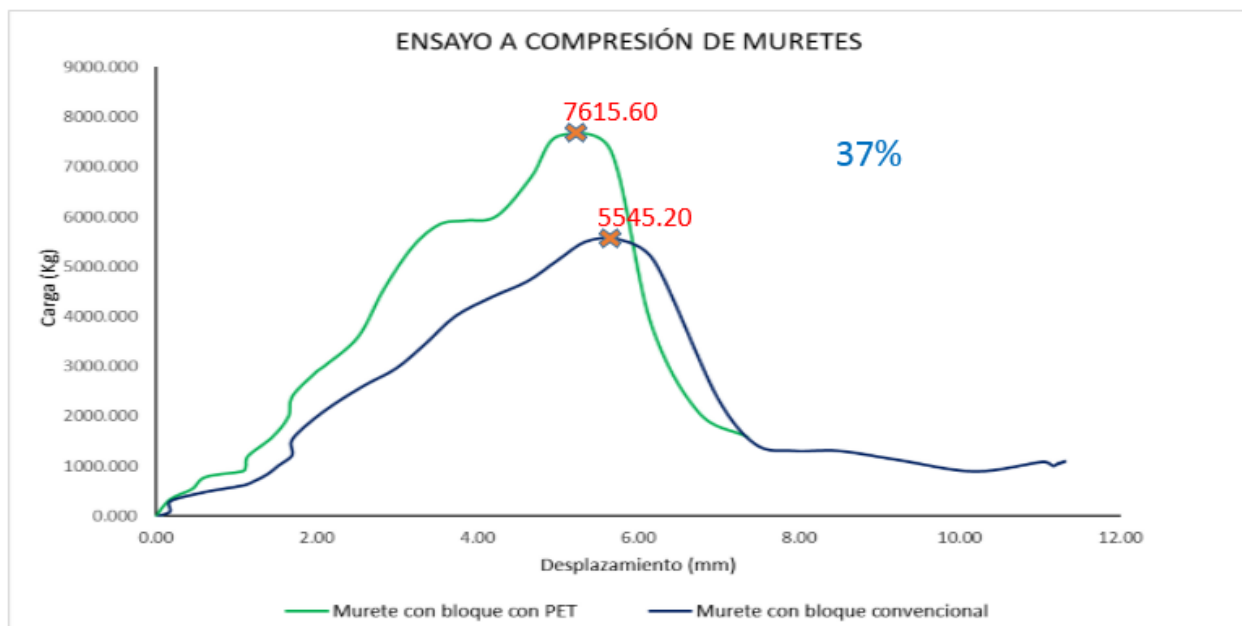


**Figura 83.** Fallas en el murete del ensayo de tensión diagonal

Al igual que el murete de bloques convencionales, en éste de bloques con PET (25%), también se obtuvo una falla esperada.

**Tabla 46***Resultados de tensión diagonal en murete de bloques con PET*

<b>Tiempo</b>	<b>Carga</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>Seg</b>	<b>kg</b>	<b>mm</b>
0.00	0.000	0.004
5.00	0.000	0.003
10.00	0.000	0.001
15.00	149.200	0.240
20.00	315.450	0.350
25.00	412.630	0.630
30.00	471.698	1.042
35.00	532.456	1.310
40.00	584.951	1.480
45.00	674.512	2.020
50.00	749.879	2.110
55.00	924.478	2.450
60.00	578.650	2.890
65.00	498.365	3.020
70.00	665.215	3.190
75.00	721.100	3.950
80.00	666.300	4.150
85.00	715.450	4.270
90.00	832.890	4.350
115.00	1235.120	5.100
120.00	1318.336	5.420
125.00	1245.000	5.950
130.00	1556.000	6.410
135.00	1308.450	6.930
140.00	1054.543	7.230
145.00	1578.428	7.570
150.00	2077.489	7.670
155.00	3245.045	7.720
160.00	3644.842	7.810
165.00	1050.000	8.010
170.00	345.690	8.150
175.00	154.698	8.450



*Figura 84.* Ensayo a la compresión de muretes con bloques convencionales y con PET



*Figura 85.* Ensayo a la compresión de muretes con bloques convencionales y con PET

#### 4.4.3 Análisis y comparativa de resultados

Uniendo los resultados obtenidos de los dos tipos de muretes se tiene la siguiente tabla.



**Tabla 47***Resultados de ensayos a compresión y tensión diagonal de muretes*

Tipo de murete	Ensayo de compresión		Ensayo de tensión diagonal	
	Carga máxima	Desplazamiento	Carga máxima	Desplazamiento
	Kg	mm	Kg	mm
<b>B. convencionales</b>	5545.20	5.76	2442.86	8.57
<b>B. con PET</b>	7615.60	5.00	3644.84	7.81

Los resultados obtenidos indican claramente que los muretes de bloques con PET fueron más resistentes en un 37% en el ensayo de compresión y en un 49% en el de tensión diagonal, soportando más carga y obteniendo un menor desplazamiento en la falla.

En lo que respecta a las fibras de caucho, no se realizaron muretes con bloques de este material ya que en los ensayos de resistencia a la compresión (sección 4.1.3) no dio buenos resultados, como los que sí se obtuvo con el PET.

#### **4.5 Comprobación de hipótesis**

Como resultado de la investigación se tiene que los bloques diseñados con PET si son aptos para ser usados en mamposterías de obras civiles, como son paredes divisorias exteriores e interiores con y sin revestimiento, por lo que cumplieron con la resistencia a la compresión requerida en la norma técnica ecuatoriana. Además, cabe mencionar que tienen una mayor resistencia y menor peso volumétrico que los bloques convencionales. Algo que destaca a simple vista al bloque elaborado con PET es que tiene un buen terminado con paredes muy lisas y sin desperfectos. Esto se puede apreciar en la Figura 86.



**Figura 86.** Bloque con PET

En lo que respecta a los bloques con fibras de caucho de neumáticos reciclados, a pesar de dar una buena resistencia similar a la de los mejores bloques convencionales, se dificulta su fabricación por la mala adherencia de sus agregados con el cemento, por tanto no es recomendable utilizarlos en mampostería. En la Figura 87 se puede apreciar un bloque con fibras de caucho.



**Figura 87.** Bloque con fibras de caucho de neumático reciclado

#### 4.6 Análisis de costos

El análisis de costos se lo realizó tomando como referencia los precios de los materiales usados por la comercializadora 2. En este contexto para la elaboración de 64 bloques utiliza las siguientes proporciones en volumen.

- 1 saco de cemento Holcim Utka tipo MS, 45 kg
- 4 carretillas de arena
- 22 litros de agua

En la Tabla 48 se presenta el costo de los materiales con los que se realizaron los bloques.

**Tabla 48**

Costo de los materiales para la elaboración de los bloques

<b>Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio en USD</b>
Volqueta de arena fina	m <sup>3</sup>	1	80.00
Cemento Holcim Utka tipo MS	saco	1	8.02
PET triturado	kg	1	0.22
Caucho triturado	kg	1	0.33

Para determinar el costo por cada bloque elaborado se lo realizó de la siguiente manera:

**Datos:**

192 palas de arena equivalen a 1 m<sup>3</sup>

16 palas de arena equivalen a 1 carretilla

$$\therefore 192 \text{ palas de arena} \rightarrow 1 \text{ m}^3$$

$$16 \text{ palas de arena} \rightarrow x$$

$$x = 0.083 \text{ m}^3$$

$x \approx$  equivale a decir que 1 carretilla de arena tiene 0.083 m<sup>3</sup>

1 volqueta de área de  $8 \text{ m}^3$  cuesta \$ 110.00 USD

$$\therefore 8 \text{ m}^3 \text{ de arena} \rightarrow \$ 110.00$$

$$0.083 \text{ m}^3 \text{ de arena} \rightarrow x$$

$$x = \$ 1.145 \text{ USD}$$

$x \approx$  equivale a decir que 1 carretilla de arena cuesta \$ 1.145

Si una carretilla de arena contiene 16 palas entonces

$$\therefore 16 \text{ pala de arena} \rightarrow \$ 1.145$$

$$1 \text{ pala de arena} \rightarrow x$$

$$x = \$ 0.072 / \text{pala de arena}$$

$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ lt}$  y se necesita 22 lt de agua para elaborar 64 bloques

$$\therefore 1000 \text{ lt} \rightarrow 1 \text{ m}^3$$

$$22 \text{ lt} \rightarrow x$$

$$x = 0.022 \text{ m}^3$$

$1 \text{ m}^3$  de agua cuesta \$ 0.72 USD

$$\therefore 1 \text{ m}^3 \rightarrow \$ 0.72$$

$$0.022 \text{ m}^3 \rightarrow x$$

$$x = \$ 0.0158 \text{ USD}$$

**Tabla 49***Análisis del costo final de un bloque elaborado tradicionalmente*

<b>Detalle</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Precio</b>
Cemento Holcim Utka tipo MS	saco	1.00	8.02	8.02
Pala de arena	u	64	0.072	4.58
Agua	lt	12	0.022	0.26
Mano de obra y maquinaria				5.76
			Costo total	18.62
			<b>Costo/bloque</b>	<b>0.29</b>

*Nota: Para elaborar 64 bloques se requiere de 3 personas***Tabla 50***Análisis del costo final de un bloque elaborado con el 12.5% de PET*

<b>Detalle</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Precio</b>
Cemento Holcim utka tipo MS	saco	1.00	8.02	8.02
Pala de arena	u	56	0.072	4.01
PET	kg	19.2	0.22	4.22
Agua	lt	12	0.022	0.26
Mano de obra y maquinaria				5.76
			Costo total	22.28
			<b>Costo/bloque</b>	<b>0.35</b>

**Tabla 51***Análisis del costo final de un bloque elaborado con el 25% de PET*

<b>Detalle</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Precio</b>
Cemento Holcim utka tipo MS	saco	1.00	8.02	8.02
Pala de arena	u	48	0.072	3.43
PET	kg	38.4	0.22	8.45
Agua	lt	12	0.022	0.26
Mano de obra y maquinaria				5.76
			Costo total	25.93
			<b>Costo/bloque</b>	<b>0.41</b>

**Tabla 52***Análisis del costo final de un bloque elaborado con el 50% de PET*

<b>Detalle</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Precio</b>
Cemento Holcim utka tipo MS	saco	1.00	8.02	8.02
Pala de arena	u	32	0.072	2.29
PET	kg	76.8	0.22	16.90
Agua	lt	12	0.022	0.26
Mano de obra y maquinaria				5.76
			Costo total	33.23
			<b>Costo/bloque</b>	<b>0.52</b>

**Tabla 53***Análisis del costo final de un bloque elaborado con el 62.5% de PET*

<b>Detalle</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Precio</b>
Cemento Holcim utka tipo MS	saco	1.00	8.02	8.02
Pala de arena	u	24	0.072	1.72
PET	kg	96	0.22	21.12
Agua	lt	12	0.022	0.26
Mano de obra y maquinaria				5.76
			Costo total	36.88
			<b>Costo/bloque</b>	<b>0.58</b>

**Tabla 54***Análisis del costo final de un bloque elaborado con el 82.5% de PET*

<b>Detalle</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Precio</b>
Cemento Holcim utka tipo MS	saco	1.00	8.02	8.02
Pala de arena	u	12	0.072	0.86
PET	kg	124.8	0.22	27.46
Agua	lt	12	0.022	0.26
Mano de obra y maquinaria				5.76
			Costo total	42.36
			<b>Costo/bloque</b>	<b>0.66</b>

**Tabla 55**

*Análisis del costo final de un bloque elaborado con el 25% de fibras de caucho de neumáticos*

<b>Detalle</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Precio</b>
Cemento Holcim utka tipo MS	saco	1.00	8.02	8.02
Pala de arena	u	48	0.072	3.43
Caucho	kg	33.6	0.33	11.09
Agua	lt	12	0.022	0.26
Mano de obra y maquinaria				5.76
			Costo total	28.57
			<b>Costo/bloque</b>	<b>0.45</b>

**Tabla 56**

*Análisis del costo final de un bloque elaborado con el 32.5% de fibras de caucho de neumáticos*

<b>Detalle</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Precio</b>
Cemento Holcim utka tipo MS	saco	1.00	8.02	8.02
Pala de arena	u	40	0.072	2.86
Caucho	kg	50.4	0.33	16.63
Agua	lt	12	0.022	0.26
Mano de obra y maquinaria				5.76
			Costo total	33.54
			<b>Costo/bloque</b>	<b>0.52</b>

En la Tabla 57 se puede apreciar el costo por bloque elaborado con PET y fibras de caucho de neumático en sus diferentes porcentajes. En la Tabla 58 se puede observar las empresas que comercializan bloques, en ésta se incluyó el bloque elaborado con el 25% de PET con un incremento del 25% en relación a su costo de producción. Además en la Figura 88 se presenta el costo unitario del bloque incluido el I.V.A. (impuesto al valor agregado) en diferentes bloqueras de la ciudad de Quito y Sangolquí.

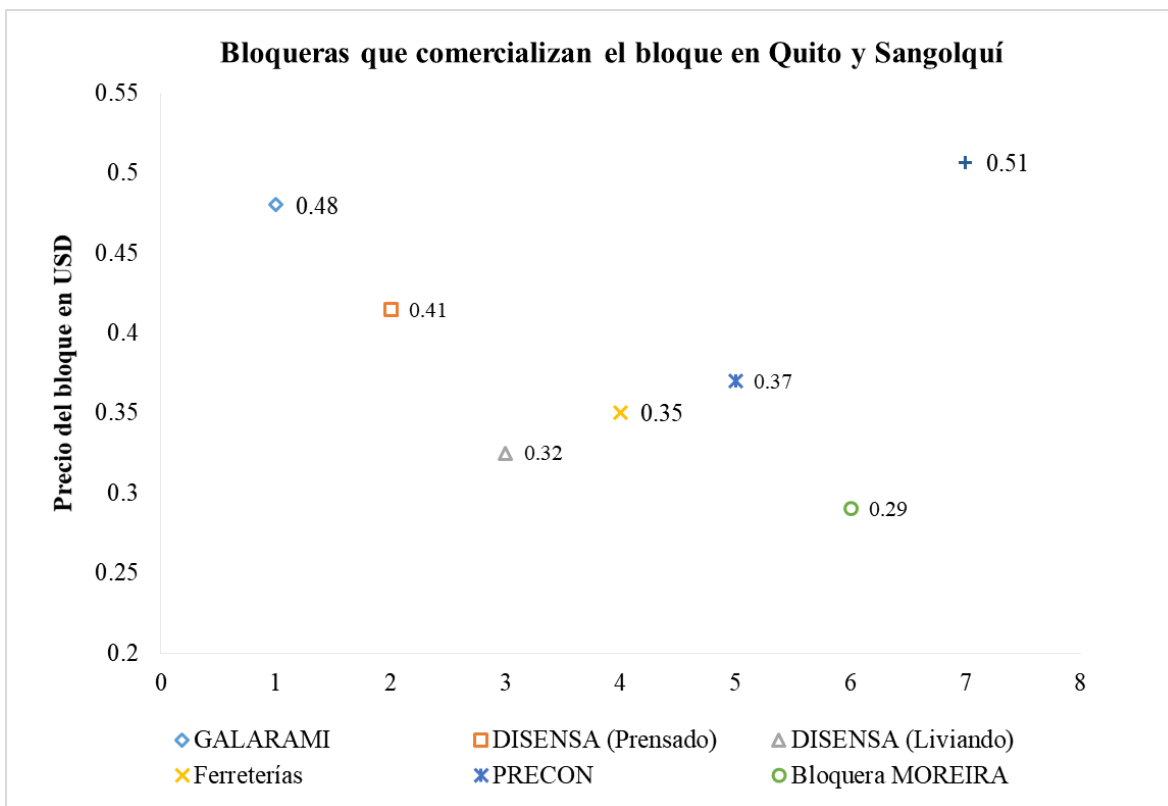
**Tabla 57***Resumen del costo de producción por bloque*

<b>Tipo de Bloque</b>	<b>Costo en USD/u</b>
Comercializadora 2	0.29
Bloque con PET al 12.5%	0.35
Bloque con PET al 25%	0.41
Bloque con PET al 50%	0.52
Bloque con PET al 62.5%	0.58
Bloque con PET al 82.5%	0.66
Bloque con 25% de Caucho	0.45
Bloque con 30% de Caucho	0.52

**Tabla 58***Bloqueras que comercializan bloques en la ciudad de Quito y Sangolquí*

<b>Tipo de Bloque</b>	<b>Dimensiones [cm]</b>	<b>Costo USD/u</b>
Comercializadora 2	40*20*15	0.48
Comercializadora 1(prensado)	39*19*14	0.41
Comercializadora 1(liviano)	39*19*13	0.32
Comercializadora 3	39*19*14	0.35
Comercializadora 4	40*20*15	0.37
Comercializadora 5	40*20*15	0.29
Bloque con PET (25%)	40*20*15	0.51





**Figura 88.** Bloqueras que comercializan el bloque en Quito y Sangolquí

#### 4.7 Cálculo del uso del bloque con PET en una estructura y análisis de costo

##### Modelado en Planta, Elevación y Geometría específica

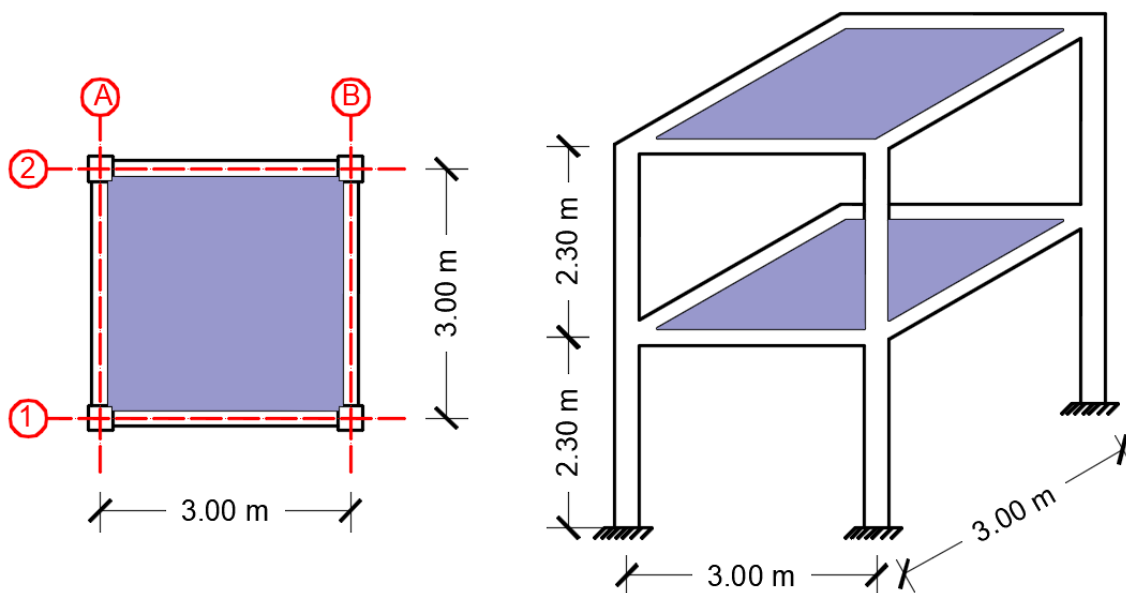


Figura 89. Modelo de la estructura a analizar

Tipo	Nombre	Símbolo	Valores	Unidades
Materiales	Resistencia del hormigón	$f'c$	210	Kg/cm <sup>2</sup>
	Resistencia del acero	$f_y$	4200	Kg/cm <sup>2</sup>

##### Predimensionamiento de losas alivianadas

$$\frac{\text{Largo}}{\text{ancho}} \geq 2$$

$$\frac{4 \text{ m}}{4 \text{ m}} = 1 \rightarrow \text{losa bidireccional}$$

*Losas Bireccionales N+2.30 y N+4.60*

Según el **ACI 318-14S Tabla 8.3.1.1** tenemos que para losas con vigas de borde y sin ábacos, con un  $f_y = 420 \text{ MPa}$  la altura mínima de una losa bidireccional es:

$$h_{min} = \frac{Ln}{33}$$

**Dónde:**

**$h_{mín}$ :** altura mínima de la losa

**$Ln$ :** longitud libre (se le resta 0.25 m ya que es la dimensión mínima de una viga)

$$h_{min} = \frac{Ln}{33}$$

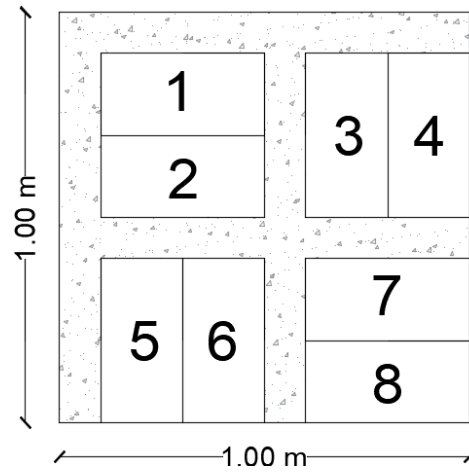
$$h_{min} = \frac{(3 - 0.25)m}{33}$$

$$h_{min} = 0.083$$

$$altura \ de \ losa \ \rightarrow \ \left\{ \begin{array}{l} h \ (cm) \ Losa \ maciza \\ \leq 14.5 \\ 14.6 \leq h \leq 18.2 \\ 18.3 \leq h \leq 21.6 \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} h \ (cm) \ losa \ alivianada \\ \mathbf{20} \\ 25 \\ 30 \end{array} \right.$$

Como se puede apreciar en la tabla de referencia se obtuvo una altura menor a 14.5 cm entonces la altura de la losa alivianada es 20 cm.

$$\mathbf{h = 20 \text{ cm}}$$

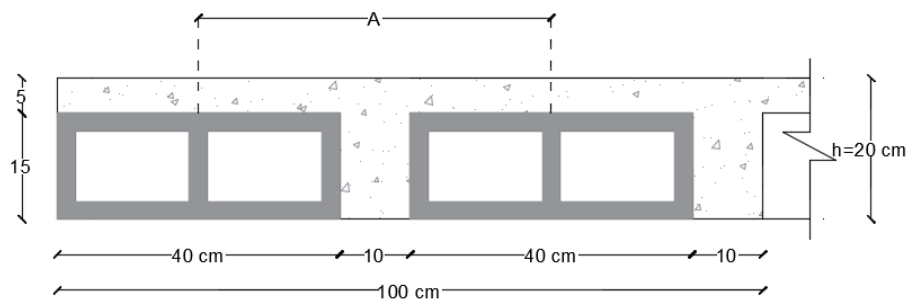
Análisis de Cargas /m<sup>2</sup>

$$h_{c. \text{compresión}} = \frac{A}{12}$$

$$h_{c. \text{compresión}} = \frac{50 \text{ cm}}{12}$$

$$h_{c. \text{compresión}} = 4.167 \text{ cm}$$

$$\mathbf{h_{c. \text{compresión}} = 5 \text{ cm}}$$



**Figura 90.** Losa alivianada con bloques de hormigón

### Diseño aplicando bloques convencionales

h losa	0.20	m
ancho bloque	0.15	m
h c.compresión	0.05	m
peso bloque Galarami	12.48	Kg

<b>LOSA</b>		
nervios	129.600	Kg/m2
c. compresión	120.000	Kg/m2
Alivianamientos (bloques)	99.840	Kg/m2
<b>Peso propio de la losa</b>	<b>349.440</b>	<b>Kg/m2</b>
vigas (20% p.p. losa)	69.888	Kg/m2
Columnas	100.000	Kg/m2
paredes (bloques)	156.000	Kg/m2
acabados	120.000	Kg/m2
Carga muerta (QM)	795.328	Kg/m2
Carga viva-vivienda (QV)	200.000	Kg/m2
Carga total (QT)	995.328	Kg/m2
<b>Carga última (QU)=1.2QM+1.6QV</b>	<b>1274.394</b>	<b>Kg/m2</b>
	<b>1.274</b>	<b>T/m2</b>

Luego se calcula el cortante basal para obtener las fuerzas externas de cada pórtico.

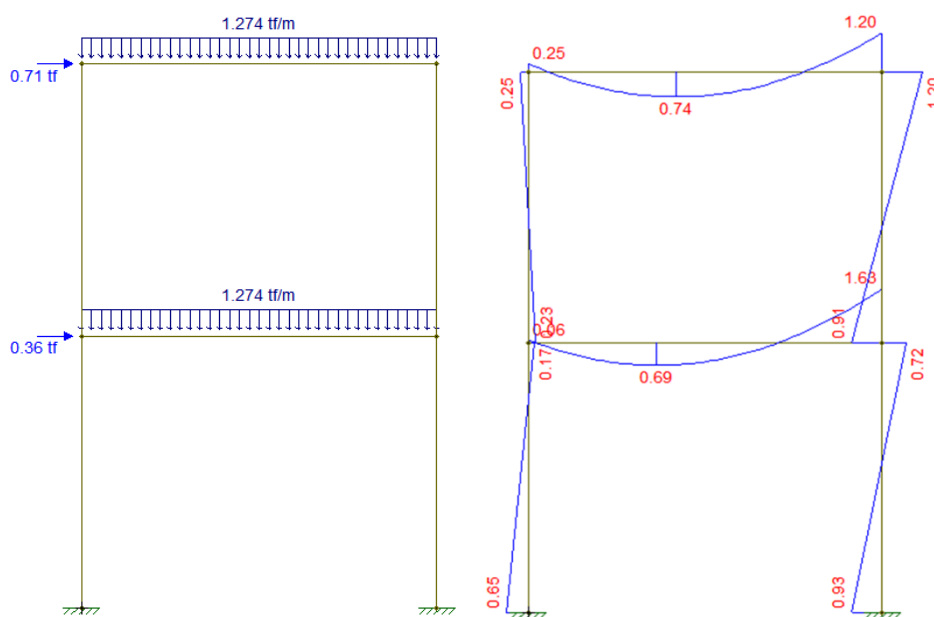
<b>Zona</b>	Quito
<b>Tipo suelo</b>	C
$\eta =$	2.48
$z =$	0.4
$r =$	1
$F_a =$	1.2
$F_s =$	1.11
$F_d =$	1.11
$T_c (s) =$	0.056
$I =$	1
<b>Sa=</b>	<b>1.1904</b>

$R =$	8
$\phi_p =$	1
$\phi_e =$	1
<b>%=</b>	<b>0.149</b>

<b>WR</b>	14.32	T
<b>%</b>	0.149	
<b>Vbasal</b>	2.13	T

Piso	Área (m <sup>2</sup> )	Carga muerta (T/m <sup>2</sup> )	wi (T)	hi (m)	wi*hi	(wi*hi)/(Σ(wi*hi))	Fi
1	9.00	0.7953	7.16	2.3	16.46	0.333	0.71
2	9.00	0.7953	7.16	4.6	32.93	0.667	1.42
Suma					49.39		2.13

Pórtico	Piso	Fi (T)	A (100%)	Acop	% área (%)	fi (T)
1	1	0.71	3.00	1.5	50.00	0.36
	2	1.42				0.71



**Figura 91.** Modelo de los pórticos 1, 2, A y B y su diagrama de momentos

DISEÑO DEL NERVIO		
b	10	cm
h	20	cm
d	17	cm
$\rho$ min=14/4200	0.0033	
Ac	0.5	m
qu	0.6371968	T/ml
m=A/B	1	
Coeficiente	0.5	
$Mu=(qu \cdot coef \cdot L^2)/12$	0.239	T*m
$\rho$ calculada	<b>0.0022</b>	< $\rho$ min
As calculada	<b>0.38</b>	cm <sup>2</sup>

<b>VIGA (A-B-1-2)</b>		
s (luz más corta)	3	m
L (luz más larga)	3	m
$W*s/3$	1274.394	Kg/m2
$Wu=Qu*s/3$	1.274	T/m
$Mext=(Wu*L^2)/12$	1.63	T*m
$MR=Mext/\phi$	1.811	T*m
$Ru$	39.7	
b	25	cm
$d=raiz(MR/(Ru*b))$	13.509	
recubrimiento	2.5	cm
<b><math>h=d+rec</math></b>	<b>16.01</b>	<b>cm</b>
<b>b</b>	<b>16.01</b>	<b>cm</b>
$\rho \text{ min}=14/4200$	0.0033	
$As \text{ min}$	0.7208	cm2
<b><math>\rho \text{ calculada}</math></b>	<b>0.0190</b>	<b>&gt; <math>\rho \text{ min}</math></b>
<b><math>As \text{ calculada}</math></b>	<b>4.11</b>	<b>cm2/ml</b>

<b>COLUMNA (1A-1B-2A-2B)</b>		
$Qu$	1.27	T/m2
$Qu \text{ total}=Pu*\#\text{pisos}$	2.55	T/m2
Area cooperante	2.25	m2
$Put=Qu \text{ total}*Acoop$	5.73	T
$Ag=18*Put$	103.23	cm2
<b><math>h=raiz(Ag)</math></b>	<b>10.16</b>	<b>cm</b>
<b>b</b>	<b>10.16</b>	<b>cm</b>
<b><math>\rho</math></b>	<b>1%</b>	
<b><math>As=\rho*b*h</math></b>	<b>1.03</b>	<b>cm2</b>

### Diseño aplicando bloques con PET

h losa	0.20	m
ancho bloque	0.15	m
h c.compresión	0.05	m
peso bloque 25% PET	10.51	Kg
peso bloque 81.25% PET	8.08	Kg

<b>LOSA</b>		
nervios	129.600	Kg/m <sup>2</sup>
c. compresión	120.000	Kg/m <sup>2</sup>
Alivianamientos (bloques)	64.640	Kg/m <sup>2</sup>
<b>Peso propio de la losa</b>	<b>314.240</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>
vigas (20% p.p. losa)	62.848	Kg/m <sup>2</sup>
Columnas	100.000	Kg/m <sup>2</sup>
paredes (bloques)	131.375	Kg/m <sup>2</sup>
empasado	48.000	Kg/m <sup>2</sup>
Carga muerta (QM)	656.463	Kg/m <sup>2</sup>
Carga viva-vivienda (QV)	200.000	Kg/m <sup>2</sup>
Carga total (QT)	856.463	Kg/m <sup>2</sup>
<b>Carga última (QU)=1.2QM+1.6QV</b>	<b>1107.756</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>
	<b>1.108</b>	<b>T/m<sup>2</sup></b>

Luego se calcula el cortante basal para obtener las fuerzas externas de cada pórtico.

Zona	Quito
Tipo suelo	C
$\eta =$	2.48
$z =$	0.4
$r =$	1
$F_a =$	1.2
$F_s =$	1.11
$F_d =$	1.11
$T_c (s) =$	0.056
$l =$	1
<b>Sa=</b>	<b>1.1904</b>

$R =$	8
$\phi_p =$	1
$\phi_e =$	1
<b>%=</b>	<b>0.149</b>

<b>WR</b>	11.82	T
<b>%</b>	0.149	
<b>Vbasal</b>	1.76	T



Piso	Área (m <sup>2</sup> )	Carga muerta (T/m <sup>2</sup> )	wi (T)	hi (m)	wi*hi	(wi*hi)/(Σ(wi*hi))	Fi
1	9.00	0.656463	5.91	2.3	13.59	0.275	0.48
2	9.00	0.656463	5.91	4.6	27.18	0.550	1.17
Suma					40.77		1.66

Pórtico	Piso	Fi (T)	A (100%)	Acop	% área (%)	fi (T)
1	1	0.48	3.00	1.5	50.00	0.24
	2	1.17				0.59

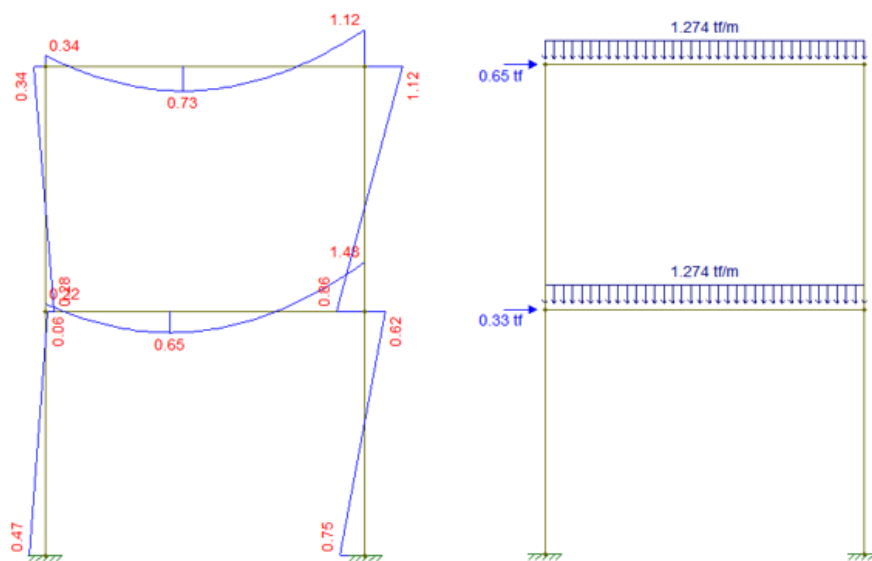


Figura 92. Modelo de los pórticos 1, 2, A y B y su diagrama de momentos

DISEÑO DEL NERVIÓ		
b	10	cm
h	20	cm
d	17	cm
$\rho$ min=14/4200	0.0033	
Ac	0.5	m
qu	0.5538778	T/ml
m=A/B	1	
Coeficiente	0.5	
$M_u=(qu*coef*L^2)/12$	0.208	T*m
$\rho$ calculada	<b>0.0019</b>	< $\rho$ min
As calculada	<b>0.33</b>	cm <sup>2</sup>

<b>VIGA (A-B-1-2)</b>		
s (luz más corta)	3	m
L (luz más larga)	3	m
$Wu=Qu*s/3$	1.1077556	T/ml
$Mext=(Wu*L^2)/12$	1.48	T*m
$MR=Mext/\phi$	1.644	T*m
Ru	39.700	
b	25	cm
$d=raiz(MR/(Ru*b))$	12.872	
recubrimiento	2.5	cm
<b>h=d+rec</b>	<b>15.37</b>	<b>cm</b>
<b>b</b>	<b>15.37</b>	<b>cm</b>
$\rho \text{ min}=14/4200$	0.0033	
As min	0.6596	cm <sup>2</sup>
$\rho$ calculada	<b>0.0201</b>	> $\rho$ min
<b>As calculada</b>	<b>3.99</b>	<b>cm<sup>2</sup>/ml</b>

<b>COLUMNA (1A-1B-2A-2B)</b>		
Qu	1.108	T/m <sup>2</sup>
Qu total=Pu*#pisos	2.216	T/m <sup>2</sup>
Area cooperante	2.250	m <sup>2</sup>
Put=Qu total*Acoop	4.985	T
$Ag=18*Put$	89.728	cm <sup>2</sup>
<b>h=raiz(Ag)</b>	<b>9.47</b>	<b>cm</b>
<b>b</b>	<b>9.47</b>	<b>cm</b>
<b><math>\rho</math></b>	<b>1%</b>	
<b>As=<math>\rho*b*h</math></b>	<b>0.90</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>

**Tabla 59***Análisis de reducción en las secciones de los elementos estructurales*

	Columnas (cm)		Vigas (cm)	
	Base	Altura	Base	Altura
Estructura con bloques Convencionales	10.16	10.16	16.01	16.01
Estructura con bloques con PET	9.47	9.47	15.37	15.37
Reducción (%)	7%	7%	4%	4%

Como se puede analizar en la Tabla 59, las secciones de las columnas de la estructura hecha con bloques con PET se redujeron en un 7%, mientras que en las vigas se tuvo una reducción del 4%.

**Tabla 60***Análisis de peso de las estructuras*

	Hormigón	Bloques para losa	Bloques para paredes	Hierro	Total peso (Kg)
Estructura con bloques Convencionales	6375.57	1797.12	8611.20	121.17	16905.05
Estructura con bloques con PET	6204.74	1163.52	7251.90	113.00	14733.16
Diferencia (%)	3%	35%	16%	7%	13%

A continuación el análisis de costo de los dos tipos de estructuras, sin tomar en cuenta la mano de obra.

<b>Estructura con bloques Convencionales</b>			<b>Estructura con bloques con PET</b>		
<b>Volumen de hormigón</b>			<b>Volumen de hormigón</b>		
vigas	0.595	m3	vigas	0.548	m3
Columnas	0.190	m3	Columnas	0.165	m3
Nervios	0.972	m3	Nervios	0.972	m3
C. compresión	0.900	m3	C. compresión	0.900	m3
<b>Total</b>	<b>2.656</b>	<b>m3</b>	<b>Total</b>	<b>2.585</b>	<b>m3</b>
<b>Precio</b>	<b>239.08</b>	<b>USD</b>	<b>Precio</b>	<b>232.68</b>	<b>USD</b>
<b>Bloques para losa</b>			<b>Bloques para losa</b>		
bloque convencional	144	u	bloque convencional	144	u
<b>Precio</b>	<b>69.120</b>	<b>USD</b>	<b>Precio</b>	<b>118.800</b>	<b>USD</b>
<b>Bloques para paredes</b>			<b>Bloques para paredes</b>		
bloque convencional	690	u	bloque convencional	690	u
<b>Precio</b>	<b>331.200</b>	<b>USD</b>	<b>Precio</b>	<b>351.900</b>	<b>USD</b>
<b>Peso de acero</b>			<b>Volumen de acero</b>		
vigas	77.472	Kg	vigas	75.112	Kg
Columnas	14.910	Kg	Columnas	12.960	Kg
Nervios	28.783	Kg	Nervios	24.929	Kg
<b>Total</b>	<b>121.165</b>	<b>Kg</b>	<b>Total</b>	<b>113.001</b>	<b>Kg</b>
<b>Precio</b>	<b>123.589</b>	<b>USD</b>	<b>Precio</b>	<b>115.261</b>	<b>USD</b>
<b>Total costo</b>	<b>762.993</b>	<b>USD</b>	<b>Total costo</b>	<b>818.639</b>	<b>USD</b>

**Tabla 61***Análisis total del costo de cada estructura*

	<b>Costo (USD)</b>
Estructura con bloques Convencionales	762.99
Estructura con bloques con PET	818.64
Aumento (%)	7%

Analizando la estructura que tiene bloques con PET se tiene un 13% en reducción de peso respecto a la estructura con bloques convencionales, pero éste último tiene un costo de construcción de 7% menos.

Se aclara que los cálculos fueron hechos sin aplicar normas ecuatorianas de la construcción con el único propósito de analizar la reducción de secciones y costos en una estructura pequeña cuando se aplican bloques convencionales y bloques con material reciclable.

Aunque en esta pequeña estructura la aplicación de bloques con PET tiene un mayor costo, hay que tener en cuenta que en una construcción de gran magnitud se podrían abaratar precios.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Los resultados de los ensayos de compresión de bloques elaborados con PET demuestran que su resistencia varía de acuerdo al porcentaje de PET que se haya sustituido por arena, y para el efecto la mejor resistencia se obtuvo con el 25% de PET, equivalente a 59.12 kg/cm<sup>2</sup>.
- Los bloques elaborados con el 12.5% de PET y 25% con fibras de caucho de neumáticos tienen una resistencia neta a la compresión superior a los 40 kg/cm<sup>2</sup>, con lo que de acuerdo a la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 3066 pueden ser usados para mampostería no estructural.
- Los bloques elaborados con 50%, 62.5% y 81.25% de PET, no cumplen con la resistencia adecuada para ser empleados como tipo B, es decir como mampostería no estructural, sin embargo su resistencia es la adecuada para ser utilizados como tipo C, en alivianamientos para losas ya que la resistencia es la adecuada según la norma.
- El peso de los bloques elaborados con el 81.25% se redujo en un 40% en relación a los bloques convencionales, su apariencia es mejor en comparación a los existentes en el mercado, lo que permite un ahorro en los acabados de la mampostería.
- El bloque elaborado con el 25% de PET se redujo en un 10% en relación al peso del bloque elaborado por la comercializadora 2

- Los resultados obtenidos de la densidad en los bloques elaborados con el 25% ya sea con PET o fibras de caucho los ubica en bloques tipo mediano, de acuerdo a la clasificación dada por NTE INEN 3066
- No se pudo elaborar bloques con el 50% de fibras de caucho de neumáticos por cuanto no fue posible la correcta adherencia de los agregados finos con el cemento en la preparación del mortero.
- En referencia al costo de venta del bloque elaborado por la comercializadora 2 y el bloque elaborado con el 25% de Polietileno de Tereftalato (PET) se puede ver que el costo de este último se incrementa en un 6%.
- En los ensayos de compresión axial y tensión diagonal de muretes Los resultados obtenidos indican claramente que los muretes de bloques con PET fueron más resistentes en un 37% en el ensayo de compresión y en un 49% en el de tensión diagonal, soportando más carga y obteniendo un menor desplazamiento en la falla.
- La estructura que tiene bloques hechos con PET tiene un 13% menos en peso respecto a la estructura con bloques convencionales, sin embargo, éste último tiene un menor costo aproximadamente del 7%.

## **5.2 Recomendaciones**

- Para mejorar la resistencia de los bloques elaborados ya sea con PET o fibras de caucho de neumáticos se recomienda utilizar una máquina vibratoria o de volteo que pueda ejercer mayor compactación vertical al momento de elaborar los bloques, esto permitirá reducir el índice de vacíos de los agregados finos.

- Se recomienda que se cree una normativa en la cual se detalle el procedimiento correcto en la elaboración de bloques.
- Se recomienda ensayar por lo menos cinco muretes para el ensayo de compresión y tensión diagonal, para así obtener un mejor resultado.



## Bibliografía

- Alesmar, L., Rendón, N., & Korody, M. (2008). Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno(pet)-cemento. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 23(1). Recuperado el 07 de agosto de 2018, de [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652008000100006](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652008000100006)
- Alesmar, L., Rendón, N., & Korody, M. E. (Marzo de 2008). Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (pet)-cemento. *Scielo*, 1-19. Recuperado el 8 de Agosto de 2018, de [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652008000100006](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652008000100006)
- Alfonzo, A. (2016). Eco-Ladrillos a base de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso. (*Trabajo final de Grado-Investigación*). Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo.
- Almeida Salazar, N. G. (2011). Utilización de fibras de caucho de neumáticos reciclados en la elaboración de bloques de mampostería para mitigar el impacto ambiental en el cantón Ambato. *Trabajo estructurado de manera independiente previo a la obtención del título de ingeniería civil*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Tungurahua, Ecuador. Recuperado el 15 de Julio de 2018
- Angumba Aguilar, P. J. (2016). Ladrillos elaborados con plástico reciclado (PET), para mampostería no portante. *Tesis previa a la obtención del grado de magister en construcciones (MSc)*. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. Recuperado el 8 de Agosto de 2018, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25297>

- Angumba, P. (2016). Ladrillos elaborados con plástico reciclado (PET), para mampostería no portante. *Tesis de Magister en construcciones*. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Arrieta Freyre, J., & Peñaherrera Deza, E. (2011). *Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibradora*. Programa Científico PC-CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima. Recuperado el 7 de Agosto de 2018, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/proy8.pdf>
- ASTM 125. (2001). *Terminología relacionada con el concreto y agregados para el concreto*. Unites States: ASTM International. Recuperado el 13 de Agosto de 2018
- ASTM C136. (2001). *Método de ensayo normalizado para determinar el analisis granulométrico de los áridos finos y gruesos*. Washington , United States: ASTM International. Recuperado el 12 de Agosto de 2018, de <https://www.astm.org/>
- ASTM E447-92b. (1994). *Standard test method for compressive strenght of masonry prisms*. West Conshohocken : PA.
- ASTM E519-02. (2002). *Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Mansory Assemblages*. West Conshohocken: PA.
- Avilés, P. (2006). *Hormigones y caucho; posibilidades generales para el reciclaje de neumáticos usados*. Universidad de Alcalá, España.
- Demera Centeno, S. D., & Romero Rodríguez, B. J. (2018). Evaluación del uso de los residuos de cascarilla de arroz (*Oryza sativa* L.) como agregado en bloques para la construcción. *Trabajo de titulación previa la obtención del título de ingeniero en Medio Ambiente*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félizz López, Calceta,

Manabí, Ecuador. Recuperado el 14 de Julio de 2018, de <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/807/1/TTMA5.pdf>

ECO CAUCHO S.A. (13 de Junio de 2013). *ECO CAUCHO S.A.* Recuperado el 14 de Agosto de 2018, de Industria Recicladora de Caucho: <http://www.ecocaucho.com.ec/empresa>

EL Clarín. (28 de Agosto de 2007). Una casa hecha solamente con botellas de plástico. *Periódico El Clarín*.

Gaggino, R. (2008). Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción. *Revista INVI, vol. 23, num. 63, p. 137-147-163.*

Gamboa de León Regil, O. E. (2005). Optimización del proceso de fabricación de bloques de concreto del estándar 15x20x40 cm con grado de resistencia 28 Kg/cm<sup>2</sup>, caso específico fuerte-block máquinas #1 y #2. *Trabajo de graduación*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado el 30 de Julio de 2018

Hachi Quintana, J. G., & Rodríguez Mejía, J. D. (2010). Estudio de factibilidad para reciclar envases plásticos de Polietileno Tereftalato (PET), en la ciudad de Guayaquil. *Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Industrial*. Universidad Salesiana Sede Guayaquil, Guayaquil, Guayas, Ecuador. Recuperado el 8 de Agosto de 2018, de <https://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2450/20/UPS-GT000106.pdf>

Holcim Ecuador S.A. (2017). *Holcim Ecuador S.A.* Recuperado el 10 de Agosto de 2018, de Soluciones en Agregados: [http://www.solucionesholcim.com/es/pdfs/18\\_agregados.pdf](http://www.solucionesholcim.com/es/pdfs/18_agregados.pdf)

Juárez, M., Santiago, M., & Vera, J. (20 de Enero de 2010). Estudio de factibilidad para manufactura de empuladuras de PET reciclado. *e-Gnosis*, IX, 1-12. Recuperado el 8 de Agosto de 2018, de <http://148.202.248.167/ojs/index.php/e-gnosis/article/view/122/118>

López, M. (2017). *Gestión de residuos inertes*. Madrid: Editorial CEP S.L. Recuperado el 12 de Agosto de 2018, de <https://books.google.com.ec/books?id=a8U-DwAAQBAJ&pg=PA53&dq=análisis%20granulométrico%20de%20un%20agregado&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjQocbTr-jcAhXwp1kKHXS6CnMQ6AEIKzAB#v=onepage&q=análisis%20granulométrico%20de%20un%20agregado&f=false>

Maldonado Castro, M. A., & Medina Cajas, C. G. (2008). Diseño y construcción de una extrusora con capacidad de 1 kg/h, diseño del proceso y diseño del producto para el reciclaje mecánico del PET. *Tesis*. Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Sangolquí, Pichincha, Ecuador. Recuperado el 8 de Agosto de 2018, de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/286>

Mena, V., & Loera, S. (1972). *Guía para la fabricación y control de concreto en obras pequeñas*. Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado el 14 de Agosto de 2018, de <http://www.sitecal.com.bo/files/14.%20ENSAYO%20GRANULOMETRICO%20GRAVA-A-ARENA.pdf>

Modenese, P. (2015). *Manual de obra*. Quito: Editoria Don Bosco. Recuperado el 18 de 08 de 2018

- Moreno, R., & Cañizares, F. (2011). Agregado alternativo para fabricación de bloques y adoquines en base a Polítilen Tereftalato. *Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Civil*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado el 8 de Agosto de 2018, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3968>
- NTE INEN 152. (2012). *Cemento Portland. Requisitos*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización. Recuperado el 15 de Agosto de 2018
- NTE INEN 2380. (2011). *Cemento Hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización. Recuperado el 15 de Agosto de 2018
- NTE INEN 2528. (2010). *Cámaras de curado, gabinetes húmedos, tanques para almacenamiento en agua y cuartos para elaborar mezclas, utilizados en ensayos de cemento hidráulico y hormigón*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización. Recuperado el 19 de Agosto de 2018, de <http://181.112.149.204/buzon/normas/2528.pdf>
- NTE INEN 2619. (2012). *Bloques huecos de hormigón, unidades relacionadas y prismas para mampostería. Refrentado para el ensayo a compresión*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización. Recuperado el 19 de Agosto de 2018
- NTE INEN 3066. (2016). *Bloques de hormigón, requisitos métodos y ensayos*. Quito, Pichincha, Ecuador: Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN). Recuperado el 13 de Julio de 2018
- NTE INEN 696. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización. Recuperado el Agosto 12 de 2018

- Olivares Carmona, D. (2016). Plan de reciclaje de neumáticos de caucho, comercialización de miga de caucho. *Plan de negocios para postular al grado de Magister en Administración*. Universidad de Chile, Antofagasta, Chile. Recuperado el 12 de Agosto de 2018, de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/140906/Olivares%20Carmona%20Daniel.pdf?sequence=1>
- Pérez Oyola, J. C., & Arrieta Ballén, Y. L. (2017). Estudio para caracterizar una mezcla de concreto con caucho reciclado en un 5% en peso comparado con una mezcla de concreto tradicional de 3500 psi. *Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de ingeniero civil*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia. Recuperado el 12 de Agosto de 2018, de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15486/1/Tesis.pdf>
- Quiminet. (22 de Noviembre de 2005). *Quiminet*. Recuperado el 8 de Agosto de 2018, de Proceso de producción del PET: <https://www.quiminet.com/articulos/proceso-de-produccion-del-pet-2561170.htm>
- Quiminet. (Septiembre de 22 de 2012). *Quiminet*. Recuperado el 14 de Agosto de 2018, de Polímeros de adición: el caucho natural y el caucho sintético: <http://www.quimitube.com/polimeros-de-adicion-el-caucho-natural-y-el-caucho-sintetico>
- Quito, R., & Villafuerte, E. (2011). Planta de reciclado polietilentereftalato. *Tesina de investigación previo a la obtención del título de ingeniero químico*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Guayas, Ecuador. Recuperado el 8 de Agosto de 2018, de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/4681/1/T176.pdf>

- Reglamento Nacional de Construcción RCN. (2017). *Norma mínima de diseño y construcción de mampostería* (Vol. 1). Managua, Nicaragua. doi:[https://www.mti.gob.ni/images/stories/Documentos/Norma%20Minima%20Mamposteria\\_MTI.pdf](https://www.mti.gob.ni/images/stories/Documentos/Norma%20Minima%20Mamposteria_MTI.pdf)
- Reynolds, M. (1990). *Earthship. How to build your own*, Vol 1. Taos: Solar Survival Architecture Press.
- Robalino, C., Peñaherrera, L., Tito, D., & López, M. (2015). Estudio de las propiedades mecánicas de mampostería de bloques de hormigón en edificaciones del Valle de los Chillos que iniciaron su construcción durante el año 2014. *Revista CIENCIA*, 147-157. Recuperado el 30 de Agosto de 2018, de <https://ia801304.us.archive.org/6/items/Articulo8/Art%C3%ADculo%20%2811%29.pdf>
- Röben, E. (2013). *El reciclaje: oportunidades para reducir la generación de los desechos sólidos y reintegrar materiales recuperables en el círculo económico*. Municipio de Loja, DED (Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica), Loja. Recuperado el 8 de Agosto de 2018, de [http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/3residuos/d3/062\\_reciclaje/reciclaje.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/3residuos/d3/062_reciclaje/reciclaje.pdf)
- Rocas y Minerales. (3 de Febrero de 2018). *Rocas y Minerales*. Recuperado el 2 de Agosto de 2018, de Rocas y Minerales: <https://www.rocasyminales.net/mamposteria/>
- Ruiz, D., López, C., Cortes, E., & Froese, A. (2012). Nuevas alternativas en la construcción: botellas PET con relleno de tierra. *Apuntes*, 292-303.

Salcedo, M. (2006). *Concreto de alto desempeño*. Bogotá-Colombia: Colección "Punto Aparte".

Recuperado el 13 de Agosto de 2018, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/975/MU%C3%91IZRODRIGUEZ.pdf?sequence=1>

Sánchez, C., Peña, J., & Rico, L. (2018). Identificación de los usos actuales del tereftalato de polietileno (PET) reciclado en la Ingeniería Civil. *Análisis sísmico de Literatura*. Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio.

Semana Sostenible. (20 de Octubre de 2013). *Semana Sostenible*. Recuperado el 8 de Agosto de 2018, de PET un plástico amigable pero no inofensivo: <https://sostenibilidad.semana.com/negocios-verdes/articulo/plastico-pet-un-amigable-pero-no-inofensivo/36282>

Tecnología del plástico. (Abril de 2016). *Tecnología del plástico*. Recuperado el 13 de Agosto de 2018, de Técnicas para una dosificación adecuada: <http://www.plastico.com/temas/Tecnicas-para-una-dosificacion-adecuada-de-materiales+112239>

Urra Carrasco, I. D. (2006). Hormigón con caucho: determinación del módulo de elasticidad. *Tesis para optar al Título de Constructor Civil*. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Recuperado el 10 de Agosto de 2018, de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfciu.81h/doc/bmfciu.81h.pdf>



Valle, C. (2013). Utilización de botellas plásticas tipo PET como unidad estructural para la mampostería liviana. *Tesis de Grado*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.