UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Propuesta de utilización de unidades de albañilería ecosostenibles y
económicas de tipo modular con componente plástico PET para la
construcción de viviendas en Arequipa

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Huerta Paulino, Brigitte Rodhy (0000-0001-9907-1113)

Palacios Quico, Diana Katherine (0000-0003-1008-3850)

ASESOR

Eyzaguirre Acosta, Carlos Augusto (0000-0001-9769-2135)

Lima, 07 de Octubre del 2020

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis a nuestros padres, quienes nos apoyaron en todo momento incondicionalmente. y a Dios, quien fue forjador de nuestro camino.

RESUMEN

La industria de la construcción es un sector altamente contaminante debido tanto a los procesos que en él se realizan como a los residuos o desechos que se generan. Asimismo, este es considerado tradicionalista por la aplicación de procedimientos y metodologías que no cambian a través del tiempo y que generalmente son las que generan mayor cantidad de contaminantes. Esto, a su vez, no ha permitido los costos de elaboración sean más óptimos o que las estructuras sean más resistentes a los esfuerzos a los que son sometidas. Por ello, en este trabajo de investigación se ha propuesto la utilización de plástico PET para la elaboración de 1 unidad de albañilería apilable. Primeramente, se ejecutaron las dosificaciones 1:1 y 1:2 (Cemento y Arena) con diferentes porcentajes de plástico PET en unidades con características físicas similares a los ladrillos comúnmente utilizados en Arequipa. Estas fueron analizadas experimentalmente en un laboratorio en la ciudad de Arequipa mediante los ensayos de resistencia a la compresión, variación dimensional, alabeo y absorción. Posteriormente, con la dosificación más óptima y la unidad de albañilería modular seleccionada se hicieron las mismas pruebas para su análisis y se realizó un murete de aproximadamente 1m de lado. Finalmente, se realizó el análisis sobre el impacto ambiental que genera reutilizar el plástico desechable PET en la elaboración de bloques de concreto y se desarrollaron comparaciones en propiedades mecánicas y físicas, peso y costo, mostrando que la unidad de albañilería modular propuesta es, en muchos casos, más óptima.

Palabras Claves: Sector construcción; sostenibilidad; impacto ambiental; unidades de albañilería apilables; ladrillos.

Proposal for the use of eco-sustainable and economic masonry units of modular type with
PET plastic component for the construction of green houses in Arequipa

ABSTRACT

The construction industry is a highly polluting sector due to both the processes that are carried out in it and the waste or waste that is generated. Likewise, this is considered traditionalist because of the application of quite a few procedures and methodologies that do not change over time and that generally generate the most pollutants. This, in turn, has not allowed manufacturing costs to decrease or manufacturing times to be more optimal or for structures to be more resistant to the stresses they are subjected to. For that reason, in this research work the use of PET plastic has been proposed for the preparation of 1 stackable masonry unit. Firstly, 1:1 and 1:2 dosages (Cement and Sand) were executed with different percentages of PET plastic in bricks with physical characteristics similar to the units commonly used in Arequipa. These were analyzed experimentally in a laboratory in Arequipa through the tests of resistance to compression, dimensional variation, warping and water absorption. Subsequently, with the most optimal dosage and the selected modular masonry unit, the same tests were made for analysis and, also, a wall of approximately 1x1m square. Finally, the analysis of the environmental impact generated by reusing the PET disposable plastic in concrete blocks and the properties granted by it was performed and comparisons were developed in mechanical and physical properties, weight and cost, showing that the proposed modular masonry unit is, in many cases, more optimal.

Keywords: Construction sector; sustainability; environmental impact; stackable masonry units; bricks.

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS	4
Índice de Tablas	7
Índice de Figuras	10
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Realidad Problemática	3
1.3 Formulación del Problema	8
1.4 Objetivo General	8
1.4.1 Objetivos Específicos	8
1.5 Descripción del Contenido	8
2 MARCO TEÓRICO	10
2.1 Ladrillos Tradicionales Usados en Arequipa	10
2.2 Costo y Rendimiento de la mano de obra en el Perú para la construcción de un muro de ladrillos King Kong y pandereta.	12
2.3 Polímero PET	13
2.4 Clasificación de las formas de las unidades de albañilería	15
2.5 Unidad de albañilería tipo modular	17
2.6 Ensayos de laboratorio	18
2.6.1 Ensayos clasificatorios de la unidad de albañilería	18
2.6.2 Ensayo de Absorción	20
2.7 Resultados de otras investigaciones en las que se analizaron unidades de albañilería con PET	20
2.8 Metodologías de evaluación de Impacto Ambiental	22
3 DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA	24
3.1 Preparación de la materia prima	24
3.1.1 Plástico PET	24
3.1.2 Arena	25
3.1.3 Cemento	26
3.2 Diseño de la mezcla para las dosificaciones planteadas	27
3.3 Preparación de las mezclas	32
	IV

4	ENSAYOS A LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA CON LA FORMA TRADICIONAL	36
4.1	Ensayos Clasificatorios	36
4.1.1	Ensayo de Resistencia a la compresión	36
4.1.2	Ensayo de Variación Dimensional	50
4.1.3	Ensayo de Alabeo	54
4.2	Ensayo de Absorción	57
4.3	Determinación de Dosificación Óptima	59
5	FORMAS PLANTEADAS DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA TIPO MODULAR	61
6	ELABORACIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA PROTOTIPOS	65
6.1	Preparación De La Materia Prima	65
7	ENSAYOS DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA MODULAR	68
7.1	Ensayos clasificatorios	68
7.1.1	Ensayo de Resistencia a la Compresión	68
7.1.2	Ensayo de Variación Dimensional a ladrillo modular	70
7.1.3	Ensayo de Alabeo	74
7.2	Ensayo de Absorción	75
8	ELABORACIÓN DE MURETE	78
8.1	Construcción del murete	78
8.2	Resultados de la elaboración del murete	79
9	RESULTADOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA	81
9.1	Propiedades mecánicas	81
9.1.1	Resistencia a la Compresión	81
9.2	Propiedades físicas	81
9.2.1	Variación de Dimensión	81
9.2.2	Alabeo	82
9.2.3	Peso	83
9.2.4	Absorción	84
9.3	Impacto ambiental	84

9.4	Costos	88
10	CONCLUSIONES	95
11	RECOMENDACIONES	99
12	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
ANEXOS		108
ANEXO 1		108
ANEXO 2		109
ANEXO 3		111
ANEXO 4		123
ANEXO 5		134

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.</i> Valor Agregado Bruto	7
<i>Tabla 2.</i> Rendimientos mínimos para la construcción de un muro de ladrillos King Kong y pandereta	13
<i>Tabla 3.</i> Propiedades fisicoquímicas del Teraftalato de Polietileno.....	14
<i>Tabla 4.</i> Propiedades fisicomecánicas del Teraftalato de Polietileno.....	15
Fuente: Barragan, A. et al. (2001) Ecobloque estructural para vivienda de interés rural: Un aporte para las comunidades del Alto Magdalena-Colombia	15
<i>Tabla 5.</i> Clasificación de los bloques de concreto según las normas INANTIC N° 339-005 y 339-06 (1992).....	15
<i>Tabla 6.</i> Dimensiones modulares según las normas INANTIC N° 339-005 y 339-06	16
<i>Tabla 7.</i> Clase de unidad de albañilería para fines estructurales	18
<i>Tabla 8.</i> Granulometría de los agregados	25
<i>Tabla 9.</i> Dosificaciones de PET en la unidad de albañilería de concreto.....	27
<i>Tabla 10.</i> Datos iniciales de las unidades de albañilería (1:1).....	28
<i>Tabla 11.</i> Datos iniciales de las unidades de albañilería (1:2).....	29
<i>Tabla 12.</i> Datos del ensayo de absorción al agregado fino.....	31
<i>Tabla 13.</i> Datos corregidos de las unidades de albañilería (1:1)	31
<i>Tabla 14.</i> Datos corregidos de las unidades de albañilería (1:2)	32
<i>Tabla 15.</i> Medidas de especímenes con la forma de la unidad de albañilería tradicional	33
<i>Tabla 16.</i> Datos de ensayo de resistencia a la compresión dosificación 1:1 a los 7 días	37
<i>Tabla 17.</i> Datos de ensayo de resistencia a la compresión dosificación 1:1 a los 14 días	41
<i>Tabla 18.</i> Datos de ensayo de resistencia a la compresión dosificación 1:2 a los 14 días	45
<i>Tabla 19.</i> Dimensiones de las unidades de albañilería planteadas	51
<i>Tabla 20.</i> Datos de las dimensiones de los especímenes 1:1 para 5% PET.....	51
<i>Tabla 21.</i> Resumen de las variaciones de dimensión (1:1) por cada porcentaje de PET	51
<i>Tabla 22.</i> Datos de las dimensiones de los especímenes 1:1 para 5% PET.....	53
<i>Tabla 23.</i> Resumen de las variaciones de dimensión (1:2) por cada porcentaje de PET	53
<i>Tabla 24.</i> Resumen de alabeo cóncavo y convexo según dosificación (1:1).....	55
<i>Tabla 25.</i> Resumen de alabeo cóncavo y convexo según dosificación (1:2).....	56
<i>Tabla 26.</i> Resumen absorción según dosificación 1:1	58
<i>Tabla 27.</i> Resumen absorción según dosificación 1:1	58
<i>Tabla 28.</i> Resumen de resultados de los ensayos clasificatorios según dosificación 1:1	59

<i>Tabla 29.</i> Resumen de resultados de los ensayos clasificatorios según dosificación 1:2.....	60
<i>Tabla 30.</i> Medidas de la unidad de albañilería modular	66
<i>Tabla 31.</i> Datos de ensayo de esfuerzo a la compresión en ladrillo modular a 7 días	69
<i>Tabla 32.</i> Datos de ensayo de esfuerzo a la compresión en ladrillo modular a 28 días	70
<i>Tabla 33.</i> Datos de la unidad de albañilería modular	71
<i>Tabla 34.</i> Datos de variación de la longitud en la unidad de albañilería modular con 13% PET 1:2	72
<i>Tabla 35.</i> Datos de variación de la altura 1 en la unidad de albañilería modular con 13% PET 1:2	72
<i>Tabla 36.</i> Datos de variación de la altura 2 en la unidad de albañilería modular con 13% PET 1:2	73
<i>Tabla 37.</i> Datos de variación del ancho en la unidad de albañilería modular con 13% PET 1:2	74
<i>Tabla 38.</i> Datos de variación cóncava y convexa para Unidad de albañilería modular 13% PET 1:2	75
<i>Tabla 39.</i> Tabla de absorción a unidad de albañilería modular 13% PET 1:2.....	76
<i>Tabla 40.</i> Datos de tiempo de ejecución para elaboración de murete	79
<i>Tabla 41.</i> Datos de cantidad de unidades de albañilería para elaboración de murete	79
<i>Tabla 42.</i> Datos de la elaboración del mortero	80
<i>Tabla 43.</i> Unidad de albañilería propuesta, el bloque de concreto, el ladrillo King Kong industrial y artesanal según su resistencia	81
<i>Tabla 44.</i> %V presentado para la unidad de albañilería propuesto y el tradicional.....	82
<i>Tabla 45.</i> Concavidad y convexidad en la unidad de albañilería propuesto.....	82
<i>Tabla 46.</i> Datos de las dimensiones de la unidad de albañilería modular propuesto	83
<i>Tabla 47.</i> Peso específico de las unidades de albañilería analizados	84
<i>Tabla 48.</i> Porcentaje de absorción de diferentes unidades de albañilería.....	84
<i>Tabla 49.</i> Proceso de elaboración de unidad de albañilería.....	85
<i>Tabla 50.</i> Impacto ambiental en la elaboración de ladrillo KK artesanal.....	86
<i>Tabla 51.</i> Dióxido de carbono producido en la elaboración de ladrillos	86
<i>Tabla 52.</i> Impacto ambiental en la elaboración de bloque de concreto.....	87
<i>Tabla 53.</i> Impacto ambiental en la elaboración de unidad de albañilería modular con plástico PET	87
<i>Tabla 54.</i> Impacto ambiental en la elaboración de ladrillo KK artesanal.....	88

<i>Tabla 55.</i> Proporciones de los materiales para una unidad de albañilería modular.....	89
<i>Tabla 56.</i> Análisis de precio unitario de unidades de albañilería con plástico PET	90
<i>Tabla 57.</i> Proporciones de los materiales para una unidad de albañilería tradicional	90
<i>Tabla 58.</i> Análisis de precio unitario del concreto sin plástico PET	91
<i>Tabla 59.</i> Análisis de costo unitario para un murete con ladrillo King Kong	92
<i>Tabla 60.</i> Análisis de costo unitario para murete con la unidad de albañilería propuesto	93

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Conjunto de pared propuesto por gravedad y terremoto cargas. (A) En el plano y (b) fuera de plano de las direcciones.	3
<i>Figura 2.</i> Composición física de residuos sólidos de ámbito urbano	6
<i>Figura 3.</i> Composición física de residuos sólidos de ámbito rural.....	6
<i>Figura 4.</i> Ladrillo industrial King Kong (18 huecos).....	11
<i>Figura 5.</i> Ladrillo Pandereta.....	11
<i>Figura 6.</i> Ladrillo de techo 30x30	12
<i>Figura 7.</i> Composición química del PET	13
<i>Figura 8.</i> Ladrillo Pandereta.....	16
<i>Figura 9.</i> Ladrillo King Kong 18 Huecos.....	17
<i>Figura 10.</i> Bloques de concreto.....	17
<i>Figura 11.</i> Plástico PET triturado de la Planta de Reciclaje de Yanahuara	24
<i>Figura 12.</i> Agregado fino de la cantera de Miguel Grau.....	25
<i>Figura 13.</i> Curva granulométrica del agregado fino obtenida después de realizado el ensayo	26
<i>Figura 14.</i> Cemento Portland Tipo IP de la empresa Yura	27
<i>Figura 15.</i> Ensayo de cono para condiciones saturadas	29
<i>Figura 16.</i> Fiola siendo llenada con agua hasta que la misma llegue a la marca	30
<i>Figura 17.</i> Peso de la Fiola más el agua	30
<i>Figura 18.</i> Molde metálico para los especímenes con forma de la unidad de albañilería tradicional	33
<i>Figura 19.</i> Vibración de la mezcla en la mesa vibratoria	34
<i>Figura 20.</i> Parte de las muestras realizadas para el desarrollo del primer objetivo	34
<i>Figura 21.</i> Muestras realizadas para el desarrollo del primer objetivo después del curado a los 7 y 14 días	35
<i>Figura 22.</i> Especímenes preparados con cobertura superior e inferior de yeso	36
<i>Figura 23.</i> Máquina de compresión hidráulica.....	37
<i>Figura 24.</i> Gráfico de esfuerzo compresión 7 días (1:1).....	41
<i>Figura 25.</i> Gráfico de esfuerzo compresión 14 días (1:1).....	45
<i>Figura 26.</i> Gráfico de esfuerzo compresión a los 14 días (1:2).....	49
<i>Figura 27.</i> Medición de espécimen para el ensayo de Variación Dimensional, en la parte superior se realiza la medición de la altura y en la parte inferior, el ancho.....	50

<i>Figura 28. Variación de dimensión 1:1</i>	<i>52</i>
<i>Figura 29. Variación de dimensión 1:2</i>	<i>54</i>
<i>Figura 30. Procedimiento de ensayo de alabeo</i>	<i>55</i>
En la Figura 31 y Figura 32, se muestran 2 gráficos de barra para la dosificación 1:1 y 1:2 respectivamente que nos permitieron comparar los resultados de concavidad y convexidad para cada porcentaje.....	56
<i>Figura 31. Alabeo 1:1</i>	<i>56</i>
<i>Figura 32. Alabeo 1:2.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 33. Especímenes en el horno para su secado</i>	<i>57</i>
<i>Figura 34. Dimensiones de la unidad de albañilería de enclavamiento</i>	<i>62</i>
<i>Figura 35. Ladrillo de concreto 2HH</i>	<i>63</i>
<i>Figura 36. Ejemplo de ensamblaje</i>	<i>63</i>
<i>Figura 37. Molde de la unidad de albañilería modular</i>	<i>65</i>
<i>Figura 38. Enrasado de la mezcla en el molde con forma modular</i>	<i>66</i>
<i>Figura 39. Ladrillo de enclavamiento después del desmolde.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 40. Ladrillos de enclavamiento con cobertura de yeso</i>	<i>68</i>
<i>Figura 41. Ensayo de compresión en unidad de albañilería modular.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 42. Medición de las unidades de albañilería modulares. En la parte superior, la medición de la altura desde la base hasta la superficie sin arista y en la parte inferior el ancho</i>	<i>71</i>
<i>Figura 43. Medidas de la unidad de albañilería modular propuesta.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 44. Especímenes modulares en el horno para el secado</i>	<i>76</i>
<i>Figura 45. Ensayo de Absorción en unidad de albañilería modular 13% PET 1:2</i>	<i>77</i>
<i>Figura 46. Elaboración de murete con unidad de albañilería propuesto</i>	<i>78</i>
<i>Figura 47. Murete de 1x1 m² compuesto por unidades de albañilería modulares</i>	<i>80</i>
<i>Figura 48. Dimensión definida para la unidad de albañilería propuesto.....</i>	<i>83</i>

1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo, se expondrán algunas investigaciones realizadas alrededor del mundo con respecto a la elaboración de unidades de albañilería con materiales sostenibles y resistentes a acciones sísmicas. Asimismo, se plantearán las razones por las que la industria de construcción es un medio altamente contaminante y cómo se distribuyen los costos de construcción en el Perú. Finalmente, se formularán los objetivos del presente trabajo de investigación, así como la descripción de lo que se realizó para cumplir con los mismos.

1.1 Antecedentes

En el Perú y en otros países del mundo se han realizado varios estudios a unidades de albañilería sostenibles para la construcción de edificaciones más resistentes y amigables con el medio ambiente. De esta forma, uno de los autores que desarrolló una investigación relacionada a tal tema fue Echeverría (2017) quien realizó un estudio para la determinación de propiedades de unidades con cierto porcentaje de plástico PET añadido, así, en tal proyecto describe las propiedades físico mecánicas del bloque de concreto vibrado con plástico PET reciclado mediante ensayos de compresión para cada unidad de albañilería, resistencia a corte de muretes, resistencia a la compresión de su formación en pilas y resistencia del mortero, para unidades de concreto con 3%, 6% y 9% de plástico PET añadido. Obteniendo como conclusiones las siguientes:

- La variación dimensional, contenido de humedad, porcentaje de vacíos y alabeo no varía sustancialmente comparado con la unidad de albañilería patrón (0% PET).
- Las propiedades físicas de succión y absorción aumentan a medida que se incluye PET en la mezcla.
- El peso unitario volumétrico disminuye un máximo de 14% comparado con la unidad de albañilería con 0% PET.
- La resistencia a la compresión de cada muestra con plástico PET añadido fue menor a la de la unidad de albañilería sin plástico, siendo clasificados los primeros como de Clase III y la unidad patrón (0% PET) como unidad de albañilería Clase IV.
- Las pilas de unidades de albañilería de concreto vibrado proporcionaron resistencias a compresión axial que cumplen con los valores referenciales de la norma E.070:2006.

- Los muretes de conformados por los mismos, proporcionaron resistencias a corte superando los valores de diseño estructural estipulados en la norma E.070:2006.
- El mortero tuvo una resistencia similar a la de las unidades de albañilería y se clasificó como mortero P₂.

Asimismo, en Colombia se realizó un proyecto de investigación de tipo experimental desarrollado por Molina, Vizcaino & Ramírez (2007), en el que se estudió las características físico-mecánicas de unidades de albañilería elaboradas con plástico reciclado en el municipio de Acacías. Estas, estaban compuestas por 70% de PET y 30% de polietileno de alta densidad, obteniendo como resultados los siguientes: las unidades fabricadas eran livianas, permitían una baja propagación de llamas y tenían buenas propiedades como aislantes térmicos. También, se concluyó que poseían un bajo porcentaje de absorción de agua, eran resistentes a la rotura al ser sometidos a esfuerzos de flexión y, además, eran económicos debido a que el costo del plástico reciclado era económico y no se requería de mano de obra calificada para la fabricación de los mismos.

Por otro lado, alrededor del mundo existen países en los que se crean y aplican sistemas constructivos innovadores, los cuales poseen mejores características y propiedades que los tradicionales, ya que en algunos casos son más económicos y resistentes. En este sentido, en Nueva Zelanda se realizó un estudio en el que el autor propone la construcción sin mortero, capaz de reducir el impacto durante un evento sísmico (absorbe la energía sísmica) y se considera para la vivienda sísmica resistente, se trata sobre bloques de enclavamiento desarrollados por Ali, Gultom & Chouw (2012). En tal estudio, se realizó un ensayo para el bloque propuesto cuyo objetivo era determinar las capacidades de compresión y de cizalladura de los bloques entrelazados (Figura 1). Esto con el fin de proponer otra opción novedosa al sector de construcción con nuevas propiedades que ayudarían a mejorar la calidad de las viviendas.

Figura 1. Conjunto de pared propuesto por gravedad y terremoto cargas. (A) En el plano y (b) fuera de plano de las direcciones.

Fuente: Ali, M., Jansen, R. et al. (2012) Capacity of innovative interlocking blocks under monotonic loading

Sin embargo, en Perú existen escasos estudios experimentales de sistemas constructivos innovadores que permiten la aplicación de materiales ecológicos, es decir no es común la realización de ensayos de prototipos sustentables para la construcción que garanticen su correcto funcionamiento en el país. Por tal razón, en el presente trabajo de investigación se pretende proponer unidades de albañilería apilables que puedan ser aplicadas en el Perú y sean sostenibles.

1.2 Realidad Problemática

El sector de la construcción es considerado mundialmente como una de las principales fuentes de contaminación medioambiental, pues produce enormes efectos negativos en el medio ambiente, ya sea directa o indirectamente, debido a la extracción de materias primas, vertido de residuos, menor productividad laboral, efectos adversos para la salud humana debido a la mala calidad del aire interior, calentamiento global, lluvia ácida y smog causado por las emisiones generadas por la fabricación de productos para la construcción y el transporte que consume energía (Enshassi, Kochendoerfer, Bernd & Rizq, 2014). Además, el material principal para la elaboración de la unidad de albañilería tradicional es la arcilla, la cual es un material limitado que es extraído del suelo generando deterioro.

Actualmente, la industria de la construcción presenta un carácter tradicionalista con gran dificultad para incorporar cambios en sus procedimientos. Esto debido a la costumbre de trabajar de la misma manera durante años, contemplando su metodología como el único camino viable para terminar su producto. Esta deja muchos desperdicios y, por lo tanto, tiene un gran número de contaminantes. Así, en países en vías de desarrollo como México, se siguen utilizando prácticas ancestrales en las actividades de producción de ladrillo, las cuales generan daños al medio ambiente, como es el hecho de utilizar sistemas de combustión; generadores de grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂); el cual, de los gases causantes del calentamiento global, es el más abundante y el que más contribuye al efecto invernadero. Además, los resultados de un estudio exploratorio indican que los factores ambientales más importantes impactados de manera negativa, son el de la calidad del aire por contaminación a la atmósfera debida al tipo de combustible y al ineficiente sistema de cocción de los ladrillos, y el de la geomorfología y erosión de los suelos, debido a que este sirve para la extracción de la materia prima principal (arcilla) para la elaboración del ladrillo (Gómez, Farrera, López, Domínguez & Moreira, 2017).

Sin embargo, se está generando una tendencia creciente por utilizar materiales de construcción no convencionales, buscando soluciones a problemas sentidos de la sociedad (Salazar, 2005). En este sentido, uno de estos problemas es el exceso de materiales de desecho provenientes de los domicilios, del sector comercial, del sector industrial, de los espacios públicos, de los centros de salud, de los procesos de construcción, etc. Por esa razón, se han desarrollado, a nivel mundial, políticas medioambientales que promueven prácticas sustentables como el reciclaje y la reutilización de tales desperdicios. A pesar de ello, en la actualidad, la construcción o arquitectura sostenible no es una práctica común en el Perú. La mayoría de los arquitectos prefiere seguir la propuesta ‘modernista’ (De Vries & Miranda, 2006). Es decir, se tiende a construir viviendas de material “noble”, en otras palabras, hechas con arcilla y concreto, disminuyendo significativamente el uso de materiales ecológicos como el adobe y la quincha. Sin embargo, antiguamente la construcción era muy sostenible, al menos en un sentido ambiental. Los volúmenes de construcción eran limitados y los materiales eran extraídos de lugares cercanos. A excepción del uso de leña, no se utilizaron otras fuentes de energía (De Vries & Miranda, 2006).

Así, en ciudades como Arequipa, tanto la tendencia moderna de construcción como el aumento de la población urbana y la falta de interés por parte del Estado para cubrir el déficit de

viviendas y proponer iniciativas de edificaciones con calidad, han provocado que exista la dificultad de llevar adelante un proceso de producción de viviendas que disponga de las condiciones técnicas, económicas y organizativas, (...), haciendo uso de las tecnologías modernas las cuales proporcionen las medidas adecuadas para que la vivienda sea auto sostenible (Santa María, 2008). Ello contribuye a que las principales fuentes de emisión contaminantes puntuales en 23 distritos de la provincia de Arequipa sean partículas en suspensión y dióxido de azufre, siendo estas emitidas principalmente por las actividades de fabricación de productos cerámicos para la construcción y la fabricación de cemento, esto fue determinado por DIGESA en el 2005 en su Primer Inventario Local de Emisiones para la cuenca atmosférica de la ciudad de Arequipa (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2017).

Asimismo, existe una gran preocupación por la generación, gestión y disposición final de los residuos sólidos en Arequipa. Esto, debido a que el aumento poblacional tanto en las zonas urbanas como rurales ha causado el incremento de la producción de desechos, llegando a generarse 736.09 toneladas por día en 29 distritos. Asimismo, no existe una correcta planificación con respecto a la prestación del servicio de limpieza pública ni una implementación de fiscalización para que se puedan realizar mejoras sostenibles en la prestación del servicio. Finalmente, los residuos sólidos son eliminados en botaderos a cielo abierto, en los cuales solo se practica la quema y recuperación informal de residuos con consecuencias sanitarias y ambientales negativas, y en la infraestructura de propiedad de la Municipalidad Provincial de Arequipa, la cual aún no es considerada como relleno sanitario (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2017).

Según las gráficas mostradas en la 0 y Figura 3, se puede apreciar que los desechos de plástico PET con respecto a la cantidad total de residuos sólidos generados en las zonas urbana y rural, son de 1.99% y 1.32% respectivamente (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2017). Estas cifras parecen poco significativas, sin embargo, al realizar el cálculo del valor en toneladas por día de plástico PET desechado en 29 distritos de Arequipa se aprecia un aproximado de 14 toneladas, el cual es un valor significativo y que en su mayoría no es reutilizado, a pesar de que el plástico es totalmente reciclable, ya que actúa como barrera para los gases (CO_2 y O_2), es transparente y cristalino, irrompible, liviano, impermeable, resistente a esfuerzos permanente y al desgaste (Martínez & Cote, 2014).

Figura 2. Composición física de residuos sólidos de ámbito urbano

Fuente: Municipalidad Provincial de Arequipa (MPA) (2017) Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos (PIGARS) de la provincia de Arequipa

Figura 3. Composición física de residuos sólidos de ámbito rural

Fuente: Municipalidad Provincial de Arequipa (MPA) (2017) Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos (PIGARS) de la provincia de Arequipa

Por otro lado, con respecto al desempeño de la actividad constructora en el Perú, el INEI (2019) nos muestra en la Tabla 1 que en los años 2018 y 2019 ha existido crecimiento del valor agregado bruto en el sector de construcción con respecto al año anterior al evaluado, sin

embargo, si bien los valores nos muestran un panorama positivo para el sector en los últimos 5 trimestres analizados, estos no llegan alcanzar los niveles del 2012 y 2013 para el mismo periodo, cuyos valores ascendían hasta un 19.7.

Tabla 1. Valor Agregado Bruto

Actividad	2018/2017					2019/2018
	I Trim.	II Trim.	III Trim.	IV Trim.	Año	I Trim.
Construcción	4,9	7,4	1,1	7,9	5,4	1,8

Fuente: INEI (2019) Comportamiento de la Economía Peruana en el Primer Trimestre de 2019¹

Por esa razón, CAPECO (2019) presentó en el “Informe Económico de Construcción” diversos factores por las que las actividades de construcción se han ralentizado, entre ellas se encuentran: el precio de construcción, inversión pública y privada, y la vivienda social. Con respecto al primer enfoque, en el caso de la mano de obra, los salarios en la construcción han subido hasta un 45.2% hasta enero del 2019 desde el año 2009, siendo este el rubro que más se ha incrementado en este periodo de tiempo.

En este sentido, cabe destacar que, en la ciudad de Arequipa del costo total por metro cuadrado construido, la mitad es para pagar los materiales de construcción, el 40% corresponde al costo de la mano de obra incluyendo la instalación de servicios y el 10% es la utilidad que recibe el propietario del proyecto de construcción (La República, 2012). Esto quiere decir que el pago por los servicios realizados por personal como el operario, oficial y peón representa un porcentaje significativo en el costo de construcción, siendo el pago neto semanal de tal mano de obra, dependiendo de la época del año, de aproximadamente 827, 656 y 593 soles respectivamente (CONAFOVICER, 2019). Así, un proceso constructivo que disminuya tales costos mediante la reducción de personal y disminución del tiempo de construcción influiría de manera relevante en el gasto total de un proyecto de construcción.

Finalmente, en Arequipa existe un problema social latente, el cual es el crecimiento demográfico, la migración y el aumento económico en el sector de la construcción. La tasa de crecimiento anual en Arequipa ronda entre 1.6% aproximadamente según PDC, JB y R (2011). Esto provoca que incremente más la necesidad de proyectos de vivienda y la expansión de las construcciones en áreas agrícolas y yermos. Asimismo, la forma de construcción se ha

¹ Variación porcentual del índice de volumen físico respecto al mismo periodo del año anterior.

desarrollado a través del tiempo con nuevas mejoras que, en los últimos tiempos, ha aumentado la construcción vertical y no solo el crecimiento horizontal.

1.3 Formulación del Problema

¿Es posible elaborar nuevas unidades de albañilería ecosostenibles que optimicen el proceso de construcción en costo, y posean mejores propiedades físicas y mecánicas para la construcción de viviendas en Arequipa?

1.4 Objetivo General

Elaborar nuevas unidades de albañilería ecosostenibles de tipo modular con componente plástico PET y determinar los beneficios de su utilización para el medio ambiente, en el proceso constructivo con respecto al costo, y en las propiedades físicas y mecánicas para la construcción de viviendas en Arequipa.

1.4.1 Objetivos Específicos

- Determinar la dosificación de la unidad de albañilería de concreto con componente PET con mejores propiedades físicas y mecánicas.
- Determinar la forma de la unidad de albañilería tipo modular que se ensayará.
- Elaborar y ensayar las unidades de albañilería con componente plástico PET tipo modular con la dosificación más óptima definida para determinar su resistencia a la compresión, variación dimensional, alabeo y absorción.
- Elaborar murete con la unidad de albañilería modular con componente plástico PET con dosificación óptima.
- Analizar las propiedades físicas y mecánicas, costo e impacto ambiental de la unidad de albañilería seleccionada.

1.5 Descripción del Contenido

El proyecto de investigación propuesto es del tipo exploratorio, es decir, en base a la información recolectada sobre las necesidades constructivas en Arequipa y las posibles soluciones aplicadas por diferentes profesionales a situaciones similares, se formuló una hipótesis. Así, se presentarán, inicialmente, investigaciones relevantes, en las que se estudiaron unidades de albañilería sostenibles para disminuir el impacto en el medio ambiente de la industria de la construcción. Asimismo, se explicará, a grandes rasgos, la problemática

medioambiental en el mundo y en la ciudad de Arequipa debido a la construcción de edificaciones con materiales nocivos para el medio ambiente y a la falta de una gestión adecuada por parte del gobierno para evitar que los desechos producidos en 29 distritos de Arequipa sean dispuestos en botaderos informales en su mayoría. Además, se hablará sobre la influencia significativa del costo de la mano de obra en el desempeño de la actividad constructiva y la necesidad de mejorar la resistencia de las unidades de albañilería debido al incremento de actividad sísmica. Posteriormente, se describirán los ladrillos que son más utilizados en la ciudad de Arequipa, así como el costo y rendimiento de la mano de obra en el Perú para la construcción de tabiquería o muros divisorios con las unidades mencionadas. También, se mostrarán las características más importantes del plástico PET que servirá como componente para la elaboración de las unidades de albañilería modular sostenible propuestas y se presentarán las características de los mismos.

Con respecto al procedimiento experimental, se ensayarán 2 diferentes dosificaciones, 1:1 y 1:2 (Cemento/Agregado) teniendo en cuenta la variación de % de Plástico PET y la relación cemento/Agregado, de las cuales se escogerá la que tenga las propiedades más óptimas. Los porcentajes de plástico PET en las unidades de albañilería serán las siguientes: 5%, 7%, 9%, 11%, 13%, 15%, 17%, 19%, 21%, 23% y 25%. Se realizarán los ensayos clasificatorios para unidades de albañilería que menciona la norma E.070 (SENCICO, 2006). Posteriormente, se desarrolló el mismo procedimiento experimental para la dosificación óptima y la unidad modular escogida para seguidamente construir un murete de 1.0x1.0 m. Luego, se realizará un análisis de impacto ambiental que ocasiona el uso de plástico PET desechado en la unidad propuesta. Finalmente, se concluirá con un resumen de las comparaciones de la unidad de albañilería modular y un ladrillo convencional en Arequipa, siendo ambas para su uso en muros de tabiquería.

2 MARCO TEÓRICO

La unidad de albañilería que se propone estará compuesta por un tipo de plástico denominado PET o tereftalato de polietileno como material sustentable, además de otros elementos como el cemento, agua y arena fina. En el presente apartado, se hablará acerca de las características de las unidades tradicionales en la ciudad de Arequipa, costo y rendimiento de la mano de obra en el Perú para la construcción con este material, así como de las propiedades del material PET que se usará para la elaboración de la unidad de albañilería. También, se describirá la unidad de albañilería modular y los ensayos establecidos en la Norma E.070 (SENCICO, 2006) para su clasificación.

2.1 Ladrillos Tradicionales Usados en Arequipa

Según CAPECO (2019) en el “Informe Económico de la Construcción” publicado por tal institución, en el Perú los ladrillos más usados en los últimos 6 años son el ladrillo King Kong, ladrillo Pandereta y el ladrillo de techo (hueco), siendo el primero el más utilizado en el año 2018. Así, según la consulta realizada a diferentes ladrilleras en Arequipa como “Ladrillera Diamante” y “Ladrilleras Unidas S.A.” los ladrillos más utilizados son, específicamente, el King Kong H-9 y pandereta.

a) Ladrillo King Kong 18 huecos

Es el ladrillo más conocido para el uso de muros portantes. Es clasificado como ladrillo clase V debido a las siguientes características: resistencia a la compresión ($f'b$) de 83 kg/cm^2 , alabeo de 2 mm y dimensiones promedios de $243 \times 131 \times 93 \text{ mm}$ mientras que su variación dimensional es de -1%, -1% y -3% en largo, ancho y alto respectivamente (Quiun, Bartolomé & Giuseppe, 2007). Asimismo, su precio por millar es de aproximadamente S/.910 (Ladrilleras Unidas, 2019). Cabe resaltar que el ladrillo mencionado (Figura 4) es producido en fábrica, ya que aquellos fabricados artesanalmente no garantizan la calidad y resistencia requerida en comparación a los producidos artesanalmente.

Figura 4. Ladrillo industrial King Kong (18 huecos)

Fuente: Aceros Arequipa (2018) Manual del Maestro Constructor

b) Ladrillo Pandereta

Este ladrillo (Figura 5) es usado generalmente en muros que no soportan el peso de la estructura de la casa ni la presión de los sismos. Este mide en promedio, 12 cm de ancho, 10 cm de alto y 23 cm de largo, es más liviano y económico en comparación al ladrillo King Kong (Aceros Arequipa, 2017).

Figura 5. Ladrillo Pandereta

Fuente: Aceros Arequipa (2017) Manual del Maestro Constructor

c) Ladrillo de techo

Son utilizados para techos aligerados. Generalmente miden 30 cm de ancho por 30 cm de largo con diferentes alturas que dependen de la longitud libre de los techos, siendo los valores 12cm, 15cm ó 20cm para techos de 15 cm, 20 cm ó 25 cm de espesor respectivamente, como se puede apreciar en la Figura 6 (Aceros Arequipa, 2017).

Figura 6. Ladrillo de techo 30x30

Fuente: Aceros Arequipa (2017) Manual del Maestro Constructor

2.2 Costo y Rendimiento de la mano de obra en el Perú para la construcción de un muro de ladrillos King Kong y pandereta.

La Federación de trabajadores de construcción civil del Perú reconocido oficialmente el 23-08-1962 por Resolución Sub-Directoral N° 56 mediante la publicación de tablas de salarios y beneficios sociales de los operarios, oficiales y peones del régimen de construcción civil, establece a nivel nacional el pago neto que debería recibir semanalmente la mano de obra mencionada del 01.06.2019 al 31.05.2020 (CONAFOVICER, 2019). Así, el operario, el oficial y el peón recibirán un salario semanal dependiendo del tipo de Gratificación, siendo el pago neto semanal por Gratificación Navidad para el operario de 826.72 soles, para el oficial de 655.89 soles y para el peón de 593.34 soles; y el pago neto semanal por Gratificación Fiestas Patrias para el operario de 785.85 soles, para el oficial de 623.68 soles y para el peón de 564.45 soles. Por otro lado, el operario dependiendo de la función que ejerza (operador de equipo mediano, operador de equipo pesado, electromecánico o topógrafo) puede variar su pago neto semanal.

Asimismo, según CAPECO (2014) en su título N°29 “Costos y presupuestos de edificación”, implanta rendimientos mínimos oficiales de la mano de obra en la industria de construcción civil para una jornada de 8 horas para el levantamiento de un muro en una edificación (Tabla 2).

Tabla 2. Rendimientos mínimos para la construcción de un muro de ladrillos King Kong y pandereta

Partida	Rendimiento (colocación)
Muro de ladrillo k.k. de arcilla de cabeza	6.45 m ² /día (400 lad/día)
Muro de ladrillo k.k. de arcilla de soga	9.46 m ² /día (350 lad/día)
Muro de ladrillo k.k. de arcilla de canto	8 m ² /día (200 lad/día)
Muro de ladrillo pandereta de cabeza	6.25 m ² /día (400 lad/día)
Muro de ladrillo pandereta de soga	10.90 m ² /día (360 lad/día)
Muro de ladrillo pandereta de canto	7.14 m ² /día (200 lad/día)

Fuente: CAPECO (2014) Costos y presupuestos de edificación

2.3 Polímero PET

En este sentido, el polímero PET (Tereftalato de polietileno) a emplearse es un material con múltiples beneficios en la industria como el ser una barrera para los gases como CO₂, humedad y el O₂; asimismo, es transparente, cristalino, irrompible, liviano, impermeable, resistente a esfuerzos permanentes y al desgaste, también, es altamente reciclable (Martínez & Cote, 2014). Sin embargo, este plástico presenta una gran desventaja, la cual es que su tiempo de descomposición es elevado, mayor a 100 años. Por esa razón, se plantea reutilizar tal material en la elaboración de unidades de albañilería o, de modo que su tiempo de vida útil pueda ser mayor, ya que se reutilizará en la industria de la construcción brindándole propiedades a las unidades de albañilería. Su composición química se puede observar en la Figura 7.

Figura 7. Composición química del PET

Fuente: Barragan, A. et al. (2001) Ecobloque estructural para vivienda de interés rural: Un aporte para las comunidades del Alto Magdalena-Colombia

El plástico PET lo encontramos en envases para gaseosas, agua mineral, frascos de maquillaje, frascos de comida, bolsas para uso en la cocina (bolsas para el horno, microondas), etc. El mayor producto más usado y desechado con rapidez son las botellas de plástico y bolsas. Por

ello, en la elaboración de la unidad de albañilería se usará el plástico PET de las botellas de agua mineral o gaseosa.

En los últimos años se ha visto las formas de reutilizar este material contaminante, debido a que tenemos una sociedad abrumada por la cultura del envase, su crecimiento se hace cada vez más exponencial y por ende disminuye el espacio donde depositarlo. Los beneficios que el plástico PET puede sumar a la unidad de albañilería son múltiples. Las propiedades físico-químicas y físico-mecánicas se muestran en la Tabla 3 y la Tabla 4, las cuales podrían aportarse en los mismos.

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas del Teraftalato de Polietileno

PROPIEDAD		VALOR
COEFICIENTE DE VOLUMEN DE EXPANSIÓN	DE 30 A 60°C	$1.6 \cdot 10^{-4}$ GRADOS-1
	DE 90 A 190°C	$3.7 \cdot 10^{-4}$ GRADOS-1
DENSIDAD ESPECÍFICA A 25°C	AMORFO	1.335G/CC
	CRISTAL ORIENTADO	1.390G/CC
TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA (Tg)	AMORFO	67°C
	CRISTALINO	81°C
	CRISTALINO Y ORIENTADO	125°C
PUNTO DE DERRETIMIENTO	PET COMERCIAL	265°C
	PET PURO	271°C
ABSORCIÓN DE HUMEDAD (INMERSIÓN EN AGUA A 25°C DURANTE UNA		0.80%
RESISTIVIDAD	A 25°C	$1 \cdot 10^{-4}$ OHMIOS*CM
	A 150°C	$1 \cdot 10^{-4}$ OHMIOS*CM
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA		$3.36 \cdot 10^{-4}$ CAL(CM*°S*°C)

Fuente: Barragan, A. et al. (2001) Ecobloque estructural para vivienda de interés rural: Un aporte para las comunidades del Alto Magdalena-Colombia

Tabla 4. Propiedades fisicomecánicas del Teraftalato de Polietileno

PROPIEDADES	VALOR
Resistencia a la tracción hasta la deformación (MPa)	59
Resistencia a la tracción hasta la rotura	no rompe
Alargamiento hasta la rotura	no rompe
Módulo de elasticidad en tracción (MPa)	2420
resistencia a la flexión (MPa)	86
Resistencia al impacto charpy	no rompe

Fuente: Barragan, A. et al. (2001) Ecobloque estructural para vivienda de interés rural: Un aporte para las comunidades del Alto Magdalena-Colombia

2.4 Clasificación de las formas de las unidades de albañilería

Según la clasificación INANTIC² N° 339-005 y 339-06 (1992), las unidades de albañilería se clasifican en 2 tipos (Tabla 5). Así, el primero es el Tipo I, el cual es un bloque hueco de concreto que se destina a soportar cargas. Por otro lado, tenemos el Tipo 2 que son bloques huecos de concreto que solo tienen por finalidad la construcción de tabiques.

Tabla 5. Clasificación de los bloques de concreto según las normas INANTIC N° 339-005 y 339-06 (1992)

BLOQUE	CARGA MINIMA A LA ROTURA POR COMPRESION Kg./cm ² SECCION BRUTA		ESFUERZOS		
	PROMEDIO	MINIMO POR BLOQUE	CORTE	TENSION	TEMPORALES
TIPO I	50	50	1/80	1/80	1.5
TIPO II	20	10	1/80	1/80	1.5

Fuente: INANTIC (1992) N° 339-005/339-06 (s.f.) Requisitos para materiales y procedimientos de construcción

En esta norma nos indican los dimensionamientos estándares de las unidades de albañilería estándar en el Perú (0), por ello las formas de unidades de albañilería que propondremos se adaptarán a dichas dimensiones.

² El INANTIC ha sido reemplazado por el ITINTEC y este a la vez por INDECOPI.

Tabla 6. Dimensiones modulares según las normas INANTIC N° 339-005 y 339-06

DESIGNACION	DIMENSIONES MODULARES EN cms.			DIMENSIONES DE FABRICACION			
	ANCHO	ALTO	LARGO	ANCHO	ALTO	LARGO	Largo de bloques esquineros
BLOQUES PARA MUROS Y TABIQUES	10	20	40	9	19	39	39.5
	15	20	40	14	19	39	39.5
	20	20	40	19	19	39	39.5
	25	20	40	24	19	39	39.5
	30	20	40	29	19	39	39.5
	35	20	40	34	19	39	39.5
	10	20	20	9	19	19	19.5
	15	20	20	14	19	19	19.5
	20	20	20	19	19	19	19.5
	25	20	20	24	19	19	19.5
	30	20	20	29	19	19	19.5
	35	20	20	34	19	19	19.5

Fuente: INANTIC (1992) N° 339-005/339-06 (s.f.) Requisitos para materiales y procedimientos de construcción

Las unidades de albañilería apilables son las siguientes:

a) Unidad de Albañilería Hueca

Según la Norma E.070 (SENCICO, 2006) es la “Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente menor que el 70% del área bruta en el mismo plano”, como se puede observar en la Figura 8.

Figura 8. Ladrillo Pandereta

Fuente: Loimar (s.f.) Productos-Ladrillos

b) Unidad de Albañilería Sólida (o Maciza)

Según la Norma E.070 (SENCICO, 2006) es la “Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área igual o mayor que el 70% del área bruta en el mismo plano”, como se puede observar en la Figura 9.

Figura 9. Ladrillo King Kong 18 Huecos

Fuente: Aceros Arequipa (2017) Manual del Maestro Constructor

c) Unidad de Albañilería Alveolar

Según la Norma E.070 (SENCICO, 2006) es la “Unidad de Albañilería Sólida o Hueca con alvéolos o celdas de tamaño suficiente como para alojar el refuerzo vertical. Estas unidades son empleadas en la construcción de los muros armados”. Como se puede observar en la Figura 10.

Figura 10. Bloques de concreto

Fuente: San Bartolomé, Á. (2005) Comentarios a la Norma técnica de Edificación E.070 Albañilería

2.5 Unidad de albañilería tipo modular

Con respecto a las unidades de tipo modular, estas presentan formas de ensamblaje entre sí parecidos a los famosos bloques de la empresa LEGO, por lo que en el proceso constructivo estos se pueden apilar ya que son acoplables debido a su forma. Asimismo, según la empresa KITE BRICKS (2014), la cual es una empresa israelí que desarrolló este sistema constructivo

de viviendas, permite que se puedan construir pisos y muros de forma ordenada, más limpia y con una reducción significativa en costos. Esto debido a que se utiliza una mínima cantidad de mortero para pegar las unidades de albañilería y, en algunos casos, no se hace uso del mismo.

2.6 Ensayos de laboratorio

Los ensayos ayudan a obtener las características de las unidades de albañilería para su clasificación. Los ensayos que se realizarán a las unidades modulares propuestas son los siguientes:

2.6.1 Ensayos clasificatorios de la unidad de albañilería

Según la norma E.070 Albañilería (SENCICO, 2006), existen 3 características importantes que se deben tener en cuenta para la clasificación de la unidad de albañilería. Estos son la variación de dimensión, alabeo y resistencia a la compresión como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Clase de unidad de albañilería para fines estructurales

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSION (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f'_b mínimo en MPa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P ⁽¹⁾	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP ⁽²⁾	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

Fuente: SENCICO (2006) Norma Técnica E0.70 Albañilería

a) Ensayo de resistencia a la compresión (f'_b)

Se escogen 3 muestras de unidades de albañilería, las cuales se utilizan en el laboratorio para analizar su resistencia a la compresión axial y medir su durabilidad. Esto debido a que, si uno de los mismos presenta gran resistencia, durará más. El proceso del ensayo es el siguiente:

- Introducir la unidad 24 horas antes a 110 °C para eliminar la humedad natural que contenga.

- Verificar una superficie recta uniforme para el contacto con el cabezal de la máquina universal de compresión, en caso no se cuente con una colocar una lámina de yeso – cemento para uniformizar la superficie.
- Medir las dimensiones de cada unidad de albañilería.
- Después del ensayo de compresión tomar datos de la carga de rotura y el área bruta que indica la máquina universal. La resistencia a la compresión se determina por la división de los dos datos tomados anteriormente
- Según la norma E.070 (SENCICO, 2006), la resistencia a compresión axial de la unidad de albañilería se obtiene por la resta de la desviación estándar con el valor promedio de la muestra.

b) Variación Dimensional

Se medirá las dimensiones de las unidades de albañilería para definir la altura de las hiladas, ya que es un factor importante en el cálculo del metrado. Además, nos indicará la cantidad de mortero necesaria (9 a 12 mm) para la adhesión. La Ecuación 1 nos muestra la fórmula para hallar la variación dimensional.

Ecuación 1. Fórmula para hallar la variación de dimensión de la unidad de albañilería

$$\%V = \frac{DN - DP}{DN} \times 100$$

Donde

%V: Variación de dimensión en porcentaje

DN: Dimensión nominal

DP: Dimensión promedio de cada dimensión

c) Alabeo

El ensayo analiza la concavidad o convexidad que tiene la unidad de albañilería, la cual produce un alabeo y por ende un mayor espesor de junta. Por otro lado, puede producir mayor espacio de vacío y disminuir el área de contacto con el mortero. Sin embargo, en este tipo de unidad no se utilizará mucha cantidad de mortero, pero aun así se tiene que cumplir con lo indicado en la norma E.070 (SENCICO, 2006).

Procedimiento:

- Se coloca la unidad de albañilería sobre una mesa plana.
- Se coloca una cuña metálica graduada en milímetros en la parte más alabeada de la unidad de albañilería.
- Luego colocar dos cuñas metálicas en los dos extremos diagonales conectados con una regla.
- Por último, colocar la cuña metálica en el punto de mayor deflexión (Normalmente en el medio) y medir con una regla su alabeo.
- Los resultados de todos los procedimientos se promediarán en mm.

2.6.2 Ensayo de Absorción

Para la aceptación de la unidad, otra de las características que debe tomarse en cuenta es la absorción de las unidades de albañilería. Según la norma NTP 399.613 (INDECOPI, 2005), se deben ensayar 5 especímenes. Estos, primeramente, son secados en un horno por 24 horas a 110 °C para, luego, ser sumergidos en agua limpia (potable, destilada o agua de lluvia) a temperatura entre 15,5 °C a 30 °C por 5 o 24 horas.

Posteriormente, se retira el espécimen y limpia el agua superficial con un paño y se pesa dentro de los cinco minutos siguientes luego de ser retirados del agua.

Así, se realiza el cálculo del porcentaje de absorción con la Ecuación 2:

Ecuación 2. Fórmula para hallar la variación de dimensión de la unidad de albañilería

$$\text{Absorción \%} = 100 (W_s - W_d)/W_d$$

Donde:

W_d = Peso seco del espécimen;

W_s = Peso del espécimen saturado, después de la sumersión en agua fría.

2.7 Resultados de otras investigaciones en las que se analizaron unidades de albañilería con PET

En el Perú y en el mundo, se realizaron investigaciones para determinar las propiedades físicas y químicas de ladrillos en cuyos componentes se hacía uso de diferentes materiales reciclables

para su posterior uso en la construcción. En esta sección, se expondrán los resultados obtenidos en dos trabajos de investigación elaborados en Perú y Ecuador, respectivamente, en los cuales se hizo uso del plástico reciclado (PET) para la fabricación de ladrillos.

En la tesis realizada por Paz Erwin (2014) se plantea una investigación para determinar las propiedades físico-mecánicas de ladrillos de concreto con plástico reciclado. En el desarrollo, el autor primero selecciona los materiales a utilizar en la dosificación de la unidad, que al final se determina una proporción de 70 % PET y 30 % de polietileno de alta densidad. Uso un molde rectangular de 22.1x11.1x5.1 cm.

En sus ensayos obtuvo un peso más liviano a comparación de las unidades de albañilería tradicional, debido a la baja densidad del PET, resultando un peso promedio de 1081.6 gr. Asimismo, se le aplica el ensayo de alabeo encontrando alabeo de poca relevancia determinando que la unidad se puede instalar con facilidad.

Por otro lado, se le realizó un análisis al costo de la unidad resultando económico. El primer punto es que se utilizó un material reciclado, en este caso el plástico. La técnica de fabricación es muy sencilla para poder elaborarlo con mano de obra no calificado. En el caso de la investigación no se utiliza ningún pegamento para la unión de las unidades disminuyendo el costo de mortero y desperdicio. Finalmente, se observa que no hay desperdicio en el material PET y PEAD debido a que usa incluso el sobrante del molido.

El autor concluye que la unidad de albañilería con plástico PET y PEAD resultó más económica a comparación de la unidad de albañilería comercial. Además, recomienda realizar los mismos ensayos para unidades de albañilería, debido a que los ensayos en esta tesis se realizaron a un espécimen con un modelo estándar.

Por otro lado, Angumba (2016) en su tesis “Ladrillos elaborados con plástico reciclado (PET), para mampostería no portante”, elaboró unidades de albañilería con dimensiones de 20x10x6 cm con adición de PET al 10, 25, 40, 55, 65 y 70% en sustitución del árido fino. Posteriormente, efectuó el ensayo de resistencia a la compresión con la finalidad de compararlos con los ladrillos de arcilla cocida de uso común en la región y analizó el material para mampostería no portante según los lineamientos establecidos por las normas Ecuatorianas. Con los datos obtenidos, Angumba presentó las siguientes conclusiones:

- La forma, textura, medidas y pesos de los ladrillos tenían excelentes condiciones, debido a que su aspecto, presentación y forma, son considerablemente mejor que los ladrillos de arcilla cocida de Cuenca, Ecuador.
- Los especímenes de dosificación 10, 25, 40 y 55% presentaron aristas bien definidas sin oquedades o huecos, no siendo lo mismo para las dosificaciones de 65 y 70%.
- Los especímenes mostraron una textura lisa, lo que permite que, una vez puesto en obra, no sea necesario que se tenga que realizar un revoque o enlucido, reduciendo de esta manera los costos finales de una edificación.
- El peso de un ladrillo ecológico era considerablemente mucho más liviano que un ladrillo de arcilla, e inclusive mucho más liviano que el de un bloque de hormigón.
- La resistencia de los ladrillos ensayados era ampliamente mayor que todos los materiales de construcción analizados. Así, el ladrillo que presentó mayor resistencia a la compresión fue el que tenía 25% de PET añadido, oscilando su valor entre 266, 279 kg/cm² y 316,85 kg/cm².
- Considerando que el ladrillo MORTERO/PET tiene un promedio de 268,03 kg/cm², el ladrillo de arcilla cocida tiene un promedio de 98,35 kg/cm², el bloque de pómez de 15 cm tiene un promedio de 22,42 kg/cm²; el bloque de pómez de 10 cm tiene un promedio de 20,20 kg/cm², el bloque de hormigón de 15 cm tiene un promedio de 122,97 kg/cm²; el bloque de pómez de 10 cm tiene un promedio 183,60 kg/cm²; el autor concluyó que los ladrillos producto de la investigación son ampliamente mucho más resistentes que todos los materiales de construcción analizados.

Una vez realizados los ensayos y analizada la información se obtuvo como resultado un ladrillo óptimo con 25% de adición de PET.

2.8 Metodologías de evaluación de Impacto Ambiental

Para conocer la contribución de las empresas con la mitigación de emisiones CO₂ se utilizan metodologías como análisis de ciclo de vida, inventario de gases de efecto invernadero, huella de carbono, entre otras, las cuales son estrategias que permiten cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero, conociendo los sectores de mayor contribución con sus emisiones al cambio climático (Ministerio de Ambiente Chile, 2015). Estas herramientas sirven para medir el impacto ambiental de un producto, proceso o sistema a lo largo de su ciclo de vida

(desde que se obtiene las materias primas hasta su fin de vida). Estos se basan en la recopilación de las entradas y salidas del sistema para obtener los resultados que muestran sus impactos ambientales potenciales. Las metodologías se basan en un enfoque holístico, todas las propiedades de un sistema deben ser determinadas de manera individual por las partes que lo componen (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013).

Las emisiones de CO₂ se analizan con la huella de carbono producida en el proceso de elaboración de ladrillos King Kong H-9, los más utilizados en la ciudad de Arequipa, y cuánto reducirá la reutilización del plástico PET. Por lo que, en el presente trabajo de investigación, se utilizará esta metodología debido a su precisión y resultados más confiables.

3 DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA

En el presente capítulo, se explicará cómo se adquirió la materia prima para la elaboración de las unidades de albañilería con la forma tradicional, así como se mostrarán las diferentes dosificaciones con porcentaje de material PET que se plantearon para su elaboración y, posterior, ensayo.

3.1 Preparación de la materia prima

Según la norma E.070 (SENCICO, 2006), los materiales deben cumplir parámetros que aseguren su correcta reacción, por lo que se mostrará cómo se obtuvieron y que características presentaban los distintos materiales que se necesitaron para la realización de las muestras en el presente proyecto.

3.1.1 Plástico PET

El PET se obtuvo de botellas de plástico transparentes, las cuales mediante un proceso de triturado son reutilizadas para distintos usos. Se adquirió el plástico PET triturado de la Planta Reciclaje de Yanahuara ubicada en el cono norte, Ciudad de Dios, en la carretera al distrito de Yura, siendo la única planta de reciclaje de la ciudad que está en funcionamiento y recibe residuos reciclables específicamente del distrito de Yanahuara.

En el presente caso, las escamas tenían un tamaño promedio de 1 a 2 cm, las cuales no presentaban impurezas como se puede observar en la 0:

Figura 11. Plástico PET triturado de la Planta de Reciclaje de Yanahuara

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Arena

La arena (Figura 12) no debía presentar material orgánico ni impurezas. Esta se obtuvo de una empresa distribuidora de agregados de la cantera de Miguel Grau.

Figura 12. Agregado fino de la cantera de Miguel Grau

Fuente: Elaboración propia

El material se utilizó como agregado fino, por ello pasó por un ensayo granulométrico para verificar si está entre los rangos límites de agregado grueso y fino según el ASTM 33 (2009). Los resultados fueron los siguientes, mostrados en la Tabla 8:

Tabla 8. Granulometría de los agregados

Tamiz	Peso Retenido	% Parcial Retenido	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa
3/8	0	0.00	100	0.00
N° 4	13.3	2.31	97.69	2.31
N° 8	53.8	9.35	88.34	11.66
N° 16	154.3	26.82	61.52	38.48
N° 30	114.7	19.93	41.59	58.41
N° 50	158.7	27.58	14.01	85.99
N° 100	72.1	12.53	1.48	98.52
FONDO	8.5	1.48	0.00	100.00

Fuente: Elaboración propia³

³ Datos obtenidos del ensayo granulométrico del agregado fino.

Con la información que se obtiene, se construye la curva granulométrica. Esta herramienta nos ayuda a verificar que los % acumulados de material que pasa estén dentro de los límites permitidos. En la Figura 13, se muestra la tendencia de la línea de % acumulado que pasa.

Figura 13. Curva granulométrica del agregado fino obtenida después de realizado el ensayo

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la curva granulométrica se encuentra entre los límites inferior y superior permitidos según la norma ASTM 33 (2009).

3.1.3 Cemento

Para la elaboración de la mezcla se utilizó Cemento Portland Tipo IP. Esto se debe a su alta frecuencia de uso en la construcción en el sur del país, especialmente en Arequipa, debido a que tiene buenas características y es de fácil acceso. El cemento cumple con la norma ASTM C150 (2008) y fue obtenido por medio de empresas distribuidoras del producto en la ciudad.

En la Figura 14, se muestra el empaque del cemento Yura, el cual cumple con todas las características necesarias y verificadas por la norma peruana.

Figura 14. Cemento Portland Tipo IP de la empresa Yura

Fuente: YURA (2020) Cemento Portland Tipo IP

3.2 Diseño de la mezcla para las dosificaciones planteadas

Antes de comenzar con el proceso experimental para la determinación de la dosificación del concreto con plástico PET más óptima, se propusieron 2 proporciones de cemento y arena (1:1 y 1:2), a las cuales se les añadirían distintos porcentajes de plástico PET (Tabla 9), que fueron determinados mediante la consulta a investigaciones realizadas en las que se elaboraron unidades de albañilería con este tipo de componente. Asimismo, se utilizó diferentes porcentajes de polietileno para observar y analizar el comportamiento de las distintas dosificaciones.

Tabla 9. Dosificaciones de PET en la unidad de albañilería de concreto

1:1	1:2
5.0%	5.0%
7.0%	7.0%
9.0%	9.0%
11.0%	11.0%
13.0%	13.0%
15.0%	15.0%
17.0%	17.0%
19.0%	19.0%
20.0%	20.0%
21.0%	21.0%
23.0%	23.0%
25.0%	25.0%

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la relación a/c, para su determinación se partió de un valor de 0.5, en ambos casos, para luego ir agregando más agua hasta obtener una superficie húmeda que facilitó el proceso de desmolde en todos los casos. Así, se llegó a una relación a/c común. La dosificación más óptima se utilizará para elaborar la unidad de albañilería modular seleccionada. Se utilizó la siguiente forma de unidad para su elaboración.

Los pesos de los materiales utilizados para la elaboración de 10 unidades de albañilería con plástico PET, en cada dosificación planteada, fueron los mostrados en la Tabla 10 y Tabla 11:

- Dosificación 1:1

Tabla 10. Datos iniciales de las unidades de albañilería (1:1)

Relación A/C	Relación de Concreto	Cemento (kg)	Arena (kg)	Agua (l)	PET (kg)	%PET	Peso total (kg)	Nro. de unidades
0.56	1/1	22.7	22.7	12.8	1.1	5.0%	59.34	10
0.56		22.7	22.7	12.8	1.6	7.0%	59.79	10
0.56		22.7	22.7	12.8	2.0	9.0%	60.24	10
0.56		22.7	22.7	12.8	2.5	11.0%	60.70	10
0.56		22.7	22.7	12.8	3.0	13.0%	61.15	10
0.56		22.7	22.7	12.8	3.4	15.0%	61.61	10
0.56		22.7	22.7	12.8	3.9	17.0%	62.06	10
0.56		22.7	22.7	12.8	4.3	19.0%	62.51	10
0.56		22.7	22.7	12.8	4.5	20.0%	62.74	10
0.56		22.7	22.7	12.8	4.8	21.0%	62.97	10
0.56		22.7	22.7	12.8	5.2	23.0%	63.42	10
0.56		22.7	22.7	12.8	5.7	25.0%	63.88	10

Fuente: Elaboración propia

- Dosificación 1:2

Tabla 11. Datos iniciales de las unidades de albañilería (1:2)

Relación A/C	Relación de Concreto	Cemento (kg)	Arena (kg)	Agua (l)	PET (kg)	%PET	Peso total (kg)	Nro. de unidades
0.58	1/2	16.4	32.7	8.9	1.6	5.0%	59.6	10
0.58		16.4	32.7	8.9	2.3	7.0%	60.2	10
0.58		16.4	32.7	8.9	2.9	9.0%	60.9	10
0.58		16.4	32.7	8.9	3.6	11.0%	61.5	10
0.58		16.4	32.7	8.9	4.3	13.0%	62.2	10
0.58		16.4	32.7	8.9	4.9	15.0%	62.9	10
0.58		16.4	32.7	8.9	5.6	17.0%	63.5	10
0.58		16.4	32.7	8.9	6.2	19.0%	64.2	10
0.58		16.4	32.7	8.9	6.5	20.0%	64.5	10
0.58		16.4	32.7	8.9	6.9	21.0%	64.8	10
0.58		16.4	32.7	8.9	7.5	23.0%	65.5	10
0.58		16.4	32.7	8.9	8.2	25.0%	66.1	10

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se hizo la corrección por absorción partiendo del porcentaje de absorción del agregado fino que se obtuvo de la siguiente forma:

1. Se saturó con agua una muestra de 500 g de agregado fino por un día y después se comprobó si la misma se encontraba en condiciones saturadas con el ensayo del cono (Figura 15):

Figura 15. Ensayo de cono para condiciones saturadas

Fuente: Elaboración propia

2. Luego, se pesó la fiola vacía y con agua hasta la marca.
3. Posteriormente, se colocó la muestra en la fiola y se verificó que el agua llegue hasta la marca del instrumento (Figura 16).

Figura 16. Fiola siendo llenada con agua hasta que la misma llegue a la marca

Fuente: Elaboración propia

4. Se realizaron movimientos circulares a la fiola para eliminar las burbujas contenidas en la muestra y se pesó (Figura 17).

Figura 17. Peso de la Fiola más el agua

Fuente: Elaboración propia

5. Los resultados se pueden mostrar en la Tabla 12, siendo el porcentaje de absorción 1.77.

Tabla 12. Datos del ensayo de absorción al agregado fino

Identificación del Agregado		Procedencia: Cantera de Miguel Grau
Código	Datos del Ensayo	Peso (gr)
A	Nro de fiola	E
B	Peso de fiola con agua destilada (hasta la marca)	662.9
C	Peso de la muestra SSS	500
D	Peso Fiola + Agua + Muestra SSS	980.2
E	Identificación del recipiente	0303-01
F	Peso del recipiente	179.3
G	Peso del recipiente + Muestra secada al horno	670.6
H	Peso de la muestra secada al horno (G-F)	491.3
I	Peso específico de masa ($H/(B+C-D)$)	2.689
J	Peso específico SSS (Base Saturada) ($C/(B+C-D)$)	2.737
K	Peso específico aparente (Base seca) ($H/(B+H-D)$)	2.824
L	%Absorción ($((C-H)/H)*100$)	1.77

Fuente: Elaboración propia

6. Así, los pesos finales del cemento, agua, agregado fino y plástico, para la elaboración de 10 unidades de albañilería para cada dosificación, se presentan en la Tabla 13 y Tabla 14:

- Dosificación 1:1

Tabla 13. Datos corregidos de las unidades de albañilería (1:1)

Relación A/C	Relación de Concreto	Cemento (kg)	Arena corregido (Kg)	Agua corregida (l)	Peso total corregido (kg)	Nro. de unidades
0.560	1/1	22.7	21.6	13.2	58.61	10
0.560		22.7	21.1	13.2	58.61	10
0.560		22.7	20.7	13.2	58.61	10
0.560		22.7	20.2	13.2	58.61	10
0.560		22.7	19.7	13.2	58.61	10
0.560		22.7	19.3	13.2	58.61	10
0.560		22.7	18.8	13.2	58.61	10
0.560		22.7	18.4	13.2	58.61	10
0.560		22.7	18.2	13.2	58.61	10
0.560		22.7	17.9	13.2	58.61	10
0.560		22.7	17.5	13.2	58.61	10
0.560		22.7	17.0	13.2	58.61	10

Fuente: Elaboración propia

- Dosificación 1:2

Tabla 14. Datos corregidos de las unidades de albañilería (1:2)

Relación A/C	Relación de Concreto	Cemento (kg)	Arena corregido (Kg)	Agua corregida (l)	Peso total corregido (kg)	Nro. de unidades
0.580	1/2	16.4	31.1	9.5	58.6	10
0.580		16.4	30.4	9.5	58.6	10
0.580		16.4	29.8	9.5	58.6	10
0.580		16.4	29.1	9.5	58.6	10
0.580		16.4	28.5	9.5	58.6	10
0.580		16.4	27.8	9.5	58.6	10
0.580		16.4	27.2	9.5	58.6	10
0.580		16.4	26.5	9.5	58.6	10
0.580		16.4	26.2	9.5	58.6	10
0.580		16.4	25.9	9.5	58.6	10
0.580		16.4	25.2	9.5	58.6	10
0.580		16.4	24.6	9.5	58.6	10

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se puede observar el peso de una unidad de albañilería para cada dosificación.

3.3 Preparación de las mezclas

Las mezclas se realizaron con lo obtenido del diseño anterior. El molde que se utilizó para la realización del primer objetivo era metálico, esto debido a que con tal material no sería necesario el uso de desmoldantes y se aseguraría el correcto desmoldamiento de los especímenes. Este, contaba con 2 piezas, una base y un lateral que cubría las 4 caras no destinadas para el asentamiento, además de dos palancas opuestas para separar las partes del molde de la unidad de albañilería, como se puede observar en la Figura 18.

Figura 18. Molde metálico para los especímenes con forma de la unidad de albañilería tradicional

Fuente: Elaboración propia

Así, las medidas de las muestras obtenidas eran las del ladrillo King Kong H-9 (Tabla 15).

Tabla 15. Medidas de especímenes con la forma de la unidad de albañilería tradicional

L (cm)	H (cm)	A (cm)
24	9	14

Fuente: Elaboración propia⁴

Para cada dosificación con plástico PET, el procedimiento de preparación de la mezcla fue el mismo y se usó la norma técnica peruana NTP 399.613 (INDECOPI, 2005) como guía para la realización de los mismos.

Inicialmente, se vertió una lechada en la mezcladora para evitar la pérdida de material debido a la adherencia de la mezcla a las paredes del trompo. Posteriormente, se mezclaron los materiales secos como el agregado fino, el cemento IP y el plástico PET. Luego, se hizo la adición del agua. Se mezclaron los materiales para uniformizarlo.

Posteriormente, se colocó la mezcla en el molde metálico en dos capas y se utilizó una mesa vibradora para eliminar el aire contenido en la mezcla y mejorar así la distribución del material. La vibración fue hecha al terminar el vaciado de cada capa, como se puede observar en la (Figura 19):

⁴ Se aprecia las medidas del largo, alto y ancho respectivamente.

Figura 19. Vibración de la mezcla en la mesa vibratoria

Fuente: Elaboración propia

En este caso, el molde tuvo que ser asegurado presionándolo manualmente sin aplicar demasiada fuerza, esto debido a que el mismo no estaba adherido a la mesa vibratoria, ocasionando que el molde no permanezca en un solo lugar.

Luego, se realizó el trazado de la superficie para obtener un acabado nivelado y se dejaron reposar las muestras por 3 horas para, posteriormente, desmoldarlos sin que sufran cambios en sus dimensiones (Figura 20). Se dejaron secar por 3 horas más.

Figura 20. Parte de las muestras realizadas para el desarrollo del primer objetivo

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, las unidades se dejaron reposar en agua para un correcto curado. Se realizaron 5 muestras para cada dosificación 1:1 (cemento y arena) con plástico PET y 5 muestras para aquellas con dosificación 1:2, éstas se pueden observar en la Figura 21:

Figura 21. Muestras realizadas para el desarrollo del primer objetivo después del curado a los 7 y 14 días

Fuente: Elaboración propia

4 ENSAYOS A LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA CON LA FORMA TRADICIONAL

Se realizaron las pruebas de Resistencia a la Compresión, Variación Dimensional, Alabeo y Absorción a las unidades de albañilería con las medidas del ladrillo tradicional en la ciudad de Arequipa, para poder determinar qué dosificación con porcentaje de plástico PET permite la elaboración de unidades con mejores características físicas y mecánicas.

4.1 Ensayos Clasificatorios

4.1.1 Ensayo de Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión (f'_c) se define como la relación entre la carga máxima ($P_{m\acute{a}x}$) y la sección de los ladrillos. Para el ensayo, se tomaron 5 especímenes de prueba por cada dosificación, después de haber sido curados por inmersión. El ensayo de resistencia a la compresión fue realizado en el laboratorio “TECHLAB-Laboratorio de suelos, concreto y asfaltos” ubicado en la ciudad de Arequipa, para ello las unidades fueron previamente pesadas y medidas. Se elaboraron 5 muestras de la dosificación 1:1 para cada porcentaje de plástico PET para 7 y 14 días, y 5 muestras para la dosificación 1:1 a los 14 días. Seguidamente, se cubrió con yeso las superficies opuestas de contacto con la máquina de compresión y se dejó reposar por 24 horas, como se puede observar en la Figura 22.

Figura 22. Especímenes preparados con cobertura superior e inferior de yeso

Fuente: Elaboración propia

La prueba se realizó en una máquina compresión hidráulica (modelo STYE-2000) (Figura 23) para, posteriormente, realizar los cálculos. Asimismo, fue indispensable tomar estos datos para realizar tabulaciones en caso de discrepancia en los resultados.

Figura 23. Máquina de compresión hidráulica

Fuente: Elaboración propia

Las muestras de la dosificación 1:1 se realizaron el 12 de octubre del 2019. Las pruebas de resistencia a los 7 días, de las mismas, se dieron el 20 de octubre y los especímenes de los 14 días se dieron el 27 de octubre. De la misma forma, las muestras con la dosificación 1:2 se elaboraron el 13 de octubre, siendo las pruebas de resistencia el 28 de octubre para los 14 días.

En la Tabla 16 y Tabla 17, se presentan las resistencias a la compresión que soportaron las unidades antes de fisurarse de la dosificación 1:1 a los 7 días y 14 días respectivamente; y en la Figura 24 y 0, un gráfico lineal en el que se comparan los valores de resistencia obtenidos en los diferentes porcentajes planteados para las dosificaciones mencionadas. Además, se indican las cargas que soportaron.

Tabla 16. Datos de ensayo de resistencia a la compresión dosificación 1:1 a los 7 días

Especimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área neta	Carga Máxima	Esfuerzo Compresión (Área neta)
			(cm ²)	(kg)	(kg/cm ²)
PET 5% Especimen 1	24	13	312	25952.85	83.18
PET 5% Especimen 2	24	12.8	307.2	25629.74	83.43
PET 5% Especimen 3	24	13	312	26849.9	86.06

PET 5% Especimen 4	24.1	12.8	308.48	26798.83	86.87
PET 5% Especimen 5	24	12.8	307.2	27214.02	88.59
PET 7% Especimen 1	24	13	312	23870.62	76.51
PET 7% Especimen 2	24	13	312	23273.16	74.59
PET 7% Especimen 3	24	13	312	23970.05	76.83
PET 7% Especimen 4	24	12.8	307.2	23951.56	77.97
PET 7% Especimen 5	24.2	13.1	317.02	24548.61	77.44
PET 9% Especimen 1	24	13	312	23601.2	75.64
PET 9% Especimen 2	24	13	312	21637.2	69.35
PET 9% Especimen 3	24	13.3	319.2	23178.1	72.61
PET 9% Especimen 4	24.5	13	318.5	24496.5	76.91
PET 9% Especimen 5	24	13	312	23424.4	75.08
PET 11% Especimen 1	24	13	312	20949.48	67.15
PET 11% Especimen 2	24.5	13.5	330.75	21313.21	64.44
PET 11% Especimen 3	24	13	312	20844.55	66.81
PET 11% Especimen 4	24	13	312	22465.56	72.01
PET 11% Especimen 5	24	13.3	319.2	20540.99	64.35
PET 13% Especimen 1	24	13	312	24199.11	77.56
PET 13% Especimen 2	24	13.2	316.8	24109.55	76.1
PET 13% Especimen 3	24.5	13	318.5	26030.56	81.73

PET 13% Especimen 4	24	13	312	24076.77	77.17
PET 13% Especimen 5	24.2	13	314.6	25011.84	79.5
PET 15% Especimen 1	24.5	14	343	21522.37	62.75
PET 15% Especimen 2	24.5	13.5	330.75	19942.85	60.3
PET 15% Especimen 3	24.5	13	318.5	20583.08	64.63
PET 15% Especimen 4	24.5	12.7	311.15	19350.49	62.19
PET 15% Especimen 5	24.2	12.7	307.34	22338.83	72.68
PET 17% Especimen 1	25	14	350	18618.87	53.2
PET 17% Especimen 2	24	13	312	18480	59.23
PET 17% Especimen 3	25	13	325	18221.72	56.07
PET 17% Especimen 4	25	13.5	337.5	17560.39	52.03
PET 17% Especimen 5	25	13	325	17427.08	53.62
PET 19% Especimen 1	25	13.2	330	15738.79	47.69
PET 19% Especimen 2	25.2	13.2	332.64	16515.74	49.65
PET 19% Especimen 3	24.5	13.5	330.75	15561.44	47.05
PET 19% Especimen 4	25	13.5	337.5	15917.39	47.16
PET 19% Especimen 5	25	13	325	15396.93	47.38
PET 20% Especimen 1	24	13	312	16676.45	53.45
PET 20% Especimen 2	24	13	312	16495.25	52.87
PET 20% Especimen 3	24.5	13	318.5	16765.11	52.64

PET 20% Especimen 4	24	13	312	17077.32	54.74
PET 20% Especimen 5	24.5	13.2	323.4	17446.75	53.95
PET 21% Especimen 1	24.5	13.5	330.75	15686.33	47.43
PET 21% Especimen 2	25	13.5	337.5	14917.81	44.2
PET 21% Especimen 3	24	13.5	324	15144.36	46.74
PET 21% Especimen 4	24.5	13.5	330.75	14629.17	44.23
PET 21% Especimen 5	25	13	325	14223.66	43.77
PET 23% Especimen 1	25	13.5	337.5	16286.22	48.26
PET 23% Especimen 2	25	14	350	16909.43	48.31
PET 23% Especimen 3	24.3	13.5	328.05	15835.96	48.27
PET 23% Especimen 4	24.5	13.5	330.75	16025.95	48.45
PET 23% Especimen 5	25	14	350	15181.76	43.38
PET 25% Especimen 1	24.5	13.5	330.75	15514.87	46.91
PET 25% Especimen 2	24.3	13.5	328.05	14560.91	44.39
PET 25% Especimen 3	24.5	13.5	330.75	14929.45	45.14
PET 25% Especimen 4	24.5	13.5	330.75	15241.15	46.08
PET 25% Especimen 5	24.2	13.5	326.7	16036.2	49.09

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro anterior se puede observar la carga neta que soporta el área neta del espécimen en prueba. Se observa un aumento de la f'_c a medida que incrementa el porcentaje de PET hasta el 13% de PET alcanzando el 81.73 kg/cm^2 , después empieza a decaer hasta llegar a un mínimo

de 43.38 kg/cm² a 23% PET. Por otro lado, entre especímenes de un mismo grupo de porcentaje de PET varía un 5.1%.

Figura 24. Gráfico de esfuerzo compresión 7 días (1:1)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Datos de ensayo de resistencia a la compresión dosificación 1:1 a los 14 días

Especimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área neta	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo Compresión (Área neta)
			(cm ²)		(kg/cm ²)
PET 5% Especimen 1	24	13	312.01	33219.64	106.47
PET 5% Especimen 2	24	12.8	311.21	32806.06	105.42
PET 5% Especimen 3	24	13	312.01	34367.87	110.15
PET 5% Especimen 4	24.1	12.8	308.49	33802.5	109.58
PET 5% Especimen 5	24	12.8	307.21	33033.94	107.53

PET 7% Especimen 1	24	13	312.01	30554.4	97.93
PET 7% Especimen 2	24	13	312.01	31789.64	101.89
PET 7% Especimen 3	24	13	312.01	30681.66	98.34
PET 7% Especimen 4	24	12.8	310.21	30658	98.83
PET 7% Especimen 5	24.2	13.1	317.03	31422.23	99.12
PET 9% Especimen 1	24	13	312.01	30209.54	96.82
PET 9% Especimen 2	24.3	13	315.91	27695.62	87.67
PET 9% Especimen 3	24	13.2	316.81	29667.97	93.65
PET 9% Especimen 4	24.5	13.5	319.76	31355.52	98.06
PET 9% Especimen 5	24	13	312.01	29983.23	96.1
PET 11% Especimen 1	24	13	312.01	27815.33	89.15
PET 11% Especimen 2	24.5	13.5	318.76	28280.9	88.72
PET 11% Especimen 3	24	13	312.01	29681.02	95.13
PET 11% Especimen 4	24	13	312.01	28755.92	92.16
PET 11% Especimen 5	24	13.3	319.21	27292.46	85.5
PET 13% Especimen 1	24	13	312.01	30974.86	99.28
PET 13% Especimen 2	24	13.2	316.81	30860.23	97.41
PET 13% Especimen 3	24.5	13	318.51	30319.11	95.19
PET 13% Especimen 4	24	13	312.01	30818.27	98.77
PET 13% Especimen 5	24.2	13	314.61	32015.15	101.76

PET 15% Especimen 1	24.5	14	321.01	27548.63	85.82
PET 15% Especimen 2	24.5	13.5	313.76	25526.85	81.36
PET 15% Especimen 3	24.5	13	318.51	26346.34	82.72
PET 15% Especimen 4	24.5	12.7	311.16	24768.63	79.6
PET 15% Especimen 5	24.2	12.7	307.35	25593.7	83.27
PET 17% Especimen 1	25	14	310.01	23832.15	76.88
PET 17% Especimen 2	24	13	312.01	23654.39	75.81
PET 17% Especimen 3	25	13	312.01	23323.81	74.75
PET 17% Especimen 4	25	13.5	313.51	22477.3	71.7
PET 17% Especimen 5	25	13	310.01	22306.66	71.96
PET 19% Especimen 1	25	13.2	318.51	20145.65	63.25
PET 19% Especimen 2	25.2	13.2	321.15	21140.15	65.83
PET 19% Especimen 3	24.5	13.5	319.26	19918.64	62.39
PET 19% Especimen 4	25	13.5	322.01	20374.26	63.27
PET 19% Especimen 5	25	13	315.51	19708.07	62.46
PET 20% Especimen 1	24	13	312.01	21345.85	68.41
PET 20% Especimen 2	24	13	312.01	21113.92	67.67
PET 20% Especimen 3	24.5	13	318.51	21459.34	67.37
PET 20% Especimen 4	24	13	312.01	21858.97	70.06
PET 20% Especimen 5	24.5	13.2	323.41	22331.84	69.05

PET 21% Especimen 1	24.5	13.5	319.26	20078.5	62.89
PET 21% Especimen 2	25	13.5	312.51	19094.79	61.1
PET 21% Especimen 3	24	13.5	314.51	19384.78	61.64
PET 21% Especimen 4	24.5	13.5	319.26	18725.33	58.65
PET 21% Especimen 5	25	13	315.51	18206.28	57.7
PET 23% Especimen 1	25	13.5	322.01	20846.36	64.74
PET 23% Especimen 2	25	14	322.51	21644.07	67.11
PET 23% Especimen 3	24.3	13.5	312.56	20270.03	64.85
PET 23% Especimen 4	24.5	13.5	315.26	20513.22	65.07
PET 23% Especimen 5	25	14	320.51	19432.65	60.63
PET 25% Especimen 1	24.5	13.5	315.26	19859.03	62.99
PET 25% Especimen 2	24.3	13.5	310.56	18637.97	60.01
PET 25% Especimen 3	24.5	13.5	315.26	19109.69	60.62
PET 25% Especimen 4	24.5	13.5	315.26	19508.67	61.88
PET 25% Especimen 5	24.2	13.5	311.21	20526.34	65.96

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro anterior se observa la carga neta que soporta el área neta del espécimen en prueba. Se muestra un aumento de la f'_c a medida que se incrementa el porcentaje de PET hasta el 13% de PET alcanzando el 101.76 kg/cm^2 , después empieza a decaer hasta llegar a un mínimo de 57.70 kg/cm^2 en 21% PET. Por otro lado, entre especímenes de un mismo grupo de porcentaje de PET varía un 4.60%.

Figura 25. Gráfico de esfuerzo compresión 14 días (1:1)

Fuente: Elaboración propia

Las unidades de albañilería con un % PET de 5, 7 y 13 son los que resultaron con mayor resistencia a la compresión. Por otro lado, las unidades con menor resistencia a la compresión son 23, 25 y 21 % PET.

En la Tabla 18, se presentan las resistencias a la compresión que soportaron las unidades antes de fisurarse de la dosificación 1:2 a los 14 días y en la Figura 26, un gráfico lineal en el que se comparan los valores de resistencia obtenidos en los diferentes porcentajes planteados.

Tabla 18. Datos de ensayo de resistencia a la compresión dosificación 1:2 a los 14 días

Espécimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área neta	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo Compresión (Área neta) (kg/cm²)
			(cm²)		
PET 5% Especimen 1	24	13	311.99	36566.4	117.2

PET 5% Especimen 2	24	12.8	307.19	34870.4	113.51
PET 5% Especimen 3	24	13	311.99	34756.8	111.4
PET 5% Especimen 4	24.1	12.8	308.47	34765.7	112.7
PET 5% Especimen 5	24	12.8	307.19	35481.6	115.5
PET 7% Especimen 1	24	13	311.99	32479.2	104.1
PET 7% Especimen 2	24	13	311.99	29769.6	95.42
PET 7% Especimen 3	24	13	311.99	28442	91.16
PET 7% Especimen 4	24	12.8	307.19	29721.6	96.75
PET 7% Especimen 5	24.2	13.1	317.01	30338.81	95.7
PET 9% Especimen 1	24	12.8	307.19	28596.24	93.09
PET 9% Especimen 2	24.1	13	313.29	29767.18	95.01
PET 9% Especimen 3	24.5	13	315.49	29007.88	91.94
PET 9% Especimen 4	24	13.1	314.39	29559.34	94.02
PET 9% Especimen 5	24	13	311.99	28766.12	92.2
PET 11% Especimen 1	24	13	311.99	28828.8	92.4
PET 11% Especimen 2	24.5	13.5	322.74	30018.68	93.01
PET 11% Especimen 3	24	13	311.99	30910.72	99.07
PET 11% Especimen 4	24	13	311.99	29702.24	95.2
PET 11% Especimen 5	24	13.3	319.19	31744.02	99.45
PET 13% Especimen 1	24	13	311.99	33607.6	107.72

PET 13% Especimen 2	24	13.2	316.79	32792.96	103.52
PET 13% Especimen 3	24.5	13	318.49	35305.73	110.85
PET 13% Especimen 4	24	13	311.99	35334	113.25
PET 13% Especimen 5	24.2	13	314.59	29350.93	93.3
PET 15% Especimen 1	24.5	14	342.99	28245.72	82.35
PET 15% Especimen 2	24.5	13.5	330.74	27761.6	83.94
PET 15% Especimen 3	24.5	13	318.49	30403.34	95.46
PET 15% Especimen 4	24.5	12.7	311.14	28350.09	91.12
PET 15% Especimen 5	24.2	12.7	307.33	28651.05	93.23
PET 17% Especimen 1	25	14	349.99	28540.32	81.54
PET 17% Especimen 2	24	13	311.99	28090.32	90.04
PET 17% Especimen 3	25	13	324.99	27760.89	85.42
PET 17% Especimen 4	25	13.5	337.49	27751.82	82.23
PET 17% Especimen 5	25	13	324.99	28348.3	87.23
PET 19% Especimen 1	25	13.2	329.99	24559.25	74.42
PET 19% Especimen 2	25.2	13.2	332.63	24770.5	74.47
PET 19% Especimen 3	24.5	13.5	330.74	22251.24	67.28
PET 19% Especimen 4	25	13.5	337.49	24068.72	71.32
PET 19% Especimen 5	25	13	324.99	23458.3	72.18
PET 20% Especimen 1	24	13	311.99	19829.83	63.56

PET 20% Especimen 2	24	13	311.99	17956.06	57.55
PET 20% Especimen 3	24.5	13	318.49	18206.93	57.17
PET 20% Especimen 4	24	13	311.99	18021.89	57.76
PET 20% Especimen 5	24.5	13.2	323.39	20847.5	64.46
PET 21% Especimen 1	24.5	13.5	330.74	17059.71	51.58
PET 21% Especimen 2	25	13.5	337.49	15680.12	46.46
PET 21% Especimen 3	24	13.5	323.99	15316.26	47.27
PET 21% Especimen 4	24.5	13.5	330.74	14715.94	44.49
PET 21% Especimen 5	25	13	324.99	16573.9	51
PET 23% Especimen 1	25	13.5	337.49	16011.21	47.44
PET 23% Especimen 2	25	14	349.99	16152.31	46.15
PET 23% Especimen 3	24.3	13.5	328.04	14934	45.52
PET 23% Especimen 4	24.5	13.5	330.74	14215.5	42.98
PET 23% Especimen 5	25	14	349.99	15466.67	44.19
PET 25% Especimen 1	24.5	13.5	330.74	17814.52	53.86
PET 25% Especimen 2	24.3	13.5	328.04	18634.21	56.8
PET 25% Especimen 3	24.5	13.5	330.74	18349.34	55.48
PET 25% Especimen 4	24.5	13.5	330.74	15762.5	47.66
PET 25% Especimen 5	24.2	13.5	326.71	15245.12	46.66

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro anterior se observa la carga neta que soporta el área neta del espécimen en prueba. Se muestra un aumento de la f'_c a medida que se incrementa el porcentaje de PET hasta el 13% de PET alcanzando el 113.25 kg/cm², después empieza a decaer hasta llegar a un mínimo de 48.98 kg/cm² en 23% PET. Por otro lado, entre especímenes de un mismo grupo de porcentaje de PET varía un 6.30%.

Figura 26. Gráfico de esfuerzo compresión a los 14 días (1:2)

Fuente: Elaboración propia

Las unidades de albañilería con un % PET de 5, 13 y 7 son los que resultaron con mayor resistencia a la compresión. Por otro lado, las unidades con menor resistencia a la compresión son 20, 19 y 23 % PET.

En los cuadros presentados, se pueden observar datos como largo y ancho, y la carga que soportaron las 5 unidades de albañilería que se tomaron de cada dosificación con plástico PET. Asimismo, en el ANEXO 6, se puede visualizar el certificado emitido por el laboratorio “H&D Contratistas y Consultores S.A.C”.

4.1.2 Ensayo de Variación Dimensional

Para el presente ensayo, se tomaron 10 muestras secas y mediante la utilización de un calibrador vernier, se realizaron 2 mediciones para la longitud, 4 para la altura y 2 para el ancho (Figura 27).

Figura 27. Medición de espécimen para el ensayo de Variación Dimensional, en la parte superior se realiza la medición de la altura y en la parte inferior, el ancho

Fuente: Elaboración propia

Después, se compararon los datos obtenidos con las dimensiones originales de la unidad de albañilería (Tabla 19), por ello, mediante la Ecuación 3, se pudo analizar las variaciones de dimensión en porcentaje. Los valores obtenidos al realizar el ensayo en 10 especímenes para cada dosificación con plástico PET se pueden observar en el ANEXO 3, mientras que en la 0 y 0 se pueden observar los cuadros correspondientes para un porcentaje del 5% PET.

Ecuación 3. Fórmula para hallar la variación de dimensión de la unidad de albañilería

$$\% V = \frac{DN - DP}{DN} \times 100$$

Tabla 19. Dimensiones de las unidades de albañilería planteadas

	L(cm)	H(cm)	A(cm)
DN =	24	9	14

Tabla 20. Datos de las dimensiones de los especímenes 1:1 para 5% PET

Dosificación 1:1 (5% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	25.0	25.0	25.0	-2%	8.2	8.3	8.1	7.8	8.1	9%	14.2	14.2	14.2	-5%
2	25.0	25.0	25.0	-2%	8.2	8.3	8.7	8.5	8.4	5%	13.7	13.5	13.6	-1%
3	25.0	25.0	25.0	-2%	8.5	8.7	8.4	8.4	8.5	4%	13.8	13.6	13.7	-1%
4	25.1	25.2	25.2	-3%	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	5%	13.7	13.8	13.8	-2%
5	25.2	24.8	25.0	-2%	8.1	8.6	8.4	8.4	8.4	6%	13.9	13.6	13.8	-2%
6	25.1	25.0	25.1	-3%	8.3	8.4	8.2	8.4	8.3	6%	13.9	13.7	13.8	-2%
7	25.1	25.1	25.1	-3%	8.3	8.6	8.2	8.2	8.3	6%	14.1	13.7	13.9	-3%
8	25.0	25.1	25.1	-3%	8.4	8.6	8.2	8.3	8.4	6%	14.0	13.7	13.9	-3%
9	24.9	25.0	25.0	-2%	8.2	8.4	8.4	8.2	8.3	6%	13.9	13.7	13.8	-2%
10	24.8	25.0	24.9	-2%	8.1	8.4	8.3	8.1	8.2	7%	14.0	13.7	13.9	-3%
				-3%					6%				-2%	

Fuente: Elaboración propia

La 0 muestra el formato que se utilizó para obtener las variaciones de dimensiones en cuanto su largo, ancho y alto, que resultan de la elaboración. Asimismo, en la Tabla 21 y Tabla 23 se presentan cuadros resumen de los resultados y en la Figura 28 y Tabla 29 Figura 29, un gráfico de barras de los mismos.

Tabla 21. Resumen de las variaciones de dimensión (1:1) por cada porcentaje de PET

Dosificación	L (%)	H (%)	A (%)
5%	-3%	6%	-2%
7%	1%	0%	2%
9%	-1%	2%	1%
11%	0%	1%	1%
13%	-1%	3%	0%
15%	-3%	0%	-3%
17%	-2%	0%	-2%
19%	-3%	0%	-2%

20%	-1%	2%	0%
21%	-2%	0%	-1%
23%	-3%	-2%	-2%
25%	-2%	-2%	-1%
PROMEDIO	-2%	1%	-1%

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar de la Tabla 21 el resumen de la variación de dimensiones. En el cual los especímenes con 13 % y 20 % de PET son los que mostraron menos variaciones. Por otro lado, los especímenes con 15 % de PET mostraron mayor variación.

Figura 28. Variación de dimensión 1:1

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica, se puede observar que la mayor variación en los especímenes es en la longitud (L). A partir del 15% de PET las variaciones aumentan en cuanto a Longitud (L) y altura (H).

- Dosificación 1:2

Tabla 22. Datos de las dimensiones de los especímenes 1:1 para 5% PET

Dosificación 1:2 (5% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	25.0	25.0	25.0	0.0	8.8	8.3	8.6	8.3	8.5	0.0	14.2	14.2	14.2	-5%
2	25.0	25.0	25.0	0.0	8.8	8.3	8.9	8.5	8.6	0.0	13.7	13.5	13.6	-1%
3	25.0	25.0	25.0	0.0	8.5	8.7	8.7	8.8	8.7	0.0	13.8	13.6	13.7	-1%
4	24.8	24.8	24.8	0.0	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	0.0	13.7	13.8	13.8	-2%
5	24.8	24.8	24.8	0.0	8.6	8.6	8.7	8.7	8.7	0.0	13.9	13.6	13.8	-2%
6	24.8	25.0	24.9	0.0	8.3	8.7	8.8	8.7	8.6	0.0	13.9	13.7	13.8	-2%
7	24.8	24.8	24.8	0.0	8.3	8.6	8.8	8.8	8.6	0.0	13.7	13.7	13.7	-1%
8	25.0	24.8	24.9	0.0	8.7	8.6	8.8	8.8	8.7	0.0	14.0	13.7	13.9	-3%
9	24.9	25.0	25.0	0.0	8.8	8.7	8.7	8.8	8.8	0.0	13.9	13.7	13.8	-2%
10	24.8	25.0	24.9	0.0	8.6	8.7	8.9	8.6	8.7	0.0	14.0	13.7	13.9	-3%
				-2%						2%				

Fuente: Elaboración propia

La 0 muestra el formato que se utilizó para obtener las variaciones de dimensiones en cuanto su largo, ancho y alto, que resultan de la elaboración.

Tabla 23. Resumen de las variaciones de dimensión (1:2) por cada porcentaje de PET

Dosificación	L (%)	H (%)	A (%)
5%	-2%	2%	-2%
7%	1%	0%	2%
9%	-1%	2%	1%
11%	0%	2%	1%
13%	-1%	1%	0%
15%	-2%	1%	-1%
17%	-2%	1%	-2%
19%	-2%	0%	-2%
20%	-1%	2%	0%
21%	-1%	1%	0%
23%	-2%	1%	-1%
25%	0%	0%	-1%
PROMEDIO	-1%	1%	0%

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar de la Tabla 23 el resumen de la variación de dimensiones. En el cual, los especímenes con 13 %, 20 % y 21 % de PET son los que mostraron menos variaciones. Por otro lado, los especímenes con 17 % y 19% PET mostraron mayor variación.

Figura 29. Variación de dimensión 1:2

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica, se puede observar que la mayor variación en los especímenes es en el ancho L. Se encuentra mayor variación entre especímenes muestreadas en 15,17 y 19 % PET.

4.1.3 Ensayo de Alabeo

Con ayuda de una cuña de medición y una plancha de borde recto (Figura 30), se realizaron las mediciones de alabeo en 10 especímenes y se tomaron los datos para cada cara opuesta de mayor área. Se realizaron 2 medidas colocando la plancha a lo largo de la superficie y en posición de las rectas con mayor longitud.

Figura 30. Procedimiento de ensayo de alabeo

Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos al realizar el ensayo en 10 especímenes para cada dosificación se pueden observar en el ANEXO 4. En la Tabla 24 y Tabla 25, se muestra el resumen de los resultados obtenidos en mm de la prueba de alabeo para la dosificación 1:1 y 1:2. Los valores de alabeo se promediaron para cada lado y luego para las 10 muestras.

- Dosificación 1:1

Tabla 24. Resumen de alabeo cóncavo y convexo según dosificación (1:1)

Dosificación	Concavidad (mm)	Convexidad (mm)
5%	0.10	0.50
7%	0.05	0.73
9%	0.20	0.50
11%	0.30	0.25
13%	0.05	0.58
15%	0.20	0.35
17%	0.25	0.35
19%	0.10	0.75
20%	0.30	0.65
21%	0.15	0.60
23%	0.15	0.80
25%	0.23	0.58

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 31 y Figura 32, se muestran 2 gráficos de barra para la dosificación 1:1 y 1:2 respectivamente que nos permitieron comparar los resultados de concavidad y convexidad para cada porcentaje.

Figura 31. Alabeo 1:1

Fuente: Elaboración propia

- Dosificación 1:2

Tabla 25. Resumen de alabeo cóncavo y convexo según dosificación (1:2)

Dosificación	Concavidad (mm)	Convexidad (mm)
5%	0.10	1.20
7%	0.05	0.95
9%	0.20	0.60
11%	0.80	0.40
13%	0.20	0.55
15%	0.20	0.35
17%	0.25	0.35
19%	0.10	0.75
20%	0.25	0.75
21%	0.10	0.75
23%	0.10	1.10
25%	0.20	0.70

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 25, se muestra un cambio abrupto en la convexidad de las unidades de albañilería a diferencia de a la concavidad. El mayor y menor % de variación cóncava es de 0.80 y 0.20 respectivamente. Asimismo, el mayor y menor convexidad son 1.2 y 0.35.

Figura 32. Alabeo 1:2

Fuente: Elaboración propia

4.2 Ensayo de Absorción

Se tomaron 5 muestras de cada tipo de dosificación y secaron las mismas en un horno por 24 horas (Figura 33), para, luego, pesarlas:

Figura 33. Especímenes en el horno para su secado

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se sumergieron los especímenes en agua potable por 24 horas. Luego, se secaron superficialmente con un paño para obtener los datos de sus pesos y realizar el cálculo del % Absorción. Los valores obtenidos al realizar el ensayo en 5 especímenes para cada dosificación se pueden observar en el ANEXO 5. En la Tabla 26 y Tabla 27, se resumen los resultados obtenidos de la prueba de absorción:

- Dosificación 1:1

Tabla 26. Resumen absorción según dosificación 1:1

Dosificación	Promedio (%)
5%	2.18
7%	2.64
9%	2.24
11%	2.99
13%	3.08
15%	3.21
17%	3.31
19%	4.15
20%	4.31
21%	4.41
23%	4.58
25%	5.34

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla 26 que a medida aumenta el porcentaje PET en los especímenes tienen mayor absorción. En esta dosificación llega a 5.34% de absorción.

- Dosificación 1:2

Tabla 27. Resumen absorción según dosificación 1:1

Dosificación	Promedio (%)
5%	2.05
7%	2.51
9%	2.11
11%	2.86
13%	2.95
15%	3.08
17%	3.18
19%	4.02

20%	4.17
21%	4.28
23%	4.45
25%	5.20

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la Tabla 27 que a medida aumenta el porcentaje PET en los especímenes tienen mayor absorción. En esta dosificación llega a 5.20 % de absorción.

4.3 Determinación de Dosificación Óptima

Con los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a los especímenes de concreto con componente plástico PET y compuestas por diferentes dosificaciones, se pudo determinar una dosificación que permitía la elaboración de unidades de albañilería con mejores características físicas y mecánicas.

En la Tabla 28 y Tabla 29, se muestra un resumen de los resultados obtenidos al realizarse las distintas pruebas:

- Dosificación 1:1

Tabla 28. Resumen de resultados de los ensayos clasificatorios según dosificación 1:1

Dosificación	Variación de la dimensión (%)	Alabeo (mm)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)
5%	0%	0.3	108
7%	1%	0.4	99
9%	1%	0.4	94
11%	1%	0.3	90
13%	1%	0.3	98
15%	-2%	0.3	83
17%	-2%	0.3	74
19%	-1%	0.4	63
20%	0%	0.5	69
21%	-1%	0.4	60
23%	-2%	0.5	64
25%	-2%	0.4	62

Fuente: Elaboración propia

- Dosificación 1:2

Tabla 29. Resumen de resultados de los ensayos clasificatorios según dosificación 1:2

Dosificación	Variación de la dimensión (%)	Alabeo (mm)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)
5%	-1%	0.7	114
7%	1%	0.5	97
9%	1%	0.4	93
11%	1%	0.6	96
13%	0%	0.4	106
15%	-1%	0.3	89
17%	-1%	0.3	85
19%	-1%	0.4	72
20%	0%	0.5	60
21%	0%	0.4	48
23%	-1%	0.6	45
25%	0%	0.5	52

Fuente: Elaboración propia

Se concluyó que la dosificación más óptima es 1:2 con porcentaje PET de 13 %, debido a que presenta mayor capacidad de resistencia al esfuerzo a la compresión y propiedades más óptimas con respecto a la variación dimensional y alabeo, siendo los valores obtenidos mínimos.

5 FORMAS PLANTEADAS DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA TIPO MODULAR

Para el cumplimiento del segundo objetivo de la presente investigación, se utilizaron los pasos del método científico para determinar la forma de las unidades de albañilería tipo modular que se elaborará con la dosificación óptima encontrada en el objetivo anterior. Para ello, se propusieron 3 formas elaboradas y utilizadas en diferentes países.

1) Definición y planteamiento del problema

¿Existe algún modelo de unidad de albañilería tipo modular cuyas características sean óptimas para zonas con alto riesgo sísmico?

2) Hipótesis

Existe una forma de unidad de albañilería tipo modular cuyas características son aptas para zonas con riesgo sísmico y que pueda ser usado para muro no portante. Además, cuyas medidas se pueden adaptar a las del ladrillo tradicional usado en la ciudad de Arequipa.

3) Recogida y análisis de datos

Se hizo una investigación sobre las distintas unidades de albañilería modulares que existen en otros países. Así, se plantearon, inicialmente, tres tipos de formas de unidades más comunes, los cuales se pueden observar en las Figura 34, 0 y Figura 36. Estas presentan las medidas propuestas por las autoras de este proyecto de investigación y permiten un tipo de enganche diferente que varía tanto su resistencia como su adherencia.

- Forma propuesta N°1

Bloques entrelazados con 4 formas distintas por su uso que se denominan como estándar, inferior, superior y la mitad de bloques. Esto hace referencia al lugar en que se colocará la unidad de albañilería. Pueden ser utilizados en la construcción de una pared, cuyas capas inferiores y superior deben hacerse con aquellas denominadas inferior.

Por otro lado, las unidades de albañilería (Figura 34) tienen un mecanismo de enclavamiento entre ellos debido a la presencia de dientes que permiten que todas las unidades encajen entre sí, disminuyendo el uso de mortero en las juntas; y en caso de movimientos sísmicos por su forma particular permite la absorción de la energía sísmica evitando que se sufra daños significativos en la estructura. Por esa razón, en la presente tesis se les denominará unidades de enclavamiento.

Figura 34. Dimensiones de la unidad de albañilería de enclavamiento

Fuente: Elaboración propia

- Forma propuesta N°2

Este tipo de unidad de albañilería (0) tiene dos huecos en forma circular en la parte superior que sobresalen y en la parte inferior es hundido para que funcione como un sistema de acoplamiento entre uno y otra unidad de albañilería. Además, se necesita una pequeña cantidad de mortero para aumentar su adherencia. La forma de esta unidad es más parecida a los tradicionales como los ladrillos King Kong manual y de 18 hh. En la siguiente figura se pueden apreciar la forma del mismo:

Figura 35. Ladrillo de concreto 2HH

Fuente: Team SustentarTV, News for life planet (2014) Ladrillos sustentables con forma de Legos

- Forma propuesta N°3

Esta unidad de albañilería tiene una forma particular. Las unidades del sistema se acoplan de tal forma que la primera hilada será enterrada 10 cm y la siguiente será encajada con la primera hasta la mitad de la segunda hilada. Por tal razón, la última hilada está compuesta por las unidades de albañilería que serán partidos por la mitad, asimismo, debido al sistema, el espesor del muro sin revoque será de 15.5 cm.

En la Figura 36, se puede observar los ladrillos modelos que se realizaron en la empresa mexicana Armados Omega (ARMO) junto con el reconocido arquitecto Jorge Capitán.

Figura 36. Ejemplo de ensamblaje

Fuente: UPSOCL (2016) Innovadores ladrillos podrían ser una solución para construir más viviendas en el mundo

4) Confrontación de los datos con la hipótesis

- Las 3 propuestas tienen una forma que permite apilar entre ellos con mínimo mortero en su junta.
- Con respecto a las formas propuestas 2 y 3, no se tiene suficiente información o información confiable acerca de sus medidas, por lo que estas podrían ser adaptadas a las del ladrillo tradicional en Arequipa.
- La forma propuesta 1, ha sido usada en investigaciones que garantizaron su efecto antisísmico, adecuado para una ciudad con frecuencia de sismos.

5) Conclusiones y generalización de los resultados

Para esta investigación, la forma propuesta 1 es la más apropiada debido a que se tiene suficiente información acerca de sus características, además de que su forma garantiza un comportamiento óptimo ante eventos sísmicos.

6 ELABORACIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA PROTOTIPOS

En el presente capítulo, se describirá cómo se realizaron las unidades de albañilería modulares. Inicialmente, se usó un molde, el cual debía formar los mismos con las medidas planteadas de la forma propuesta 1 del capítulo anterior, para, posteriormente elaborar y curar las muestras con la dosificación óptima establecida en el Capítulo 4.

6.1 Preparación De La Materia Prima

Según la norma E.020 (SENCICO, 2006), los materiales deben cumplir parámetros que aseguren su correcta reacción. Las mezclas se realizaron con la dosificación determinada para el primer objetivo del presente trabajo de investigación. El molde que se utilizó era metálico y contaba con 10 piezas: una base, dos planchas metálicas que cubrían dos superficies laterales opuestas de la unidad de albañilería, dos caras laterales metálicas diseñadas para que puedan darle la forma de enclavamiento a la unidad de albañilería, dos varillas metálicas colocadas en la parte central del molde que puedan conformar los huecos, y 4 varillas colocadas en los extremos del molde que asegurarían un correcto acoplamiento de las partes. El mismo se puede observar en la Figura 37:

Figura 37. Molde de la unidad de albañilería modular

Fuente: Elaboración propia

Así, las medidas de las muestras obtenidas eran las mostradas en la imagen Tabla 30.

Tabla 30. Medidas de la unidad de albañilería modular

L (cm)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	A (cm)
26	11	14	13

Fuente: Elaboración propia⁵

Lo que se puede observar en la tabla son las medidas reales del largo, alto desde la base hasta la superficie sin arista, alto desde la base hasta la superficie con arista y ancho del espécimen después de ser desmoldado

El procedimiento de preparación de la mezcla fue el mismo ejecutado para la realización de las muestras con forma del ladrillo tradicional en Arequipa, como se puede observar en la 0 y Figura 39.

Figura 38. Enrasado de la mezcla en el molde con forma modular

Fuente: Elaboración propia

Figura 39. Ladrillo de enclavamiento después del desmolde

Fuente: Elaboración propia

⁵ Medidas reales del largo, alto desde la base hasta la superficie sin arista, alto desde la base hasta la superficie con arista y ancho del espécimen después de ser desmoldado.

Así, las unidades se dejaron reposar en agua para el curado correspondiente. Se realizaron 10 muestras con un tiempo de vida de 7 y 28 días.

7 ENSAYOS DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA MODULAR

Con este procedimiento experimental se busca demostrar que se puede realizar un tipo de unidad de albañilería con componente PET y forma de anclaje entre ellos para optimizar las características físicas y mecánicas de las unidades de albañilería. Además, se busca que este tipo de ladrillo llegue alcanzar y/o superar las características de ladrillos convencionales. Para ello, se realizaron las pruebas de Resistencia a la Compresión, Variación Dimensional, Alabeo y Absorción.

7.1 Ensayos clasificatorios

7.1.1 Ensayo de Resistencia a la Compresión

Para la realización del ensayo, se tomaron 5 especímenes de prueba, después de haber sido curados por inmersión a los 14 días, los cuales se cubrieron en la parte superior e inferior de los mismos con yeso (Figura 40). Asimismo, el ensayo fue realizado en el laboratorio “H&D Contratistas y Consultores S.A.C”. El área de contacto fue de 404.52 cm², siendo determinado este valor en AutoCad debido a su dificultad para realizarlo manualmente.

Figura 40. Ladrillos de enclavamiento con cobertura de yeso

Fuente: Elaboración propia

La prueba se realizó en una máquina compresión hidráulica (modelo STYE-2000) (0) para, posteriormente, realizar los cálculos.

Figura 41. Ensayo de compresión en unidad de albañilería modular

Fuente: Elaboración propia

Las muestras de los especímenes se elaboraron el día 10 de noviembre y se ejecutó el ensayo de resistencia a la compresión el 25 de noviembre.

En la Tabla 31 y Tabla 32, las resistencias a compresión que soportaron las unidades antes de fisurarse a los 7 y 28 días. Además, se indican las cargas que soportaron:

- A 7 días

Tabla 31. Datos de ensayo de esfuerzo a la compresión en ladrillo modular a 7 días

Especímen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área neta	Carga Máxima	Esfuerzo Compresión (Área neta)
			(cm ²)	(kg)	(kg/cm ²)
PET 13% Especimen 1	26.20	12.90	337.98	32602.82	96.46
PET 13% Especimen 2	26.00	13.10	340.60	29150.68	85.59
PET 13% Especimen 3	26.10	13.00	339.30	29808.42	87.85
PET 13% Especimen 4	25.95	12.95	336.05	27941.69	83.15
PET 13% Especimen 5	26.00	13.10	340.60	31671.41	92.99

Fuente: Elaboración propia

- A 28 días

Tabla 32. Datos de ensayo de esfuerzo a la compresión en ladrillo modular a 28 días

Especimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área neta	Carga Máxima	Esfuerzo Compresión (Área neta)
			(cm ²)	(kg)	(kg/cm ²)
PET 13% Especimen 1	26.10	13.10	341.91	40414.63	118.20
PET 13% Especimen 2	25.95	13.05	338.65	38923.58	114.94
PET 13% Especimen 3	25.80	13.15	339.27	38779.26	114.30
PET 13% Especimen 4	26.10	13.00	339.30	39850.75	117.45
PET 13% Especimen 5	26.15	13.10	342.51	39202.92	114.46

Fuente: Elaboración propia

En las tablas, se muestran los datos de largo y ancho tomados antes de realizada la prueba de resistencia, además de la carga máxima. Se puede notar que la resistencia promedio a los 7 días es de 89.208 kg/cm² y a los 28 días es de 115.87 kg/cm², por lo que los valores de resistencia aumentaron en promedio 26.66 kg/cm². Asimismo, los datos del máximo y mínimo valor de los esfuerzos a la compresión a los 7 días, tienen una diferencia de 13.31 kg/cm², mientras que para un periodo de 28 días presenta una diferencia de 3.9 kg/cm². En este sentido, la desviación estándar de los resultados obtenidos para ambos periodos de tiempo son 5.443 y 1.819 respectivamente, con ello se puede observar que los valores resistencia para los 5 especímenes son más homogéneos a los 28 días. Finalmente, el máximo esfuerzo a la compresión a los 28 días es de 118.20 kg/cm² y el mínimo de 114.30 kg/cm².

En el ANEXO 6, se podrá observar los certificados emitidos por el laboratorio.

7.1.2 Ensayo de Variación Dimensional a ladrillo modular

Para el presente ensayo, se tomaron 10 muestras secas y mediante la utilización de un calibrador vernier, se realizaron 3 mediciones para la longitud, 8 para la altura (4 para la distancia entre la base y la parte superior de la arista, y 4 para la distancia entre la base y la superficie superior sin arista) y 2 para el ancho (Figura 42), para, después, comparar los datos obtenidos con las dimensiones originales de la unidad de albañilería..

Figura 42. Medición de las unidades de albañilería modulares. En la parte superior, la medición de la altura desde la base hasta la superficie sin arista y en la parte inferior el ancho

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 33, se observan las medidas de la unidad de albañilería modular y en la Figura 43 un gráfico representativo de las dimensiones del mismo.

Tabla 33. Datos de la unidad de albañilería modular

DN =	L (cm)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	A (cm)
	26	11	14	13

Fuente: Elaboración propia

Figura 43. Medidas de la unidad de albañilería modular propuesta

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 34, Tabla 35, Tabla 36 y Tabla 37, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 34. Datos de variación de la longitud en la unidad de albañilería modular con 13% PET 1:2

Especimen	L (cm)			L _{promedio} (cm)	%V
	1	2	3		
1	25.5	25.8	25.4	25.6	0%
2	26.0	25.8	25.8	25.9	-1%
3	25.4	25.6	25.5	25.5	0%
4	25.9	26.0	25.7	25.9	-1%
5	26.0	25.4	25.5	25.6	-1%
6	26.0	25.4	25.5	25.6	-1%
7	25.5	26.1	25.8	25.8	-1%
8	25.5	25.7	25.9	25.7	-1%
9	26.0	25.4	25.9	25.8	-1%
10	25.9	25.6	25.5	25.7	-1%
					-1%

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la Tabla 34, se puede notar que los valores de longitud medidos en los 10 especímenes oscilan entre 25.4 cm y 26.1 cm, siendo el promedio de los datos obtenidos de 25.71 cm y la desviación estándar de 0.232. Por lo mencionado, la dispersión de las medidas obtenidas es baja, diferenciándose en promedio en 0.29 cm del valor inicialmente planteado. Asimismo, se observa que en la mayoría de casos, el %V es igual a -1%, mientras que sólo dos especímenes presentan 0% de variación dimensional.

Tabla 35. Datos de variación de la altura 1 en la unidad de albañilería modular con 13% PET 1:2

Especimen	H ₁ (cm)				Altura promedio (H _{prom1}) (cm)	%V
	1	2	3	4		
1	10.5	10	10.3	10.5	10.3	2%
2	10.6	10.8	10.8	10.9	10.8	-3%
3	10.7	10.5	10.8	10.5	10.6	-1%
4	10.7	10.4	10.6	10.6	10.6	-1%
5	10.9	10.6	10.8	10.5	10.7	-2%
6	10.4	10.5	10.6	10.5	10.5	0%
7	10.4	10.6	10.5	10.5	10.5	0%
8	10.6	10.7	10.8	10.6	10.7	-2%
9	10.5	10.7	10.5	10.6	10.6	-1%
10	10.7	10.7	10.5	10.7	10.7	-1%
						-1%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 35, se puede notar que los valores de altura medidos desde la base hasta la superficie superior sin arista en los 10 especímenes oscilan entre 10 cm y 10.9 cm, siendo el promedio de los datos de 10.6 cm y la desviación estándar de 0.170. Por lo mencionado, la dispersión de las medidas obtenidas es baja, diferenciándose en promedio en 0.9 cm del valor inicialmente planteado. Asimismo, se observa que el %V varía entre 0 y -3%, siendo el valor promedio del porcentaje de variación dimensional de -1%.

Tabla 36. Datos de variación de la altura 2 en la unidad de albañilería modular con 13% PET 1:2

Especímen	H ₂ (cm)				Altura promedio (H _{prom2}) (cm)	%V
	1	2	3	4		
1	14	13.8	14	14	14.0	-1%
2	13.8	14	13.8	13.7	13.8	0%
3	13.7	13.8	13.9	13.5	13.7	1%
4	13.6	13.9	14	13.9	13.9	0%
5	13.6	13.7	13.6	14	13.7	1%
6	13.9	14	14	14	14.0	-1%
7	14.1	14	14.1	13.5	13.9	-1%
8	14.1	13.7	13.7	13.7	13.8	0%
9	13.9	13.6	13.7	13.5	13.7	1%
10	13.9	14	13.7	14	13.9	-1%
						0%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 36, se puede notar que los valores de altura medidos desde la base hasta la superficie superior con arista en los 10 especímenes oscilan entre 13.5 cm y 14.1 cm, siendo el promedio de los datos de 13.84 cm y la desviación estándar de 0.180. Por lo mencionado, la dispersión de las medidas obtenidas es baja, diferenciándose en promedio en 1.14 cm del valor inicialmente planteado. Asimismo, se observa que el %V varía entre -1% y 1%, siendo el valor promedio del porcentaje de variación dimensional de 0%.

Tabla 37. Datos de variación del ancho en la unidad de albañilería modular con 13% PET 1:2

Especimen	A (cm)				Ancho promedio (cm)	%V
	1	2	3	4		
1	12.6	12.9	12.8	12.7	12.8	0%
2	12.7	12.8	12.8	12.9	12.8	0%
3	12.5	12.7	12.5	12.6	12.6	2%
4	13	12.9	12.9	12.8	12.9	-1%
5	12.8	12.7	13	12.7	12.8	0%
6	12.6	12.8	12.6	12.6	12.7	1%
7	12.8	13.1	12.7	12.8	12.9	0%
8	12.7	13.2	12.8	12.6	12.8	0%
9	12.9	13.1	13	13.1	13.0	-2%
10	13	13.1	12.8	13	13.0	-1%
						0%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 37, se puede notar que los valores de ancho en los 10 especímenes oscilan entre 12.5 cm y 13.2 cm, siendo el promedio de los datos de 12.83 cm y la desviación estándar de 0.179. Por lo mencionado, la dispersión de las medidas obtenidas es baja, diferenciándose en promedio en 0.17 cm del valor inicialmente planteado. Asimismo, se observa que el %V varía entre -1% y 2%, siendo el valor promedio del porcentaje de variación dimensional de 0%.

7.1.3 Ensayo de Alabeo

Con ayuda de una cuña de medición y una plancha de borde recto, se realizaron las mediciones de alabeo en 10 especímenes y se tomaron los datos para cada cara opuesta de mayor área. Se realizaron 2 medidas colocando la plancha a lo largo de la superficie y en posición de las rectas con mayor longitud. En Tabla 38, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 38. Datos de variación cóncava y convexa para Unidad de albañilería modular 13% PET 1:2

Dosificación 1:2 (13% PET)						
Especímen	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	3	0	1.5
2	1	0	0.5	0	2	1
3	2	0	1	0	1	0.5
4	0	0	0	1	1	1
5	1	0	0.5	0	2	1
6	0	0	0	1	1	1
7	2	0	1	0	1	0.5
8	3	2	2.5	0	0	0
9	0	1	0.5	1	0	0.5
10	2	0	1	0	2	1
			0.7			0.8

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que la mayoría de especímenes presentan concavidad en la cara superior, cuyo valor oscila entre 0 y 3 mm, estando este último presente sólo en 2 muestras para la misma región de la unidad de albañilería modular. Asimismo, se puede notar que la diferencia de los valores de concavidad y convexidad promedio es 0.1, siendo homogéneos.

7.2 Ensayo de Absorción

Se tomaron 5 muestras y con el procedimiento explicado previamente (Figura 44) se obtuvieron los resultados de la Tabla 39 y Figura 45:

Figura 44. Especímenes modulares en el horno para el secado

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39. Tabla de absorción a unidad de albañilería modular 13% PET 1:2

Dosificación 1:2 (13% PET)			
Especimen	Peso (kg)		Absorción (%)
	W_d	W_s	
1	3.111	3.199	2.853
2	3.099	3.190	2.933
3	3.081	3.152	2.308
4	3.126	3.226	3.207
5	3.199	3.304	3.281

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 39, se puede observar que los valores de peso seco (W_d) de la unidad de albañilería modular para los 5 especímenes oscilan entre 3.081 kg y 3.199 kg, siendo la diferencia de ambos datos de 0.118 kg. Con respecto a los valores de peso saturado (W_s), el valor máximo es de 3.304 kg y el valor mínimo de 3.152 kg, siendo la diferencia de 0.152kg. Así, la desviación estándar en ambos casos es de 0.045 y 0.056, los cuales nos demuestran que la dispersión de los valores con respecto a la media es baja. Por otro lado, la media aritmética de la diferencia entre el peso saturado con el peso seco de las 5 muestras es de 0.91, siendo el porcentaje de absorción promedio 2.91%.

Figura 45. Ensayo de Absorción en unidad de albañilería modular 13% PET 1:2

Fuente: Elaboración propia

8 ELABORACIÓN DE MURETE

En el objetivo N°4, se propuso la elaboración de un muro con la unidad de albañilería modular propuesto compuesto con plástico PET y con las características más óptimas. Así, durante el proceso, se hizo la medición del tiempo de elaboración del muro, así como la cantidad de materiales que serían utilizados, ya que se consideró el uso de una mezcla de mortero en las juntas del mismo.

8.1 Construcción del murete

Se planteó la ejecución de un murete con aparejo de sogá de medidas de $1 \times 1 \text{ m}^2$ aproximadamente, construido con la ayuda de un operario como se observa en la Figura 46.

Figura 46. Elaboración de murete con unidad de albañilería propuesto

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, la junta tuvo un espesor aproximado de 1 cm y la mezcla de mortero usada para su elaboración tuvo una dosificación de 1 de cemento por 2 de arena. La junta se utilizó para asegurar la estabilidad del murete.

Para poder determinar el rendimiento de la elaboración de un muro con las unidades de albañilería modulares propuestas y compuestas con una dosificación de cemento-arena de 1:2 y con una adición de 13% de plástico PET, se utilizó un cronómetro que señaló el tiempo que demora para construir un murete de 1m de lado aproximadamente.

8.2 Resultados de la elaboración del murete

El tiempo que se utilizó para la ejecución del murete de un metro de lado se puede observar en la Tabla 40.

Tabla 40. Datos de tiempo de ejecución para elaboración de murete

	Medidas de muro	Tiempo de ejecución (horas)
Experimentación	0.94m x 1.07m	1
Por 1m ²	1m x 1m	0.963

Así, en la Tabla 41, se puede observar la cantidad de unidades de albañilería que se obtuvo durante la experimentación para el muro de 0.94 x 1.07 m², también, para las mismas medidas de muro se hizo el cálculo de la cantidad de unidades considerando el largo (L) de cada unidad modular como 25.71 cm y el alto (H₁) como 10.60 cm. Las medidas mencionadas fueron tomadas del ensayo de variación dimensional, en el cual se midieron el largo (L), el ancho (A), el alto desde la base hasta la superficie superior sin arista (H₁) y el alto desde la base hasta la superficie superior con arista (H₂) de 10 especímenes; de los cuales se obtuvo un valor promedio. Asimismo, se obtuvo la cantidad de unidades de albañilería para un murete de 1 m de lado, la cual se puede observar en la misma tabla. Para el conteo de las unidades en el murete construido no se consideró el endentado y para el cálculo se tomó en cuenta el espesor de la junta, el cual es de aproximadamente 1 cm. Posteriormente, se calculó el número de unidades de albañilería considerando un porcentaje de desperdicio de 5%, según la Tabla de Porcentaje de Desperdicios del libro Costos y presupuestos de edificación de CAPECO (2014) para ladrillos para muros. Finalmente, se puede observar, en la tabla mencionada, la cantidad de unidades en total que se utilizarían para un murete de 0.94 x 1.07 m² y de 1 m de lado.

Tabla 41. Datos de cantidad de unidades de albañilería para elaboración de murete

	Medidas de muro	Cantidad de unidades sin desperdicio	Cantidad de unidades con desperdicio	Cantidad de unidades total
Experimentación	0.94m x 1.07m	32	-	-
Calculado	0.94m x 1.07m	32.5	34.1	34
Por 1m ²	1m x 1m	32.3	33.9	34

Fuente: Elaboración propia

Figura 47. Murete de 1x1 m² compuesto por unidades de albañilería modulares

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en la Tabla 42 se puede observar los pesos de los materiales utilizados en la elaboración del mortero tanto para el ejecutado como para un muro de 1x1 m²:

Tabla 42. Datos de la elaboración del mortero

	Dosificación de junta de mortero	Peso del mortero (kg)	Peso del cemento (kg)	Peso de arena (kg)	Peso de agua (kg)
Real	1:2	32	9.10	18.20	4.55
Por 1m2	1:2	30.83	8.77	17.54	4.38

Fuente: Elaboración propia

9 RESULTADOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

En el presente capítulo, se compararán las propiedades mecánicas y físicas, así como el impacto ambiental y el costo de las unidades de albañilería modular y tradicional, para, posteriormente, determinar si la unidad propuesta presenta características más óptimas para su uso en la ciudad de Arequipa.

9.1 Propiedades mecánicas

9.1.1 Resistencia a la Compresión

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se puede ver los valores de resistencia de la unidad de albañilería modular y el del ladrillo tradicional en Arequipa. Se puede notar que la unidad de albañilería modular propuesto presenta una resistencia en un rango del 114.3 kg/cm² a 118.2 kg/cm², siendo 115.87 kg/cm² el valor promedio de esfuerzo a la compresión de las 5 muestras ensayadas. Con ello, se puede concluir que la unidad de albañilería propuesta podría ser clasificada como Bloque P según la Norma Técnica E-070 (SENCICO, 2006), perteneciendo a la misma clase que la del ladrillo tradicional.

Tabla 43. Unidad de albañilería propuesta, el bloque de concreto, el ladrillo King Kong industrial y artesanal según su resistencia

Tipo de unidad de albañilería	Resistencia a la compresión kg/cm ²
Unidad de albañilería modular	115
Ladrillo de concreto	97
Ladrillo King Kong Artesanal	83
Ladrillo King Kong industrial	157

Fuente: Elaboración propia

9.2 Propiedades físicas

9.2.1 Variación de Dimensión

Con respecto a la variación dimensional presentada por las unidades de albañilería se puede notar que el propuesto puede ser clasificado como Bloque P o Bloque NP según la norma E 0.70⁶ (SENCICO, 2006), ya que las variaciones de las dimensiones en porcentaje de la unidad

⁶ El cuadro se encuentra en el acápite 5.2 Clasificación para fines estructurales de la norma E 0.70 (SENCICO, 2006)

de albañilería (%V) se encuentran en los límites establecidos como se muestra en la Tabla 7. Asimismo, se puede notar en la Tabla 34, Tabla 35, Tabla 36 y Tabla 37, los porcentajes de variación dimensional para su largo, ancho y altura en todas las muestras varían entre 1 y 2%, mientras que tales valores para el ladrillo tradicional llegan al 3%. En la Tabla 44, se presenta la variación dimensional de ambas unidades y su clasificación, así, los datos del ladrillo tradicional fueron tomados según lo mencionado en la sección de marco teórico sobre el ladrillo King Kong H-9. Esta experimentación demuestra que la unidad de albañilería propuesto presenta una mayor resistencia estructural por mostrar menor variabilidad para una adecuada adhesión entre mortero y unidad.

Tabla 44. %V presentado para la unidad de albañilería propuesto y el tradicional

Tipo de Unidad	Largo (cm)	%V	Centro (cm)	%V	Alto (cm)	%V
Unidad de albañilería modular	26.0	-1.0	15.0	-1.0	12.2	0.0
Ladrillo de concreto	30.7	0.0	19.0	0.0	14.0	0.0
Ladrillo King Kong industrial	24.3	-1.0	13.1	-1.0	9.3	-3.0

Fuente: Elaboración propia

9.2.2 Alabeo

Con respecto al alabeo en la unidad de albañilería propuesta (Tabla 45), se puede notar la unidad de albañilería de enclavamiento puede ser considerado como Bloque P o Bloque NP según la Norma E.070 (SENCICO, 2006), cuyo cuadro en el que se clasifican las unidades de albañilería para fines estructurales se puede observar en la Tabla 7. Esto es, debido a que el máximo valor de alabeo es de 0.8 mm. Asimismo, el alabeo es mucho menor al presentado por el ladrillo tradicional, el cual tiene un valor de 2mm (Quiun, Bartolomé & Giuseppe, 2007), ello causaría que exista una mayor adherencia entre el mortero y la unidad de albañilería, y que el mecanismo funcione adecuadamente sin la presencia significativa de vacíos presentados generalmente en las juntas horizontales.

Tabla 45. Concavidad y convexidad en la unidad de albañilería propuesto

Tipo de Unidad	Concavidad (mm)	Convexidad (mm)
U. de albañilería modular	0.2	0.8

Fuente: Elaboración propia

9.2.3 Peso

En la construcción, un punto importante para el diseño estructural es el peso. Según la Norma E.060 (SENCICO, 2009), las estructuras deberán diseñarse para resistir todas las cargas que puedan obrar sobre ella durante su vida útil. En este sentido, las cargas que deben considerarse son las estipuladas en la Norma E.020 (SENCICO, 2006), la cual establece como carga viva, considerado como 100 kgf/m^2 (SENCICO, 2006) para divisiones móviles de altura completa, o carga muerta el peso de la tabiquería, y que deberá ser usado para el análisis y diseño de las estructuras de concreto armado. Así, mientras el peso de los elementos que componen a este elemento de cerramiento sea menor, la dimensión de los elementos estructurales disminuiría.

Por lo mencionado, se compararán los diferentes niveles de densidad de los elementos en la siguiente investigación. El plástico PET tiene una densidad muy baja a comparación a la del agregado. En la Figura 48, se puede apreciar el peso específico de la unidad de albañilería propuesta:

Figura 48. Dimensión definida para la unidad de albañilería propuesto

Fuente: Elaboración propia

Se tiene las medidas de la unidad de albañilería modular (Tabla 46), mediante un cálculo geométrico se obtiene el volumen (cm^3). La longitud del elemento es de 26 cm, el ancho de 13 cm, altura de 9.7 y 12.7 cm debido a la forma.

Tabla 46. Datos de las dimensiones de la unidad de albañilería modular propuesto

L (cm)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	A (cm)
26.0	11	14	13.0

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Volumen (cm}^3\text{)} = 3278.6 \text{ cm}^3$$

Asimismo, en la Tabla 47, se puede observar el peso específico de las tres unidades a comparar.

Tabla 47. Peso específico de las unidades de albañilería analizados

Unidades de albañilería	Peso (gr)	Volumen (cm ³)	Peso Específico (gr/cm ³)
L. modular	3250	3279	0.991
Ladrillo KK artesanal	4100	2574	1.593
Ladrillo de concreto	4500	1875	2.400

Fuente: Elaboración propia

Esta disminución del peso de la unidad de albañilería modular de 0.262 kg y 0.662 kg en comparación con los ladrillos tradicionales en Arequipa sería bastante útil si la tabiquería, en caso de sismo, cayera, ya que el peso aplicado en los usuarios sería menor.

9.2.4 Absorción

El porcentaje de absorción de las unidades fue 2.92%, cumpliendo con los requerimientos de absorción de la Norma Técnica E.070 (SENCICO, 2006) para bloques para muros portantes y no portantes, siendo el porcentaje menor al 12% y 15% respectivamente, como se observa en la Tabla 48.

Tabla 48. Porcentaje de absorción de diferentes unidades de albañilería

Tipo de Ladrillo	Absorción %
Unidad de albañilería modular	3
Ladrillo de concreto	5
Ladrillo King Kong Artesanal	12
Ladrillo King Kong industrial	6

Fuente: Elaboración propia

9.3 Impacto ambiental

- King Kong Artesanal

En nuestra evaluación de unidad de albañilerías tradicionales está el ladrillo de arcilla y el ladrillo de concreto. Por una parte, el ladrillo de arcilla está compuesto principalmente por arcilla y se coloca a cocción a 350 °C. La explotación de este material genera muchos impactos en el ambiente. Se realizó una entrevista a una empresa ladrillera dedicada a la elaboración de ladrillos artesanal.

Los hitos más importantes en su elaboración de unidades de albañilería son la preparación, el secado y la cocción. Cada proceso tiene un tiempo programado debido a las actividades que contiene. Esto nos demuestra que es un proceso largo y cuidadoso. En la Tabla 49, se presenta el proceso que sigue el sistema:

Tabla 49. Proceso de elaboración de unidad de albañilería

Fuente: Elaboración Propia

Este proceso se realiza en un horno de capacidad de 100 millares de unidad de albañilería y tiene una transición entre el secado y cocción de 10 días donde se coloca todos los ladrillos al horno. El horno demora de 30 a 32 horas para prender en su totalidad. Además, se necesita 25 toneladas de carbón para todo el proceso de la cocción.

Existen muchos impactos ambientales en el proceso de elaboración del ladrillo KK artesanal. Este análisis solo se concentrará en los medios impactados que aire, suelo y social donde se encuentran las diferencias más notables (0). Esto ocurre en muchas ladrilleras como los muestra en la tesis de Quispe, Halanocca y Huaman Ruth (2015), donde analizan otras ladrilleras y el impacto que tienen con el medio ambiente (Explotación de materia prima y emisión de gases invernaderos) son considerables.

Tabla 50. Impacto ambiental en la elaboración de ladrillo KK artesanal

Medio impactado	Impacto ambiental	Causa
Aire	Emisión de material en partículas	Extracción de arcilla
		Cenizas de la cocción entre otros
	Emisión de GEI	Cocción de la unidad de albañilería (King Kong Artesanal)
Tierra	Erosión del terreno	Extracción de la materia prima

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede ver en el cuadro anterior el problema fundamental de la elaboración de este tipo de ladrillo es la cocción y por ello el uso de gran cantidad de carbón que emite gran cantidad de CO₂ como también CO y SO₂.

En este caso se tiene que 25 toneladas de carbón son necesarias para elaborar 100 millares de ladrillos. Según los datos de impacto ambiental de la Estrategia Aragonés (GOBIERNO DE ARAGON, 2012) nos dice las conversiones para hallar la huella de carbono y son las siguientes:

$$1\text{Kg de Carbón}=5.6972 \text{ KWh}$$

$$1\text{KWh}=2.4802 \text{ Kg de Co}_2 \text{ eq}$$

Ejemplo:

25000 kg de Carbón

Tabla 51. Dióxido de carbono producido en la elaboración de ladrillos

Carbón	25000.00	kg
Factor de Conversión	5.70	kWh/Kg
Factor de emisión	0.62	kg de CO ₂ eq/kWh
RESULTADO	87594.45	kg de CO ₂ eq

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 51, se puede ver que solo en la parte de cocción (Sin considerar la pre cocción) se emite 87.6 toneladas de CO₂. Este proceso se da en aproximadamente 1 día de cocción seguida y solo para una empresa. En el Perú existen docenas de fábricas formales y muchas más informales que se dedican a esta actividad. Por otro lado, para la combustión se utiliza gran

cantidad de Carbón que promueve la explotación de este material e indirectamente su materia prima que es la madera.

- Bloque de concreto

Las unidades de albañilería de concreto son utilizadas, pero en menor cantidad que el KK artesanal en el distrito de estudio. Sin embargo, en este proceso no se usa la cocción. Por otro lado, se hace necesita explotar materia prima. Los componentes de la unidad de albañilería de concreto es el cemento, agregado y agua. En algunos casos se le agrega aditivo. En la Tabla 52, se puede observar las causas del impacto ambiental en la tierra de los bloques de concreto.

Tabla 52. Impacto ambiental en la elaboración de bloque de concreto

Medio impactado	Impacto ambiental	Causa
Tierra	Erosión del terreno	Extracción de la materia prima

Fuente: Elaboración Propia

- Bloque de concreto con plástico PET

En la elaboración de la unidad de albañilería propuesto en esta tesis es de concreto es decir con cemento, agregado y agua. Sin embargo, se reemplazará una parte del agregado por plástico PET. Esta actividad ayuda a reciclar el plástico y disminuir el aumento de residuos sólidos aportando con el cuidado ambiental. Si bien es cierto se necesita impactar con el terreno debido a la extracción de la materia prima se disminuye mucho al reemplazar una parte del agregado. En la Tabla 53, se puede observar las causas del impacto ambiental en la tierra y socialmente de los bloques de concreto con PET.

Tabla 53. Impacto ambiental en la elaboración de unidad de albañilería modular con plástico PET

Medio impactado	Impacto ambiental	Causa
Tierra	Erosión del terreno	Extracción de la materia prima
Social	Cambio de modo de vida	Reuso de material desechable
	Generación de empleo	Reciclaje del plástico PET

Fuente: Elaboración Propia

En el ejemplo anterior del ladrillo KK artesanal se tenía 100 millares. Por ello, en la Tabla 54, se muestra la cantidad de plástico que se utilizaría para reemplazar el agregado.

Tabla 54. Impacto ambiental en la elaboración de ladrillo KK artesanal

	Unidades de albañilería (millares)	PET (Tn)	Agregado (Tn)
Bloque con PET	100	26	174

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 54, se puede ver que se utiliza 26 ton de plástico PET en 100 millares de unidades de albañilería en reemplazo del agregado fino. Esto ayuda a disminuir la explotación de materia prima y reutilizar el material reciclado.

9.4 Costos

Se evaluará las diferencias entre costo beneficios de la investigación. Para ello, se realizaron los análisis de costos unitarios tanto para la elaboración de una unidad de albañilería modular como para un murete conformado con los mismos.

- Precio Unitario para la elaboración de una unidad de albañilería

Se elaboró un análisis de precio unitario (APU) para el concreto elaborado con y sin PET. En la Tabla 56 y Tabla 58, se muestran respectivamente.

Este análisis se realizó en base a los ensayos hechos en el laboratorio. Se prepararon aproximadamente 180 muestras de unidades de albañilería con la forma del ladrillo tradicional y de 10 a 15 unidades modulares con la ayuda de mano de obra especializada y los equipos mencionados en la Tabla 56 y Tabla 58. Asimismo, tanto la mano de obra como los materiales y equipo de obra fueron los considerados en un Estudio Económico de Demanda para el sector Ladrillero Artesanal Beneficiario del Programa EELA (Red de Ladrilleras, 2011).

En la Tabla 56, se puede que dentro de los materiales se consideró el precio del plástico PET por m³. El precio por m³ del PET es de 266 soles dentro de lo cual se encuentra incluido los gastos directos e indirectos de su obtención. Su precio es menor al agregado debido a que es un material reciclado. Su cálculo se dio de la siguiente manera:

El peso específico de PET = 1.33 gr/cm³

Precio del plástico PET + IGV= 0.20 soles/kg

$$\text{Precio del m}^3 \text{ de PET} = 0.20 * 1.33 * 1000 = 266 \frac{\text{soles}}{\text{m}^3}$$

Asimismo, en los equipos se consideró una vibradora debido a que las unidades de albañilería elaborados se pasaron por una vibradora para eliminar burbujas de aire que puedan comprometer a la unidad de albañilería. Por otro lado, para hallar el precio del molde metálico para la elaboración de ambas unidades, se tomó en consideración de que el número máximo de usos para este equipo sería 1500 (Arapa Mamani & Maldonado López, 2019).

La capacidad de producción de la unidad de albañilería modular es de 10 a 15 ladrillos en 1 hora de trabajo con 1 solo molde de forma artesanal. Este molde fue fabricado para elaborar 1 unidad de albañilería de forma individual. Sin embargo, se puede elaborar moldes de ladrillos con 3 aberturas. Se proyecta para una fábrica chica en Arequipa tener 10 moldes con 3 aberturas.

1 molde individual = 13 ladrillos x hora en promedio

1 molde con 3 aberturas = 39 ladrillos x hora

Un día de trabajo cuenta con 8 horas. Lo cual el rendimiento para 1 cuadrilla es de 312 und/día.

$$\text{Rendimiento} = 39 \text{ und} \times 8 \text{ hh} = 312 \text{ und/día}$$

En una proyección con 10 moldes se produciría 3 millares al día en una fábrica mediana.

Finalmente, el costo unitario final por unidad es 0.57 soles.

En las siguientes tablas se mostrará el análisis de precio unitario para una unidad de albañilería modular y de concreto clásico. Además, se calculó las proporciones para una unidad de albañilería como se muestra en la Tabla 55 y Tabla 57.

Tabla 55. Proporciones de los materiales para una unidad de albañilería modular

1	Unidad de albañilería	3250 gr
Cemento	26.06%	846.8 gr
Arena	45.34%	1473.5 gr
Agua	21.83%	709.6 gr
Plástico PET	6.77%	220.2 gr

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 56. Análisis de precio unitario de unidades de albañilería con plástico PET

				Costo Unitario directo por und	
und/dia	1			0.57	
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Operario	hh	1	0.0005	23.93	0.01
Oficial	hh	1	0.0010	18.91	0.02
Peón	hh	1	0.0006	17.07	0.01
					0.04
Materiales					
Plástico PET	m³		0.0002	266.00	0.04
Agregado fino	m³		0.0005	56.00	0.03
Cemento portland tipo I	bls		0.0235	18.64	0.44
Agua	m³		0.0007	2.20	0.00
Desmoldante	gln		0.0000	160.00	0.01
					0.52
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		3%	0.00	0.00
Mesa vibradora	hm	1	0.0002	10.00	0.00
Mezcladora de concreto	hm	1	0.0002	20.00	0.00
					0.01
					0.57

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 57. Proporciones de los materiales para una unidad de albañilería tradicional

1	Unidad de albañilería	4500 gr
Cemento	26.06%	1172.5 gr
Arena Gruesa	52.11%	1693.6 gr
Arena G	104.22%	3387.3 gr
Agua	21.83%	709.6 gr

Fuente: Elaboración Propia

En el caso de unidades de albañilería de concreto sin plástico en la ciudad de Arequipa nos resulta con un precio de 0.60 soles (Tabla 58).

Tabla 58. Análisis de precio unitario del concreto sin plástico PET

				Costo Unitario directo por und	
und/dia	1		0.60		
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Operario	hh	1	0.0005	23.93	0.01
Oficial	hh	1	0.0010	18.91	0.02
Peón	hh	1	0.0006	17.07	0.01
					0.04
Materiales					
Agregado grueso	m³		0.0002	60.00	0.01
Agregado fino	m³		0.0004	56.00	0.02
Cemento portland tipo I	bls		0.0276	18.64	0.51
Agua	m³		0.0007	2.20	0.00
Desmoldante	gln		0.0000	160.00	0.01
					0.56
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		3%	0.00	0.00
Mesa vibradora	hm	1	0.0002	10.00	0.00
Mezcladora de concreto	hm	1	0.0002	20.00	0.00
					0.01
					0.60

Fuente: Elaboración Propia

- Precio Unitario para la elaboración de un murete

Con respecto al costo de la realización de un murete con el ladrillo tradicional, se realizó el análisis de costo unitario siguiente (Tabla 59), en el que nos indica que el costo unitario por m² de muro construido es de 58.89 soles.

Tabla 59. Análisis de costo unitario para un murete con ladrillo King Kong

Muro de sogá ladrillo king-kong				Rend:	9.4600 m²/día
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					
Capataz	hh	0.1	0.0846	23.08	1.95
Operario	hh	1	0.8457	17.22	14.56
Peón	hh	0.5	0.4228	12.36	5.23
					21.74
Materiales					
Arena gruesa	m³		0.05	60	3
Ladrillo k.k. de arcilla 9x14x24 cm	und		40.00	0.7	24.00
Cemento Portland tipo IP (42.5 kg)	bol		0.28	18.64	5.22
Cal hidratada de 25 kg	bol		0.23	15	3.45
Madera tornillo	p²		0.18	4.6	0.83
					36.5
Equipo					
Herramientas manuales	%mo		3	21.74	0.65
					0.65
			Costo Unitario por m²		58.89

Fuente: Elaboración propia

Los valores de rendimiento, cantidades para la mano de obra y equipo fueron extraídos del libro “Costos y presupuestos de edificación” (CAPECO, 2014). En este, se indica el valor del rendimiento para la colocación de un muro con ladrillo k.k. de arcilla de sogá, el cual era de 9.46 m²/día (350 lad/día).

Asimismo, para realizar la comparación entre ambas unidades de albañilería, también se realizó el análisis de costo unitario para la realización de un muro con el uso de la unidad de albañilería modular presentado en la Tabla 60, en el que se señala que el costo es 50.74 soles.

Tabla 60. Análisis de costo unitario para murete con la unidad de albañilería propuesto

Muro de soga unidad modular				Rend.:	8.3333 m ² /día
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					
Capataz	hh	0.100	0.1000	23.08	2.31
Operario	hh	1.000	1.0000	17.22	17.22
Peón	hh	0.500	0.5000	12.36	6.18
					25.71
Materiales					
Arena fina	m ³		0.0088	56.00	0.49
Unidad de albañilería modular	und		34.0000	0.57	19.38
Cemento Portland tipo IP (42.5 kg)	bol		0.2064	18.64	3.85
Cal hidratada de 25 kg	bol		0.0351	15.00	0.53
Agua	m ³		0.0044	2.20	0.01
					24.26
Equipo					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	25.71	0.77
					0.77
				Costo Unitario por m²	50.74

Fuente: Elaboración propia

Los valores de rendimiento y cantidad de unidades de albañilería modular, fueron extraídos de la Tabla 40 y Tabla 41. Se consideró 8 hrs la cantidad de horas de trabajo por día, por lo que por tal tiempo de ejecución se realizaría 8.33 m² de muro. Asimismo, con respecto a la cantidad de unidades de albañilería por m², se usaron 32 unidades para la elaboración del murete de 0.97m x 1.07m, por ello, mediante el cálculo para hallar la cantidad de ladrillos por metro cuadrado considerando un 5% de desperdicio se obtuvo que se utilizarían 34 unidades de albañilería por m².

Con respecto a los valores de rendimiento en ambos casos, se consideró el rendimiento para la colocación de las unidades de albañilería. Asimismo, el valor para la elaboración de un murete con la unidad modular propuesta es menor. Ello podría deberse a la cantidad de unidades y el espesor de junta que se utilizarían para su construcción, los cuales son menores a los utilizados en el murete del ladrillo k.k. Así, mientras que son utilizados 40 ladrillos k.k. para un murete de 1x1 m², para el murete con la unidad propuesta se utilizaron 34 unidades; también, con respecto al espesor de la junta, para el ladrillo tradicional se considera como mínimo 10 mm y

como máximo 15 mm (ACEROS AREQUIPA, 2017), mientras que para la unidad propuesta se utilizó 1 cm aproximadamente.

10 CONCLUSIONES

En el presente capítulo, se redactarán conclusiones por cada objetivo específico definido. Así, en cada conclusión se realizará un breve resumen de los hallazgos más importantes abordados en cada capítulo del presente trabajo de investigación. También, estas demostrarán lo señalado en la hipótesis y comprobarán el objetivo señalado.

Objetivo 1: Determinar la dosificación de la unidad de albañilería de concreto con componente PET con mejores propiedades físicas y mecánicas.

- Se realizaron ensayos a las unidades de albañilería con diferentes dosificaciones del concreto con plástico PET para encontrar la cantidad de este material reciclable más óptimas en las unidades. Se utilizaron porcentajes de PET desde 5% hasta 25 %, resultando el 13 % de PET en las unidades de albañilería y con mejores propiedades.
- A medida que los porcentajes de plástico PET aumentaban en las dosificaciones, la resistencia de las muestras disminuía. Sin embargo, el valor de este indicador era mayor que la del ladrillo tradicional King Kong Artesanal hasta un porcentaje de 17% de plástico PET en la dosificación 1:2.
- Se elaboraron la unidad de albañilería seleccionada con la dosificación óptima hallada y su relación cemento-arena. Esto comprobó que la forma de la unidad de albañilería no influyó en la resistencia de forma negativa.

Objetivo 2: Determinar la forma de la unidad de albañilería tipo modular que se ensayará.

- Se propusieron 3 unidades de albañilería tipo modular cuyas dimensiones son similares a los tradicionales para su correcto ensayo y comparación. Sin embargo, con ayuda de la metodología científica se descartó 2 y se escogió la opción más favorable y con características similares a la unidad de albañilería comercial en Arequipa.
- Se concluye que la elaboración de unidades de albañilería tipo modular se pueden realizar en el Perú debido a que sus dimensiones son adaptables a las dimensiones de las unidades de albañilería tradicionales. Las formas cumplen con la característica tipo LEGO que se buscó, es decir tendrán anclaje entre ellas.
- Se optó por una unidad de albañilería modular cuya forma sería óptima para eventos sísmicos, por lo que al añadirle plástico PET a esta forma propuesta, se demostró que

el diseño físico influye en su resistencia debido a que los resultados dados al ensayar los especímenes, estaban orientados a unidades de albañilería portantes.

Objetivo 3: Elaborar y ensayar las unidades de albañilería con componente plástico PET tipo modular con la dosificación más óptima definida para determinar su resistencia a la compresión, variación dimensional, alabeo y absorción.

- Las unidades de albañilería tuvieron una resistencia entre 114 a 118 kg/cm² y valores de alabeo y variación dimensional de 0.8 y -1%. Además, según la norma E.020, en este caso la unidad de albañilería clasificaría como Bloque P. Sin embargo, existen restricciones en la norma como no puede tener un componente extraño en la mezcla.
- Se concluye que la unidad de albañilería de concreto con plástico PET con formas de enclavamiento tienen una mayor resistencia que las unidades de albañilería tradicionales.
- Con respecto al ensayo de absorción, la unidad de albañilería cumple con uno de los requisitos para su aceptación según la norma E.070 (SENCICO, 2006), ya que el Bloque P tiene una absorción menor a 12%.

Objetivo 4: Elaborar murete con la unidad de albañilería modular con componente plástico PET con dosificación óptima.

- Para el presente trabajo de investigación, se propone utilizar la unidad de albañilería tipo LEGO en muros de tabiquería para edificaciones cuya estructura sea aporticada. Esto debido a que se demuestra con los diferentes ensayos, la resistencia necesaria y las características físicas adecuadas en comparación con la unidad de albañilería tradicional en la ciudad de Arequipa que permite usarlo para muros divisorios.
- En la elaboración del murete con la unidad de albañilería modular con componente PET se obtuvo menor desperdicio en el mortero a comparación de un muro con ladrillo King Kong. Así como la zona de trabajo se mantuvo más ordenada y limpia.
- El tiempo de ejecución del murete realizado fue calculado con la ayuda de un peón y un operario. La ejecución del mismo fue rápida, sin embargo, debido a la sección de asentamiento irregular el tiempo se prolongó. Así, el rendimiento de la elaboración del murete tuvo un valor cercano al determinado por CAPECO (2014) en su título N°29

“Costos y presupuestos de edificación” para la colocación de un muro con ladrillo k.k. de arcilla de soja, el cual era de 9.46 m²/día.

Objetivo 5: Analizar las propiedades físicas y mecánicas, costo e impacto ambiental de la unidad de albañilería seleccionada.

- Se compararon las propiedades mecánicas, físicas y económicas entre una unidad de albañilería modular y una unidad de albañilería tradicional obteniendo como resultado para el ensayo a la compresión que la unidad de albañilería modular presenta una resistencia mayor de los ladrillos de concreto y King Kong Artesanal.
- Las unidades de albañilería modulares son un 15 % más ligero que las unidades de albañilería sin PET.
- El costo de la unidad de albañilería tradicional es mayor que el modular, asimismo, el costo para la ejecución de un muro de 1x1 m² en el segundo caso mencionado es significativamente menor siendo la diferencia 8.15 soles.
- El uso de plástico PET para la elaboración de 100 millares de unidades de albañilería significaría evitar producir 87.6 Toneladas de dióxido de carbono, gas contaminante del medio ambiente.
- El uso de PET en las unidades de albañilería disminuirían el impacto de la extracción de materia prima. Esto debido a que parte del volumen es reemplazado.
- Al crear un producto agregado a partir de un elemento desechado crea otras formas de incentivar la recolección del PET y disminuir la contaminación.
- El plástico tiene diversos usos en el mundo. Ello ha generado un uso inmedido de este material, el cual es, generalmente, desechado, creando grandes cantidades de basura en diferentes sitios. Por ello, al usar una unidad de albañilería en la cual se pueda reutilizar el plástico PET, disminuiría el impacto que tiene al no ser reciclada y se le devolvería el uso, el cual sería prolongado.
- El plástico PET tiene un tiempo de degradación de hasta 1000 años según la publicación en Fundación Aqua (2019). Esto podría otorgarle mejoras en las propiedades físicas y químicas a una unidad de albañilería de concreto común. Asimismo, el peso del plástico PET es liviano, presentando una densidad de 1.34 gr a 1.39 gr/cm³ (Richardson &

Lokensgard, 1999), por lo que si este material reemplaza a algunos de los compuestos de la unidad de albañilería, disminuiría significativamente el peso del mismo, lo cual haría más fácil y rápido de manipuleo.

11 RECOMENDACIONES

En el presente capítulo, se redactarán 3 recomendaciones por cada objetivo específico definido. Se expondrán las principales sugerencias que se presentaron durante la realización del presente trabajo de investigación, tal que, en el futuro, se obtenga un mayor nivel de profundidad del tema estudiado, procurando resultados óptimos.

Objetivo 1: Determinar la dosificación de la unidad de albañilería de concreto con componente PET con mejores propiedades físicas y mecánicas.

- Se recomienda realizar varias pruebas con cada dosificación que se plantea. Esto debido a que se presenta varianzas entre el resultado. Para un mejor resultado un mínimo de 5 pruebas por cada dosificación.
- Se recomienda investigar otros materiales que reemplacen la materia prima de las unidades de albañilería, de este modo se minimizará el impacto ambiental y contribuyendo con el reciclaje. Un elemento que no se ha realizado estudios es el papel.
- Se recomienda realizar los ensayos correspondientes para unidades de albañilería según norma en moldes rectangulares estándar, para luego realizar los mismos ensayos en las unidades de albañilería que se seleccione. Esto debido a que puede variar la resistencia debido a la forma que tenga la unidad propuesta.

Objetivo 2: Determinar la forma de la unidad de albañilería tipo modular que se ensayará.

- Se recomienda que las próximas investigaciones sobre el PET consideren utilizarlo en estructuras de concreto armado como las vigas y zapatas en diferentes cortes (Fibras, Molido, etc.).
- Se recomienda investigar nuevas formas de unidades de albañilería con el sistema modular según estructura en donde se aplicaría. Esto debido a que existen unidades de albañilería con un sistema de enclavamiento paralelo y/o apilable
- Para futuras investigaciones se recomienda que las unidades de albañilería modulares tengan huecos donde se podría colocar acero para reforzar el muro.

Objetivo 3: Elaborar y ensayar las unidades de albañilería con componente plástico PET tipo modular con la dosificación más óptima definida para determinar su resistencia a la compresión, variación dimensional, alabeo y absorción.

- Se recomienda que las unidades de albañilería sean ensayadas a prueba de fuego debido al contenido de material inflamable.
- Se recomienda trabajar con una planta recicladora de PET debido a que este debe ser procesado o triturado y disminuye el costo del mismo. El material debe ser reciclado y no nuevo.
- Se recomienda ponerse en contacto con la entidad que elabora las normas técnicas peruanas (SENCICO), para verificar si los ensayos realizados a las muestras con plástico PET pueden ser usados en estas unidades de albañilería para determinar si clasificación.

Objetivo 4: Elaborar murete con la unidad de albañilería modular con componente plástico PET con dosificación óptima.

- Se recomienda para futuras investigaciones considerar la unidad de albañilería para elementos portantes, considerando refuerzo de acero dentro de su armadura. Esto debido a que su forma permite colocar los refuerzos.
- El uso del mortero para las juntas entre las unidades de albañilería debe ser solo una línea, debido a que no necesita mucho mortero para unirlos entre sí. Por ello se recomienda colocar el mortero con un instrumento tipo pistola para disminuir en lo posible el desperdicio.
- Se recomienda elaborar una mayor cantidad de muretes, de modo que la persona que ejecute el muro adquiera la suficiente experiencia y pueda compararse con la ejecución de un muro con ladrillos tradicionales, ya que son más comunes de realizar.

Objetivo 5: Analizar las propiedades físicas y mecánicas, costo e impacto ambiental de la unidad de albañilería seleccionada.

- Se propone para futuras investigaciones, analizar cuánto impacta en cuánto el tiempo la construcción de un murete con las unidades de albañilería modular y ladrillos comerciales de la zona.
- El precio de materiales puede variar según zona, se recomienda analizar este tipo de sistema en otras ciudades para encontrar la viabilidad en comparación de un murete con ladrillos comerciales.

- Se recomienda realizar pruebas a muretes con las unidades de albañilería modulares, para determinar si la colocación de instalaciones sanitarias o eléctricas será fácil de realizar, ya que se deberán picar y clavar en las unidades.

12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEROS AREQUIPA (2017) Manual del Maestro Constructor Aceros Arequipa (Consulta 31 de Agosto del 2020) (<http://www.ladrilleramvf.com/ladrillos-productos.html>) (<http://www.acerosarequipa.com>)

Ali, M., Gultom, R. J., & Chouw, N. (2012). Capacity of innovative interlocking blocks under monotonic loading. *Construction and Building Materials*, 37, 812-821. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.002>

Angumba, P. (2016). Ladrillos elaborados con plástico reciclado (PET), para mampostería no portante. (Tesis de maestría). Universidad de Cuenca, Ecuador.

Arapa Mamami, V. & Maldonado López, F. (2019) Análisis de la eficiencia del empleo de encofrados metálicos y madera en la construcción de edificios de la ciudad del Cusco-2017 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.

ASTM International (2008). Standard Specification for Portland Cement.

ASTM International (2009). Standard Specification for Concrete Aggregates C 33 – 07”

Barragán Alturo, A., Duran Siachoque, N., Figueroa Gonzalez, K., & Rovayo Novoa, M. (2017). Ecobloque Estructural para Vivienda de Interés Rural: Un Aporte Para las Comunidades en el Alto Magdalena – Colombia. *Lámpsakos*, 1(17), 29-39. <https://doi.org/10.21501/21454086.2214>

Barón, W., Palacios, J. & J. en Ramírez, D. (2001). Ecobloque Estructural para Vivienda de Interés Rural (Consulta 14 de Julio del 2020) (<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/2169/2/139221.pdf>)

Bustamante, J. y R. (2011). Plan de Desarrollo Concertado: Proceso de planeamiento estratégico de desarrollo continuo y participativo y es el instrumento de base territorial. (Consulta 12 de Julio de 2020) (<http://muniesperanza.gob.pe/uploads/Plan%20de%20desarrollo%20concentrado-2011-2020.pdf>).

Cáceres Marte, D. et al. (2014). Diseño de bloques de hormigón en Rep. Dom. Con características capaces de reducir tiempo de colocación en un sistema de mampostería en el

año 2014 (Consulta 11 de Julio del 2020) (<http://www.laccei.org/LACCEI2015-SantoDomingo/StudentPapers/SP013.pdf>)

CAPECO (2014). Costos y presupuestos de edificación. (Consulta 15 de Agosto de 2020) (https://www.academia.edu/19650966/CAPECO_Costos_Y_Presupuestos_En_Edificacion_Peru).

CAPECO (2019). Informe Económico de Construcción. (Consulta 12 de Julio de 2020) (<https://www.capeco.org/informe-economico-de-la-construccion>).

Cerna Rondón, L. A. (2015). Influencia de la Adición de Polímeros Reciclados en la Absorción de Agua en los Ladrillos de Concreto para Construcción, 2014 - Trujillo - La Libertad. (Consulta 28 de Julio del 2020) (<http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/RTD/article/view/753/591>)

CONAFOVICER (2019). Acta Final de Negociación Colectiva en Construcción Civil 2019-2020. (Consulta 1 de Setiembre del 2020) (https://www.conafovicer.com/images/tablas_salariales/tablas-salariales-2019-2020.pdf)

De Vries J. & L. Miranda. (2006). Los retos de la Construcción Sostenible en Perú. (Consulta 10 de Junio del 2020) (http://www.ciudad.org.pe/downloads/documentos/articulo_retos_cs.doc-).

Echeverría, E. (2017). Ladrillos de concreto con plástico PET reciclado. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.

Fundación Aquae (2019). ¿Sabes cuánto tiempo tardan en degradarse nuestros desechos? (Consulta el 16 de junio 2020) (<https://www.fundacionaquae.org/cuanto-tiempo-tardan-degradarse-desechos/#:%7E:text=Bolsas%20y%20botellas%20de%20pl%C3%A1stico,tardar%201.000%20a%C3%B1os%20en%20desaparecer.>)

Enshassi, A., Kochendoerfer, B. & Rizq, E. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. Revista ingeniería de construcción, 29(3), 234-254. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732014000300002>

GALISTEO (2007). Química y Tecnología de Macromoléculas (Consulta 14 de Junio del 2020) (<http://www.eis.uva.es/~galisteo/macromol.html>)

GOBIERNO DE ARAGON (2012) Estrategia Aragonesa de cambio climático y energía limpia (Consulta 10 de Julio del 2020) (<http://www.camarazaragonesa.com/>)

Gómez, C., Farrera, N., López, P., F. Domínguez, F., & Moreira, J. (2017). Estudio exploratorio del impacto ambiental generado por la industria ladrillera del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, México. *Lacandonia*, 5(1), 89-96. (Consulta 14 de Junio del 2020) (<http://cuid.unicach.mx/revistas/index.php/lacandonia/article/view/231>)

INANTIC N° 339-005/339-06 (1992). Requisitos para materiales y procedimientos de construcción

INDECOPI (2005) NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 399.613:2005. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería, 1ª Edición. Lima, Perú, 2005. 36 p.

INEI (2019). Comportamiento de la Economía Peruana en el Primer Trimestre de 2019. (Consulta 12 de Julio de 2020) (https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/pbi_trimestral_mayo2019.pdf).

Islam J., Meherier S. & Islam R. (2016.) Effects of waste PET as coarse aggregate on the fresh and harden properties of concrete. *Revista Construction and Building Materials*, Vol. 125, 946–951.

KITE BRICKS (2014). Kite Bricks is developing a revolutionary product. KITE BRICKS: A new way to build. (Consulta 15 de Julio de 2020) (<http://kitebricks.com/>)

La República. (2012). Arequipa: Sepa cuánto cuesta una vivienda en el distrito de su preferencia. Archivo - La República. (Consulta 12 de Julio de 2020) (<https://larepublica.pe/archivo/633767-arequipa-sepa-cuanto-cuesta-una-vivienda-en-el-distrito-de-su-preferencia/>).

LADRILLERA MVF. (2013). Ladrillo KK Artesanal (Consulta 14 de Julio del 2020) (<http://www.ladrilleramvf.com/ladrillos-productos.html>)

LADRILLERAS UNIDAS. (2019). Ladrillos Diamante: Tenemos lo que necesitas. Ladrillos Diamante. (Consulta 15 de Agosto de 2020) (<https://ladrillosdiamante.com/>).

LOIMAR. (2018). Ladrillos – Loimar. (Consulta 10 de Julio del 2020) (<https://loimar.com/categoria/ladrillos>)

Martínez Amariz, A. D. & Cote Jiménez, M. L. (2014). Diseño y Fabricación de Ladrillo Reutilizando Materiales a Base de PET. INGE CUC. 10(2), 76-80.

Martínez, Alejandro & Cote, Mónica. (2014). Design and Construction of Bricks reusing PET-based Materials. Revista INGE CUC, Vol. 10, N° 2, pp 76-80.

Ministerio del Medio Ambiente. (2015). Oficina de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente. (Consulta 15 de Agosto de 2020) (<https://mma.gob.cl/cambio-climatico/oficina-de-cambio-climatico-del-ministerio-del-medio-ambiente/>)

Ministerio del Medio Ambiente (MINAM). (2016). Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024. Perú, Lima. (Consulta 23 de Julio del 2020) (https://www.unpei.org/sites/default/files/e_library_documents/Solid%20Waste%20Management%20National%20Plan%20%28PLANRES%29%202016-2024%20.pdf)

Miranda Hernández, E., Doumet Saltos, F. & Durán Macías, E. (2018). Análisis de las propiedades de bloques contruidos a base de cemento y plástico (PET) para determinar su uso y aplicación en elementos arquitectónicos. Universidad San Gregorio de Portoviejo, Ecuador.

Molina, S., Vizcaino, A. & Ramírez, F. (2007). Estudio de las características físico-mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado en el Municipio de Acacías. (Tesis de pregrado). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Municipalidad Provincial de Arequipa. (2017). Inventario de emisiones cuenca atmosférica de la ciudad de Arequipa. (Consulta 12 de Julio de 2020). (http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/inventario_aire/fuentes_fijas/Informe%20Inventario%20Integrado%20Arequipa.pdf)

Municipalidad Provincial de Arequipa. (2017). Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos (PIGARS) de la provincia de Arequipa (Consulta 12 de Julio de 2020) (<https://www.muniarequipa.gob.pe/descargas/gestionmanejoresiduos/PIGARS%202017-2028/PIGARS%20final%2022%20de%20Diciembre.pdf>).

Naim, Ghalia (2016) UPSOCL: Innovadores ladrillos podrían ser una solución para construir más viviendas en el mundo (Consulta 23 de Agosto del 2020) (<http://www.upsocl.com>)

OEFA (2005). La fiscalización ambiental en Residuos Sólidos. (Consulta 18 de Agosto del 2020) (https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=6471).

Paz, E. (2014). Análisis de la determinación de las propiedades físico y mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Perú.

Quiun, Bartolomé & Giuseppe. (2007). Comentario a la norma E. 070 ALBAÑILERIA. (Consulta 12 de julio de 2020) (<http://blog.pucp.edu.pe/albanileria>).

Ramos, J. A., Dávalos C., López A. & Rodríguez A. (2015). Análisis para la implementación del modelo Lean en el sector de la construcción. Revista de construcción

Red de Ladrilleras (2011). Estudio Económico de Demanda para el Sector Ladrillero Artesanal Beneficiario del Programa EELA. (Consulta 14 de Agosto del 2020) (<http://www.redladrilleras.net/assets/files/b848c44a3428673a09f3a28def2fa06e.pdf>)

Salazar A. J. (2005). Experiencia de reciclaje en la producción de materiales de construcción. SOPHIA, (1), 31-51.

Santa María, R. (2008). La iniciativa de vivienda saludable en el Perú. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica, 25(4), 419-430. (Consulta 12 de Julio de 2020) (http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342008000400013&lng=es&tlng=es).

Secretaría Distrital de Ambiente (2013). Informe de gestión y resultados periodo 1 de enero a 31 de diciembre de 2013. (Consulta 15 de Agosto de 2020) (http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=9c14bf1d-402b-4827-bea9-7349be04b47e&groupId=55886)

SENCICO (2006). NORMA E.020 – Cargas. Reglamento nacional de edificaciones.

SENCICO (2009). NORMA E.060 – Concreto Armado. Reglamento nacional de edificaciones.

SENCICO (2006). NORMA E.070 – Albañilería. Reglamento nacional de edificaciones.

Team SustentarTV, News for life planet (2014). Ladrillos sustentables con forma de Legos. SUSTENTAR.TV. (Consulta 10 de Julio de 2020) (<https://www.sustentartv.com/ladrillos-sustentables-con-forma-de-legos/>)

Terry L. Richardson, E. L. (1999). Industria del plástico. Thomson-Paraninfo (Consulta el 15 de Junio 2020) (<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=148179>)

Tuvivienda.pe (2018). Cuántos ladrillos caben en un metro cuadrado de pared (Consulta el 03 de Agosto de 2020) (<https://tuvivienda.pe/blog/cuantos-ladrillos-caben-en-un-metro-cuadrado-de-pared/>)

UNICON (2017) Bloque de Concreto (Consulta 30 de Julio del 2020) (<http://www.unicon.com.pe/principal/categoria/5-unicon-prefabricados/299/c-299>)

UPSOCL, (2019) Innovadores Ladrillos Por Upsocl “Blockarmo” (Consulta 14 de Agosto del 2020) (<http://www.upsocl.com/comunidad/innovadores-ladrillos-podrian-ser-una-solucion-para-construir-mas-viviendas-en-el-mundo/>)

Yucra, Y. P. (2016). Impacto ambiental generado por el sector ladrillero en el distrito de San Jerónimo - Cusco. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de De Abad del Cusco, Perú.

ANEXOS

ANEXO 1. Formato de ensayo

FORMATO DE ENSAYO:

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS

AGREGADO GRUESO ASTM C-127 / 400.021				
IDENTIFICACIÓN DEL AGREGADO		PROCEDENCIA T.M. FECHA DE ENSAYO		
COD	DATOS DE ENSAYO	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PROMEDIO
A	PESO MAT. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO (EN AIRE)			
B	PESO MAT. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO (SUIERGDO)			
C	VOLUMEN DE LA MASA - VOLUMEN DE VACIOS (A-B)			
D	PESO DE MATERIAL SECO			
E	PESO ESPECIFICO DE MASA D/C			
F	PESO ESPECIFICO SSS (BASE SATURADA) A/C			
G	PESO ESPECIFICO AFARENTE (BASE SECA) $D/(D-B)$			
H	ABSORCION $((A-D)/D)*100$			

AGREGADO FINO ASTM C-187 / NTP 400.022				
IDENTIFICACIÓN DEL AGREGADO		PROCEDENCIA T.M. FECHA DE ENSAYO		
COD	DATOS DE ENSAYO	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PROMEDIO
A	NÚMERO DE FOLIA	"E"		
B	PESO FOLIA CON AGUA DESTILADA (HASTA LA MARCA)	662,9		
C	PESO DE LA MUESTRA SSS	500 g		
D	PESO FOLIA + AGUA + MUESTRA SSS	980,2 g		
E	IDENTIFICACIÓN DEL RECIPIENTE	0303-01		
F	PESO DEL RECIPIENTE	179,3		
G	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECADA AL HORNO	670,6		
H	PESO DE LA MUESTRA SECA AL HORNO $G-F$	491,3		
I	PESO ESPECIFICO DE MASA $H/(B+C-D)$	2,681		
J	PESO ESPECIFICO SSS (BASE SATURADA) $C/(B+C-D)$	2,237		
K	PESO ESPECIFICO AFARENTE (BASE SECA) $H/(B+H-D)$	2,824		
L	% ABSORCIÓN $((C-H)/H)*100$	1,77		

Peso de folia $\Rightarrow 173,9 \text{ gr}$

ANEXO 2. Fotografías

- Peso de la unidad de enclavamiento

- Ensayo de fiola

- Tamizado del agregado fino.

- Toma de datos de la máquina hidráulica.

ANEXO 3. Tablas de Ensayo de Variación Dimensional de unidad de albañilería tradicional

Dosificación 1:1 (5% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	25.0	25.0	25.0	-2%	8.2	8.3	8.1	7.8	8.1	9%	14.2	14.2	14.2	-5%
2	25.0	25.0	25.0	-2%	8.2	8.3	8.7	8.5	8.4	5%	13.7	13.5	13.6	-1%
3	25.0	25.0	25.0	-2%	8.5	8.7	8.4	8.4	8.5	4%	13.8	13.6	13.7	-1%
4	25.1	25.2	25.2	-3%	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	5%	13.7	13.8	13.8	-2%
5	25.2	24.8	25.0	-2%	8.1	8.6	8.4	8.4	8.4	6%	13.9	13.6	13.8	-2%
6	25.1	25.0	25.1	-3%	8.3	8.4	8.2	8.4	8.3	6%	13.9	13.7	13.8	-2%
7	25.1	25.1	25.1	-3%	8.3	8.6	8.2	8.2	8.3	6%	14.1	13.7	13.9	-3%
8	25.0	25.1	25.1	-3%	8.4	8.6	8.2	8.3	8.4	6%	14.0	13.7	13.9	-3%
9	24.9	25.0	25.0	-2%	8.2	8.4	8.4	8.2	8.3	6%	13.9	13.7	13.8	-2%
10	24.8	25.0	24.9	-2%	8.1	8.4	8.3	8.1	8.2	7%	14.0	13.7	13.9	-3%
				-3%					6%				-2%	

Dosificación 1:1 (7% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	24.2	24.2	24.2	1%	8.9	8.9	8.9	8.8	8.875	0%	13.2	13.2	13.2	2%
2	24.2	24.1	24.15	1%	8.6	8.7	8.7	8.7	8.675	2%	13.2	13.2	13.2	2%
3	24.3	24.3	24.3	0%	9.1	9	8.9	9	9	-2%	13.2	13.2	13.2	2%
4	24.2	24.2	24.2	1%	9	8.9	8.8	8.8	8.875	0%	13.2	13	13.1	3%
5	24.3	24.3	24.3	0%	8.7	9	8.7	8.8	8.8	1%	13.2	13.2	13.2	2%
6	24.3	24.3	24.3	0%	9	8.8	8.8	8.8	8.85	0%	13	13.1	13.05	3%
7	24.4	24.4	24.4	0%	8.7	8.9	8.9	8.7	8.8	1%	13.1	13.2	13.15	3%
8	24.2	24	24.1	1%	8.7	9	9	9	8.925	-1%	13.1	13.1	13.1	3%
9	24.3	24.1	24.2	1%	8.9	8.9	9	8.9	8.925	-1%	13.3	13.3	13.3	1%
10	24.2	24.2	24.2	1%	8.8	9	8.9	8.9	8.9	0%	13	13.3	13.15	3%
				1%									0%	2%

Dosificación 1:1 (9% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	24.5	24.5	24.5	0%	8.6	8.7	9	9	8.825	0%	13.5	13.3	13.4	1%
2	24.7	24.7	24.7	-1%	8.8	8.7	8.6	8.7	8.7	2%	13.5	13.4	13.45	0%
3	24.5	24.5	24.5	0%	8.6	8.7	8.5	8.7	8.625	3%	13.5	13.4	13.45	0%
4	24.4	24.4	24.4	0%	8.7	8.8	8.6	8.6	8.675	2%	13.3	13.4	13.35	1%
5	24.7	24.7	24.7	-1%	8.7	8.7	8.7	8.9	8.75	1%	13.7	13.2	13.45	0%
6	24.5	24.5	24.5	0%	8.7	8.6	8.7	8.6	8.65	2%	13.5	13.4	13.45	0%
7	24.5	24.5	24.5	0%	8.5	8.5	8.7	8.8	8.625	3%	13.5	13.2	13.35	1%
8	24.7	24.7	24.7	-1%	8.5	8.6	8.8	8.9	8.7	2%	13.6	13.4	13.5	0%
9	24.4	24.5	24.45	0%	8.6	8.8	8.8	8.6	8.7	2%	13.3	13.2	13.25	2%
10	24.7	24.7	24.7	-1%	8.5	8.8	8.9	8.8	8.75	1%	13.7	13.2	13.45	0%
				-1%							2%			1%

Dosificación 1:1 (11% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	24	24	24	2%	8.7	9.1	8.9	9.1	8.95	-1%	13.2	13.1	13.15	3%
2	24.5	24.5	24.5	0%	8.7	8.8	8.7	8.7	8.725	2%	13.4	13.5	13.45	0%
3	24.7	24.7	24.7	-1%	8.5	8.9	8.1	9	8.625	3%	13.6	13.6	13.6	-1%
4	24.4	24.3	24.35	0%	8.8	8.9	8.5	9	8.8	1%	13.2	13.3	13.25	2%
5	24.6	24.5	24.55	-1%	8.6	8.9	8.4	8.9	8.7	2%	13.6	13.6	13.6	-1%
6	24.3	24.6	24.45	0%	8.5	9.1	8.7	8.9	8.8	1%	13.2	13.3	13.25	2%
7	24.6	24.6	24.6	-1%	8.6	9	8.4	8.9	8.725	2%	13.4	13.6	13.5	0%
8	24.5	24.4	24.45	0%	8.7	8.8	8.7	8.9	8.775	1%	13.6	13.4	13.5	0%
9	24.3	24.5	24.4	0%	8.6	8.9	8.7	8.8	8.75	1%	13.4	13.4	13.4	1%
10	24.5	24.6	24.55	-1%	8.7	9	8.4	8.9	8.75	1%	13.4	13.3	13.35	1%
				0%									1%	1%

Dosificación 1:1 (13% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	24.5	24.5	24.5	0%	8.7	8.8	8.3	8.5	8.575	3%	13.6	13.4	13.5	0%
2	24.2	24.2	24.2	1%	8.6	8.7	8.9	9	8.8	1%	13.5	13.4	13.45	0%
3	25	25	25	-2%	8.4	8.2	8.7	8.6	8.475	4%	13.7	13.8	13.75	-2%
4	24.5	24.7	24.6	-1%	8.7	8.5	8.7	8.7	8.65	2%	13.7	13.7	13.7	-1%
5	24.7	24.5	24.6	-1%	8.4	8.5	8.7	8.9	8.625	3%	13.7	13.4	13.55	0%
6	24.4	24.4	24.4	0%	8.7	8.5	8.7	8.6	8.625	3%	13.5	13.6	13.55	0%
7	24.4	24.4	24.4	0%	8.4	8.4	8.6	8.9	8.575	3%	13.5	13.4	13.45	0%
8	24.4	24.7	24.55	-1%	8.5	8.5	8.8	8.7	8.625	3%	13.4	13.5	13.45	0%
9	24.6	24.5	24.55	-1%	8.5	8.5	8.7	8.8	8.625	3%	13.8	13.5	13.65	-1%
10	24.5	24.6	24.55	-1%	8.7	8.4	8.7	8.8	8.65	2%	13.6	13.6	13.6	-1%
				-1%							3%			0%

Dosificación 1:1 (15% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	25.2	25.5	25.35	-4%	8.5	8.7	8.7	8.5	8.6	3%	14	14.1	14.05	-4%
2	24.9	25	24.95	-2%	9.2	8.8	9.2	8.8	9	-2%	13.5	13.7	13.6	-1%
3	25	25.2	25.1	-3%	9	9.2	8.9	8.7	8.95	-1%	14	13.8	13.9	-3%
4	25.1	25.2	25.15	-3%	8.9	9.1	8.9	8.7	8.9	0%	13.8	13.9	13.85	-3%
5	25.1	25.4	25.25	-3%	8.8	9	9	8.5	8.825	0%	13.8	13.7	13.75	-2%
6	25	25.3	25.15	-3%	8.9	8.8	9.1	8.7	8.875	0%	13.8	13.9	13.85	-3%
7	24.9	25.3	25.1	-3%	8.7	8.7	9	8.7	8.775	1%	13.9	14	13.95	-3%
8	25.2	25.3	25.25	-3%	8.7	9	9.1	8.6	8.85	0%	13.8	13.7	13.75	-2%
9	25	25.4	25.2	-3%	8.8	9.1	8.9	8.7	8.875	0%	13.7	13.9	13.8	-2%
10	25.1	25.2	25.15	-3%	9.1	8.7	9.1	8.8	8.925	-1%	14	13.8	13.9	-3%
				-3%					0%					-3%

Dosificación 1:1 (17% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	25.4	25.6	25.5	-5%	8.6	9	8.8	8.9	8.825	0%	14	14.3	14.15	-5%
2	24.7	24.7	24.7	-1%	9.1	9.1	8.9	9.1	9.05	-2%	13.6	13.7	13.65	-1%
3	24.9	25	24.95	-2%	8.9	8.7	9	8.6	8.8	1%	13.5	13.6	13.55	0%
4	25	24.9	24.95	-2%	8.9	9.1	8.8	8.8	8.9	0%	13.9	13.8	13.85	-3%
5	25	25.2	25.1	-3%	8.9	9.1	8.7	8.7	8.85	0%	13.9	13.9	13.9	-3%
6	24.8	25	24.9	-2%	9	9.1	9.1	8.8	9	-2%	13.9	13.7	13.8	-2%
7	25.1	25.2	25.15	-3%	8.7	9.1	8.8	8.8	8.85	0%	13.6	13.8	13.7	-1%
8	25	25	25	-2%	8.9	8.8	8.8	9	8.875	0%	13.5	14	13.75	-2%
9	24.9	24.9	24.9	-2%	8.9	8.8	8.7	9	8.85	0%	13.9	13.7	13.8	-2%
10	24.8	24.9	24.85	-2%	9	8.9	9	8.7	8.9	0%	13.5	13.9	13.7	-1%
				-2%					0%					-2%

Dosificación 1:1 (19% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	25.1	25	25.05	-3%	8.9	9	9	9	8.975	-1%	13.6	13.9	13.75	-2%
2	25.1	25.1	25.1	-3%	9.1	9.2	8.8	8.9	9	-2%	14	13.7	13.85	-3%
3	25	24.9	24.95	-2%	8.7	8.5	8.6	8.4	8.55	4%	13.7	13.5	13.6	-1%
4	25.1	25.1	25.1	-3%	8.8	8.9	8.9	8.7	8.825	0%	13.8	13.9	13.85	-3%
5	25	25.2	25.1	-3%	8.9	8.7	8.8	8.9	8.825	0%	13.9	13.5	13.7	-1%
6	25	25.1	25.05	-3%	8.8	8.9	8.9	8.8	8.85	0%	13.6	13.9	13.75	-2%
7	25.1	25.1	25.1	-3%	9	8.9	8.8	8.9	8.9	0%	13.9	13.9	13.9	-3%
8	25.2	24.8	25	-2%	9	8.9	8.9	8.9	8.925	-1%	13.6	13.5	13.55	0%
9	25	25.2	25.1	-3%	8.9	9	8.6	8.9	8.85	0%	13.7	13.6	13.65	-1%
10	24.9	24.8	24.85	-2%	9.1	9	8.7	8.8	8.9	0%	13.9	13.8	13.85	-3%
				-3%					0%					-2%

Dosificación 1:1 (20% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	24.6	24.5	24.55	-1%	8.8	9	8.7	9	8.875	0%	13.7	13.4	13.55	0%
2	24.7	24.5	24.6	-1%	8.3	8.2	8.6	8	8.275	7%	13.4	13.6	13.5	0%
3	24.8	24.9	24.85	-2%	8.9	9.1	8.9	9	8.975	-1%	13.6	13.5	13.55	0%
4	24.9	24.7	24.8	-2%	8.7	8.6	8.6	8.8	8.675	2%	13.6	13.7	13.65	-1%
5	24.9	24.8	24.85	-2%	8.6	8.8	8.6	8.7	8.675	2%	13.4	13.5	13.45	0%
6	24.8	24.5	24.65	-1%	8.7	8.9	8.8	8.7	8.775	1%	13.6	13.5	13.55	0%
7	24.8	24.6	24.7	-1%	8.6	8.6	8.6	8.5	8.575	3%	13.6	13.7	13.65	-1%
8	24.9	24.8	24.85	-2%	8.7	8.9	8.8	8.7	8.775	1%	13.6	13.5	13.55	0%
9	24.9	24.7	24.8	-2%	8.5	8.7	8.7	8.7	8.65	2%	13.6	13.3	13.45	0%
10	24.5	24.6	24.55	-1%	8.6	8.8	8.9	8.7	8.75	1%	13.5	13.4	13.45	0%
				-1%							2%			0%

Dosificación 1:1 (21% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	24.8	25	24.9	-2%	8.6	8.5	9	8.6	8.675	2%	13.7	13.7	13.7	-1%
2	24.9	25	24.95	-2%	9.2	8.9	9.1	9.1	9.075	-2%	13.7	13.7	13.7	-1%
3	25	25.1	25.05	-3%	8.8	9	9.1	9.1	9	-2%	13.7	13.8	13.75	-2%
4	24.8	25	24.9	-2%	8.7	8.7	9.2	9.1	8.925	-1%	13.5	13.6	13.55	0%
5	24.8	25	24.9	-2%	8.8	8.9	9.1	8.8	8.9	0%	13.7	13.7	13.7	-1%
6	24.8	25.2	25	-2%	9	8.6	9	8.8	8.85	0%	13.7	13.6	13.65	-1%
7	25.1	25	25.05	-3%	9	8.6	9	9	8.9	0%	13.8	13.8	13.8	-2%
8	24.9	25.1	25	-2%	8.8	8.8	8.9	8.8	8.825	0%	13.6	13.8	13.7	-1%
9	24.8	25.2	25	-2%	8.9	8.6	9.2	8.9	8.9	0%	13.6	13.8	13.7	-1%
10	24.8	24.9	24.85	-2%	9	8.7	9.2	8.8	8.925	-1%	13.6	13.9	13.75	-2%
				-2%							0%			-1%

Dosificación 1:1 (23% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	25.2	25	25.1	-3%	9	8.9	9.2	9.2	9.075	-2%	13.8	13.9	13.85	-3%
2	25	25	25	-2%	8.9	8.8	9.1	8.9	8.925	-1%	13.8	14	13.9	-3%
3	25	25	25	-2%	9.1	9	9.1	9.3	9.125	-3%	13.6	13.7	13.65	-1%
4	25	24.9	24.95	-2%	9	8.8	9.3	9.3	9.1	-3%	13.9	13.9	13.9	-3%
5	25.2	25.2	25.2	-3%	9.1	9.1	9	9.2	9.1	-3%	13.8	13.9	13.85	-3%
6	25.2	24.8	25	-2%	8.8	8.7	9.3	9	8.95	-1%	13.8	13.7	13.75	-2%
7	25	25.1	25.05	-3%	8.8	9	9.2	9.2	9.05	-2%	13.7	13.7	13.7	-1%
8	25.1	24.9	25	-2%	9.1	8.9	9	9.2	9.05	-2%	13.7	13.8	13.75	-2%
9	25.2	25	25.1	-3%	8.8	9	9.3	9.2	9.075	-2%	13.8	14	13.9	-3%
10	25	24.9	24.95	-2%	9.1	9.1	9	9.1	9.075	-2%	13.6	14	13.8	-2%
				-3%							-2%			-2%

Dosificación 1:2 (5% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	25.0	25.0	25.0	0.0	8.8	8.3	8.6	8.3	8.5	0.0	14.2	14.2	14.2	-5%
2	25.0	25.0	25.0	0.0	8.8	8.3	8.9	8.5	8.6	0.0	13.7	13.5	13.6	-1%
3	25.0	25.0	25.0	0.0	8.5	8.7	8.7	8.8	8.7	0.0	13.8	13.6	13.7	-1%
4	24.8	24.8	24.8	0.0	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	0.0	13.7	13.8	13.8	-2%
5	24.8	24.8	24.8	0.0	8.6	8.6	8.7	8.7	8.7	0.0	13.9	13.6	13.8	-2%
6	24.8	25.0	24.9	0.0	8.3	8.7	8.8	8.7	8.6	0.0	13.9	13.7	13.8	-2%
7	24.8	24.8	24.8	0.0	8.3	8.6	8.8	8.8	8.6	0.0	13.7	13.7	13.7	-1%
8	25.0	24.8	24.9	0.0	8.7	8.6	8.8	8.8	8.7	0.0	14.0	13.7	13.9	-3%
9	24.9	25.0	25.0	0.0	8.8	8.7	8.7	8.8	8.8	0.0	13.9	13.7	13.8	-2%
10	24.8	25.0	24.9	0.0	8.6	8.7	8.9	8.6	8.7	0.0	14.0	13.7	13.9	-3%
				-2%					2%					

Dosificación 1:2 (7% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	24.2	24.2	24.2	1%	8.9	8.9	8.9	8.8	8.9	0%	13.2	13.2	13.2	2%
2	24.2	24.1	24.15	1%	8.6	8.7	8.7	8.7	8.7	2%	13.2	13.2	13.2	2%
3	24.3	24.3	24.3	0%	9.15	9	8.9	9	9.0	-2%	13.2	13.2	13.2	2%
4	24.2	24.2	24.2	1%	9	8.9	8.8	8.8	8.9	0%	13.2	13	13.1	3%
5	24.3	24.3	24.3	0%	8.7	9	8.7	8.8	8.8	1%	13.2	13.2	13.2	2%
6	24.3	24.3	24.3	0%	9	8.8	8.8	8.8	8.9	0%	13	13.1	13.05	3%
7	24.4	24.4	24.4	0%	8.7	8.9	8.9	8.7	8.8	1%	13.1	13.2	13.15	3%
8	24.2	24	24.1	1%	8.7	9	9	9	8.9	-1%	13.1	13.1	13.1	3%
9	24.3	24.1	24.2	1%	8.9	8.9	9	8.9	8.9	-1%	13.3	13.3	13.3	1%
10	24.2	24.2	24.2	1%	8.8	9	8.9	8.9	8.9	0%	13	13.3	13.15	3%
				1%					0%					2%

Dosificación 1:2 (9% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	24.5	24.5	24.5	0%	8.6	8.7	9	9	8.8	0%	13.5	13.3	13.4	1%
2	24.7	24.7	24.7	-1%	8.8	8.7	8.6	8.7	8.7	2%	13.5	13.4	13.45	0%
3	24.5	24.5	24.5	0%	8.6	8.7	8.5	8.7	8.6	3%	13.5	13.4	13.45	0%
4	24.4	24.4	24.4	0%	8.7	8.8	8.6	8.6	8.7	2%	13.3	13.4	13.35	1%
5	24.7	24.7	24.7	-1%	8.7	8.7	8.7	8.9	8.8	1%	13.7	13.2	13.45	0%
6	24.5	24.5	24.5	0%	8.7	8.6	8.7	8.6	8.7	2%	13.5	13.4	13.45	0%
7	24.5	24.5	24.5	0%	8.5	8.5	8.7	8.8	8.6	3%	13.5	13.2	13.35	1%
8	24.7	24.7	24.7	-1%	8.5	8.6	8.8	8.9	8.7	2%	13.6	13.4	13.5	0%
9	24.4	24.5	24.45	0%	8.6	8.8	8.8	8.6	8.7	2%	13.3	13.2	13.25	2%
10	24.7	24.7	24.7	-1%	8.5	8.8	8.9	8.8	8.8	1%	13.7	13.2	13.45	0%
				-1%					2%					1%

Dosificación 1:2 (11% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	24	24	24	2%	8.3	8.8	8.3	8.5	8.475	4%	13.2	13.1	13.15	3%
2	24.5	24.5	24.5	0%	8.6	8.7	8.9	9	8.8	1%	13.4	13.5	13.45	0%
3	24.7	24.7	24.7	-1%	8.7	8.8	8.8	8.8	8.775	1%	13.6	13.6	13.6	-1%
4	24.4	24.3	24.35	0%	8.5	8.5	8.7	8.7	8.6	3%	13.2	13.3	13.25	2%
5	24.6	24.5	24.55	-1%	8.7	8.5	8.7	8.9	8.7	2%	13.6	13.6	13.6	-1%
6	24.3	24.6	24.45	0%	8.3	8.5	8.7	8.8	8.575	3%	13.2	13.3	13.25	2%
7	24.6	24.6	24.6	-1%	8.7	8.7	8.6	8.9	8.725	2%	13.4	13.6	13.5	0%
8	24.5	24.4	24.45	0%	8.5	8.5	8.8	8.7	8.625	3%	13.6	13.4	13.5	0%
9	24.3	24.5	24.4	0%	8.5	8.5	8.7	8.8	8.625	3%	13.4	13.4	13.4	1%
10	24.5	24.6	24.55	-1%	8.5	8.7	8.7	8.8	8.675	2%	13.4	13.3	13.35	1%
				0%						2%				1%

Dosificación 1:2 (13% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	24.5	24.5	24.5	0%	8.7	9.15	8.9	9.15	9.0	-1%	13.6	13.4	13.5	0%
2	24.2	24.2	24.2	1%	8.7	8.8	8.7	8.7	8.7	2%	13.5	13.4	13.45	0%
3	25	25	25	-2%	8.5	8.9	8.6	9	8.8	1%	13.7	13.8	13.75	-2%
4	24.5	24.7	24.6	-1%	8.8	8.9	8.5	9	8.8	1%	13.7	13.7	13.7	-1%
5	24.7	24.5	24.6	-1%	8.6	8.9	8.7	8.9	8.8	1%	13.7	13.4	13.55	0%
6	24.4	24.4	24.4	0%	8.5	9.15	8.7	8.9	8.8	1%	13.5	13.6	13.55	0%
7	24.4	24.4	24.4	0%	8.6	9	8.7	8.9	8.8	1%	13.5	13.4	13.45	0%
8	24.4	24.7	24.55	-1%	8.7	8.8	8.7	8.9	8.8	1%	13.4	13.5	13.45	0%
9	24.6	24.5	24.55	-1%	8.6	8.9	8.7	8.8	8.8	1%	13.8	13.5	13.65	-1%
10	24.5	24.6	24.55	-1%	8.7	9	8.7	8.9	8.8	0%	13.6	13.6	13.6	-1%
				-1%						1%				0%

Dosificación 1:2 (15% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	24.8	24.7	24.8	-1%	8.5	8.7	8.7	8.5	8.6	3%	13	14.1	13.55	0%
2	24.9	25	25.0	-2%	9.05	8.8	9.05	8.8	8.9	-1%	13.5	13.7	13.6	-1%
3	25	24.8	24.9	-2%	8.8	9.05	8.9	8.7	8.9	0%	13.3	13.8	13.55	0%
4	24.8	24.8	24.8	-2%	8.9	9.15	8.9	8.7	8.9	-1%	13.8	13.1	13.45	0%
5	24.1	25.4	24.8	-1%	8.8	9	8.6	8.5	8.7	2%	13.8	13.7	13.75	-2%
6	25	24.3	24.7	-1%	8.9	8.8	9.15	8.4	8.8	1%	13.8	13.9	13.85	-3%
7	24.9	24.7	24.8	-2%	8.7	8.7	9	8.7	8.8	1%	13.9	13.5	13.7	-1%
8	24.8	25	24.9	-2%	8.7	9	9.15	8.2	8.8	1%	13.8	13.7	13.75	-2%
9	24.5	25.4	25.0	-2%	8.8	9.15	8.9	8.5	8.8	0%	13.7	13.9	13.8	-2%
10	24.8	24.8	24.8	-2%	9.15	8.7	9.15	8.8	9.0	-1%	13	13.8	13.4	1%
				-2%					1%				-1%	

Dosificación 1:2 (17% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	25.4	25.6	25.5	-5%	8.6	8.5	8.8	8.9	8.7	2%	14	14.3	14.15	-5%
2	24.7	24.7	24.7	-1%	9.15	9.15	8.9	9.15	9.0875	-2%	13.6	13.7	13.65	-1%
3	24.9	25	24.95	-2%	8.9	8.7	9	8.6	8.8	1%	13.5	13.6	13.55	0%
4	25	24.9	24.95	-2%	8.9	9.15	8.8	8.8	8.9125	-1%	13.9	13.8	13.85	-3%
5	25	24.8	24.9	-2%	8.9	9.15	8.7	9	8.9375	-1%	13.9	13.9	13.9	-3%
6	24.8	25	24.9	-2%	8.4	9.15	9.15	9.3	8.4	5%	13.9	13.7	13.8	-2%
7	24.8	24.8	24.8	-2%	8.2	9.15	8.8	8.8	8.7375	1%	13.6	13.8	13.7	-1%
8	25	25	25	-2%	8.9	8.8	8.8	8.5	8.75	1%	13.5	14	13.75	-2%
9	24.9	24.9	24.9	-2%	8.9	8.8	8.7	8.7	8.775	1%	13.9	13.7	13.8	-2%
10	24.8	24.9	24.85	-2%	8.9	8.9	9.3	8.7	8.95	-1%	13.5	13.9	13.7	-1%
				-2%					1%					-2%

Dosificación 1:2 (19% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	24.8	25	24.9	-2%	8.9	9	9	9	9.0	-1%	13.6	13.9	13.75	-2%
2	24.8	24.8	24.8	-2%	9.15	9.05	8.8	8.9	9.0	-1%	13.4	13.7	13.55	0%
3	25	24.9	24.95	-2%	8.7	8.5	8.6	8.7	8.6	3%	13.7	13.5	13.6	-1%
4	24.8	24.8	24.8	-2%	8.8	8.9	8.9	8.7	8.8	0%	13.8	13.9	13.85	-3%
5	25	24.8	24.9	-2%	8.9	8.7	8.8	8.9	8.8	0%	13.9	13.5	13.7	-1%
6	25	24.8	24.9	-2%	8.8	8.9	8.9	8.8	8.9	0%	13.6	13.9	13.75	-2%
7	24.8	24.8	24.8	-2%	9	8.9	8.8	8.9	8.9	0%	13.9	13.9	13.9	-3%
8	24.8	24.8	24.8	-2%	9	8.9	8.9	8.9	8.9	-1%	13.6	13.5	13.55	0%
9	25	24.8	24.9	-2%	8.9	9	8.6	8.9	8.9	0%	13.7	13.6	13.65	-1%
10	24.9	24.8	24.85	-2%	9.15	9	8.7	8.8	8.9	-1%	13.9	13.8	13.85	-3%
				-2%					0%					-2%

Dosificación 1:2 (20% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	24.6	24.5	24.55	-1%	8.8	9	8.7	9	8.875	0%	13.7	13.4	13.55	0%
2	24.7	24.5	24.6	-1%	8.3	8.8	8.6	8	8.425	5%	13.4	13.6	13.1	3%
3	24.8	24.9	24.85	-2%	8.9	9.15	8.9	9	8.9875	-1%	13.6	13.5	13.4	1%
4	24.9	24.7	24.8	-2%	8.7	8.6	8.6	8.8	8.675	2%	13.6	13.7	13.65	-1%
5	24.9	24.8	24.85	-2%	8.6	8.8	8.6	8.7	8.675	2%	13.4	13.5	13.45	0%
6	24.8	24.5	24.65	-1%	8.7	8.9	8.8	8.7	8.775	1%	13.6	13.5	13.55	0%
7	24.8	24.6	24.7	-1%	8.6	8.6	8.6	8.5	8.575	3%	13.6	13.7	13.65	-1%
8	24.9	24.8	24.85	-2%	8.7	8.9	8.8	8.7	8.775	1%	13.6	13.5	13.55	0%
9	24.9	24.7	24.8	-2%	8.5	8.7	8.7	8.7	8.65	2%	13.6	13.3	13.7	-1%
10	24.5	24.6	24.55	-1%	8.6	8.8	8.9	8.7	8.75	1%	13.5	13.4	13.2	2%
				-1%					2%					0%

Dosificación 1:2 (21% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	24.2	25	24.6	-1%	8.6	8.5	9	8.6	8.675	2%	13.1	13.1	13.1	3%
2	24.9	25	24.95	-2%	8.45	8.9	9.15	9.15	8.9125	-1%	13.1	13.1	13.1	3%
3	25	24.2	24.6	-1%	8.8	9	9.15	9.15	9.025	-2%	13.1	13.8	13.45	0%
4	24.2	25	24.6	-1%	8.7	8.7	8.45	9.15	8.75	1%	13.5	13.6	13.55	0%
5	24.2	25	24.6	-1%	8.8	8.9	9.15	8.8	8.9125	-1%	13.1	13.1	13.1	3%
6	24.2	24.2	24.2	1%	8.4	8.6	8.5	8.8	8.575	3%	13.1	13.6	13.35	1%
7	24.2	25	24.6	-1%	8.8	8.6	8.4	9	8.7	2%	13.8	13.8	13.8	-2%
8	24.9	24.2	24.55	-1%	8.8	8.8	8.7	8.8	8.775	1%	13.6	13.8	13.7	-1%
9	24.2	24.2	24.2	1%	8.9	8.6	8.45	8.9	8.7125	2%	13.6	13.8	13.7	-1%
10	24.2	24.9	24.55	-1%	8.7	8.7	8.45	8.8	8.6625	2%	13.6	13.9	13.75	-2%
				-1%					1%					0%

Dosificación 1:2 (23% PET)																
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V		
	1	2			1	2	3	4			1	2				
1	24.8	25	24.9	-2%	8.4	8.9	8.4	9.05	8.6875	2%	13.2	13.9	13.55	0%		
2	25	25	25	-2%	8.9	8.8	8.6	8.9	8.8	1%	13.2	14	13.6	-1%		
3	25	25	25	-2%	8.6	8.4	8.6	9.3	8.725	2%	13.6	13.7	13.65	-1%		
4	25	24.9	24.95	-2%	9	8.8	9.3	9.3	9.1	-3%	13.9	13.9	13.9	-3%		
5	24.8	24.8	24.8	-2%	8.6	8.6	8.7	9.05	8.7375	1%	13.2	13.9	13.55	0%		
6	24.8	24.8	24.8	-2%	8.8	8.7	8.7	8.7	8.725	2%	13.2	13.7	13.45	0%		
7	25	24.8	24.9	-2%	8.8	8.4	9.05	9.05	8.825	0%	13.7	13.7	13.7	-1%		
8	24.8	24.9	24.85	-2%	8.6	8.4	8.3	9.05	8.5875	3%	13.7	13.2	13.45	0%		
9	24.8	25	24.9	-2%	8.8	8.4	9.3	9.05	8.8875	0%	13.2	14	13.6	-1%		
10	25	24.9	24.95	-2%	8.6	8.6	8.7	8.6	8.625	3%	13.6	14	13.8	-2%		
				-2%									1%			-1%

Dosificación 1:2 (25% PET)														
Esp.	L (cm)		L _{prom} (cm)	%V	H (cm)				H _{prom} (cm)	%V	A (cm)		A _{prom} (cm)	%V
	1	2			1	2	3	4			1	2		
1	23.8	24.8	24.3	0%	8.7	8.9	8.7	8.7	8.75	1%	13.8	13.8	13.8	-2%
2	23.8	24.8	24.3	0%	8.6	8.7	8.7	8.9	8.725	2%	13.5	13.5	13.5	0%
3	24.9	24.9	24.9	-2%	9.5	9.5	8.7	8.2	8.975	-1%	13.7	13.6	13.65	-1%
4	24.8	24.8	24.8	-2%	8.7	9.05	8.7	8.8	8.8125	1%	13.5	13.6	13.55	0%
5	24.8	23.8	24.3	0%	9.05	8.9	8.7	9.05	8.925	-1%	13.5	13.5	13.5	0%
6	24.2	24	23.8	2%	9	8.9	8.7	8.8	8.85	0%	13.6	13.6	13.6	-1%
7	24.8	24.9	24.85	-2%	8.7	8.8	8.7	9.05	8.8125	1%	13.8	13.6	13.7	-1%
8	24.9	24.9	24.9	-2%	8.9	8.4	8.8	8.8	8.725	2%	13.6	13.5	13.55	0%
9	24.8	23.8	24.3	0%	8.9	8.7	8.7	8.8	8.775	1%	13.6	13.6	13.6	-1%
10	23.9	23.9	23.9	2%	8.7	8.9	9	9.05	8.9125	-1%	13.5	13.6	13.55	0%
				0%					0%					-1%

ANEXO 4. Tablas de ensayo de alabeo de la unidad de albañilería tradicional

Dosificación 1:1 (5% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	2	0	1
3	0	0	0	1	1	1
4	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0.5	0	1	0.5
6	0	0	0	1	0	0.5
7	0	0	0	0	1	0.5
8	0	0	0	0	0	0
9	0	1	0.5	1	0	0.5
10	0	0	0	0	2	1
			0.1			0.5

Dosificación 1:1 (7% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	1	1	1
2	0	0	0	2	0	1
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	2	0	1
5	0	0	0	1	0	0.5
6	1	0	0.5	0	1	0.5
7	0	0	0	0.5	0	0.25
8	0	0	0	1	1	1
9	0	0	0	2	0	1
10	0	0	0	0	2	1
			0.05			0.725

Dosificación 1:1 (9% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	1	1	1
2	0	0	0	0	1	0.5
3	0	1	0.5	1	0	0.5
4	0	0	0	0	0	0
5	2	0	1	0	2	1
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	0	0.5
8	0	0	0	0	1	0.5
9	0	0	0	0	0	0
10	0	1	0.5	2	0	1
			0.2			0.5

Dosificación 1:1 (11% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	1	0	0.5	0	0	0
2	0	0	0	0.5	0	0.25
3	0.5	0	0.25	0	1	0.5
4	0	0	0	0	1	0.5
5	1	0	0.5	0	0	0
6	0.5	0	0.25	0	0	0
7	0	1	0.5	0.5	0	0.25
8	0	2	1	0	1	0.5
9	0	0	0	0	1	0.5
10	0	0	0	0	0	0
			0.3			0.25

Dosificación 1:1 (13% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	0.5	0	0.25
2	0	0	0	1	0	0.5
3	0	0	0	1	0	0.5
4	0	1	0.5	1	0	0.5
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	2	1
9	0	0	0	3	1	2
10	0	0	0	1	1	1
			0.05			0.575

Dosificación 1:1 (15% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	1	0	0.5
2	0	0	0	1	1	1
3	1	1	1	0	0	0
4	1	0	0.5	0	2	1
5	1	0	0.5	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	2	0	1
10	0	0	0	0	0	0
			0.2			0.35

Dosificación 1:1 (17% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	1	0.5	0	0	0
2	0	1	0.5	2	0	1
3	1	0	0.5	0	1	0.5
4	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0.5	2	0	1
6	0	0	0	0	1	0.5
7	0	0	0	1	0	0.5
8	0	1	0.5	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
			0.25			0.35

Dosificación 1:1 (19% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	2	0	1
2	0	0	0	2	0	1
3	0	0	0	2	0	1
4	1	0	0.5	0	0	0
5	0	0	0	0	2	1
6	0	0	0	0	2	1
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	1	0.5	2	0	1
10	0	0	0	3	0	1.5
			0.1			0.75

Dosificación 1:1 (20% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	1	0	0.5	0	0	0
2	0	0	0	3	0	1.5
3	0	0	0	1	1	1
4	0	0	0	0	1	0.5
5	0	2	1	0	1	0.5
6	1	0	0.5	0	0	0
7	0	0	0	0	1	0.5
8	0	0	0	0	0	0
9	2	0	1	3	0	1.5
10	0	0	0	2	0	1
			0.3			0.65

Dosificación 1:1 (21% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	2	1	1.5
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0.5
4	1	0	0.5	0	0	0
5	0	0	0	0	2	1
6	0	0	0	0	3	1.5
7	0	0	0	1	0	0.5
8	1	1	1	0	2	1
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
			0.15			0.6

Dosificación 1:1 (23% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	1	1	1
2	0	0	0	0	2	1
3	0	0	0	0	2	1
4	0	1	0.5	2	0	1
5	0	1	0.5	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	1	0	0.5	0	3	1.5
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	2	2	2
10	0	0	0	1	0	0.5
			0.15			0.8

Dosificación 1:1 (25% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	1	1	1
2	0	0	0	0	1	0.5
3	0	0	0	1	1	1
4	1	1	1	0.5	0	0.25
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0.5	0.25	2	0	1
7	0	0	0	0	2	1
8	1	1	1	0	0	0
9	0	0	0	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0
			0.225			0.575

Dosificación 1:2 (5% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	3	0	1.5
2	0	0	0	2	0	1
3	0	0	0	2	1	1.5
4	0	0	0	3	1	2
5	1	0	0.5	0	1	0.5
6	0	0	0	1	1	1
7	0	0	0	2	1	1.5
8	0	0	0	1	2	1.5
9	0	1	0.5	1	0	0.5
10	0	0	0	0	2	1
			0.1			1.2

Dosificación 1:2 (7% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	1	1	1
2	0	0	0	2	0	1
3	0	0	0	2	0	1
4	0	0	0	2	0	1
5	0	0	0	1	0	0.5
6	1	0	0.5	0	1	0.5
7	0	0	0	3	0	1.5
8	0	0	0	1	1	1
9	0	0	0	2	0	1
10	0	0	0	0	2	1
			0.05			0.95

Dosificación 1:2 (9% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	1	1	1
2	0	0	0	0	1	0.5
3	0	1	0.5	1	0	0.5
4	0	0	0	0	0	0
5	2	0	1	0	2	1
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	0	0.5
8	0	0	0	0	3	1.5
9	0	0	0	0	0	0
10	0	1	0.5	2	0	1
			0.2			0.6

Dosificación 1:2 (11% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	2	0	1	0	0	0
2	2	0	1	2	0	1
3	3	0	1.5	0	1	0.5
4	2	0	1	0	1	0.5
5	2	0	1	0	0	0
6	2	0	1	0	0	0
7	0	1	0.5	2	0	1
8	0	2	1	0	1	0.5
9	0	0	0	0	1	0.5
10	0	0	0	0	0	0
			0.8			0.4

Dosificación 1:2 (13% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	1.5	0	0.75
2	1	0	0.5	0.5	0	0.25
3	0	0	0	1	0	0.5
4	0	1	0.5	1	0	0.5
5	0	0	0	0	1	0.5
6	1	0	0.5	0	1	0.5
7	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0.5	1	0.5	0.75
9	0	0	0	0.5	1	0.75
10	0	0	0	1	1	1
			0.2			0.55

Dosificación 1:2 (15% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	1	0	0.5
2	0	0	0	1	1	1
3	1	1	1	0	0	0
4	1	0	0.5	0	2	1
5	1	0	0.5	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	2	0	1
10	0	0	0	0	0	0
			0.2			0.35

Dosificación 1:2 (17% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	1	0.5	0	0	0
2	0	1	0.5	2	0	1
3	1	0	0.5	0	1	0.5
4	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0.5	2	0	1
6	0	0	0	0	1	0.5
7	0	0	0	1	0	0.5
8	0	1	0.5	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
			0.25			0.35

Dosificación 1:2 (19% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	2	0	1
2	0	0	0	2	0	1
3	0	0	0	2	0	1
4	1	0	0.5	0	0	0
5	0	0	0	0	2	1
6	0	0	0	0	2	1
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	1	0.5	2	0	1
10	0	0	0	3	0	1.5
			0.1			0.75

Dosificación 1:2 (20% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	1	0	0.5	0	0	0
2	0	0	0	3	0	1.5
3	0	0	0	1	1	1
4	0	0	0	0	1	0.5
5	0	2	1	0	1	0.5
6	0	0	0	0	2	1
7	0	0	0	0	1	0.5
8	0	0	0	0	0	0
9	2	0	1	3	0	1.5
10	0	0	0	2	0	1
			0.25			0.75

Dosificación 1:2 (21% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	2	1	1.5
2	0	0	0	2	0	1
3	0	0	0	2	0	1
4	1	0	0.5	0	0	0
5	0	0	0	0	2	1
6	0	0	0	0	3	1.5
7	0	0	0	1	0	0.5
8	0	1	0.5	0	2	1
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
			0.1			0.75

Dosificación 1:2 (23% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	3	1	2
2	0	0	0	0	2	1
3	0	0	0	0	2	1
4	0	1	0.5	2	0	1
5	0	1	0.5	3	0	1.5
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	3	1.5
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	3	2	2.5
10	0	0	0	1	0	0.5
			0.1			1.1

Dosificación 1:2 (25% PET)						
Esp.	Concavidad			Convexidad		
	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)	Cara superior (mm)	Cara inferior (mm)	Promedio (mm)
1	0	0	0	1	1	1
2	0	0	0	0	1	0.5
3	0	0	0	1	1	1
4	1	1	1	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	2	0	1
7	0	0	0	0	2	1
8	1	1	1	0	0	0
9	0	0	0	1	2	1.5
10	0	0	0	0	2	1
			0.2			0.7