



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

“ELABORACIÓN DE LADRILLO ECOLÓGICO A PARTIR DE
RESIDUOS SÓLIDOS (papel y poliestireno)”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:

Ozeas Abel Camacllanqui Huamanlazo (0000-0002-9046-7039)

Asesor:

Ing. Alexander Emanuel Díaz Sotil (0000-0002-7723-2286)

Lima – Perú

2021

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 18 de junio de 2021.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dra. Susan Mery Medina Canzio
Miembro: Dr. Harlem Acevedo Agudelo
Miembro: Mg. Mirtha Rosario Nazario Ramirez

Se reúnen para evaluar la tesis titulada: "Elaboración de ladrillo ecológico a partir de residuos sólidos (papel y poliestireno)"

Presentada por el bachiller:

- Ozeas Abel Camacllanqui Huamanlazo

Para optar el Título Profesional de ingeniero(a) ambiental.

Asesorada por: Mg. Alexander Emanuel Diaz Sotil

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del(a) estudiante de la carrera de ingeniería ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime (x) por mayoría simple () calificar a:

Tesis: Ozeas Abel Camacllanqui Huamanlazo		Nota (en letras): Dieciocho	
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena (x)	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Dra. Susan Mery Medina Canzio
Presidente del Jurado



Mg. Alexander Emanuel Diaz Sotil
Asesor



Dr. Harlem Acevedo Agudelo
Miembro del jurado



Mg. Mirtha Rosario Nazario Ramirez
Miembro del jurado

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi madre, Elida Huamanlazo Ricse, por ser una maravillosa persona, luchadora incansable, de quien aprendí mucho en la vida y a quien siempre le estaré agradecido por brindarme siempre su apoyo y por haber sido padre y madre para mí y mis hermanos.

Esta tesis también se la dedico a mis hermanos: Esther, Elio, Alex y Mark. En especial se la dedico a mi hermano Elio Camacllanqui Huamanlazo, quien me ayudo en la fabricación de la prensa hidráulica, con el cual pude elaborar los ladrillos de papel y poliestireno reciclado.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por estar siempre conmigo.

A mi madre, por haberme dado la vida, y por haber estado siempre pendiente y preocupada por todos sus hijos. A mis hermanos por su apoyo y confianza en mi persona.

A mis amigos y compañeros de la universidad, por su compañía y ayuda incondicional durante toda la carrera universitaria.

Al Programa Nacional de Becas y crédito educativo (Beca 18), por subvencionarme la carrera de Ingeniería Ambiental.

A mi asesor, el Ing. Alexander Díaz Sotil, quien aceptó gustosamente ser mi asesor y por brindarme su apoyo en el desarrollo de la tesis.

Al director de la carrera de Ingeniería ambiental, Mg. Gonzalo Flores Roca, por haberme brindado ayuda cuando lo necesité.

Al ingeniero Javier Orcosupa Rivera, quien me brindó su apoyo y consejos para poder desarrollar la tesis.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
1. Antecedentes de Estudio	5
2. Bases teóricas.....	7
2.1 Residuos sólidos	7
2.2 Definiciones para Albañilería	8
2.3 Pruebas o ensayos de albañilería	12
III. OBJETIVOS/HIPÓTESIS.....	14
1. Objetivos	14
1.1 Objetivo General	14
1.2 Objetivos Específicos	14
2. <i>Hipótesis</i>	15
2.1 Hipótesis general	15
2.2 Hipótesis específicos	15
IV. METODOLOGÍA.....	16
1. Revisión metodológica para el diseño comparativo	16
2. Materiales y equipos.....	18
3. Proceso de elaboración de ladrillo a partir de residuos (papel y poliestireno)	19
3.1 Selección de materiales.....	20
3.2 Triturado de papel y poliestireno.....	20
3.3 Preparación de la mezcla	21
3.4 Composición de los diferentes tratamientos del ladrillo ecológico	22
3.5 Colado y Prensado	22
3.6 Secado	23
4. Ensayos realizados el ladrillo ecológico	23

4.3 Variación dimensional	23
4.2 Medición del alabeo	24
4.3 Resistencia a la compresión	24
4.4 Resistencia a la flexión	25
4.5 Ensayos de succión	25
4.6 Ensayo de Absorción	26
4.7 Densidad.....	27
4.8 Cambio dimensional en la absorción de agua.....	27
V. RESULTADOS	28
1. Variación Dimensional.....	28
2. Alabeo	29
3. Resistencia a la Compresión.....	30
4. Resistencia a la Flexión.....	31
5. Succión	32
6. Absorción	33
7. Densidad.....	34
8. Cambio Dimensional en la absorción	35
9. Resultado de las pruebas realizadas	36
10. Estudio comparativo de ladrillos compuestos por diferentes materiales	37
VI. DISCUSIÓN.....	40
1. Variación Dimensional.....	40
2. Alabeo	41
3. Resistencia a la Compresión.....	42
4. Resistencia a la Flexión.....	44
5. Succión	45
6. Absorción	46
7. Densidad.....	47
8. Cambio dimensional en la absorción	48
VII. CONCLUSIONES	49
VIII. RECOMENDACIONES	50
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
X. ABREVIATURAS.....	56
XI. ANEXOS	57

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los residuos sólidos.....	7
Figura 2. Flujograma de elaboración de ladrillo ecológico (papel y poliestireno).	19
Figura 3. Gráfico de pérdida de peso en días.....	65
Figura 4. Colección y selección de materiales.....	80
Figura 5. Triturado de papel.....	80
Figura 6. Triturado del poliestireno.....	81
Figura 7. Colado de la masa.	81
Figura 8. Prensado del ladrillo.....	82
Figura 9. Pesado de ladrillo húmedo.....	82
Figura 10. Toma de medidas para determinar la variación dimensional.....	83
Figura 11. Medición de alabeo.....	83
Figura 12. Secado de ladrillos en un ambiente aireado para la succión.	84
Figura 13. Medición de succión.....	84
Figura 14. Medición de Absorción.	85
Figura 15. Corte de ladrillo a medias unidades.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de operaciones o procesos para la gestión de residuos sólidos	8
Tabla 2. Clasificación de las unidades de albañilería para fines estructurales	11
Tabla 3. Clasificación de ladrillos según sus propiedades físicas y mecánicas (variación dimensional, alabeo y resistencia a la compresión)	12
Tabla 4. Diseño y desarrollo de ladrillos que incorporan diferentes residuos.....	16
Tabla 5. Metodología para la elaboración de ladrillos de papel y poliestireno.	17
Tabla 6. Detalle de las composiciones de las muestras	22
Tabla 7. Variación dimensional de ladrillos de papel y poliestireno en su largo (L), ancho (A) y altura (H). La tabla muestra los promedios y su desviación estándar así como la variación dimensional (%), comparado con la medida especificada por el fabricante (ME).....	28
Tabla 8. Alabeo de los ladrillos de papel y poliestireno. La tabla muestra los promedios y su desviación estándar de la concavidad y convexidad que presentan las caras A y B, así como el alabeo cóncavo y convexo.	29
Tabla 9. Resistencia a la compresión de ladrillos de papel y poliestireno. La tabla muestra los promedios y su desviación estándar de las dimensiones (cm), el área bruta (cm ²), Carga máxima (Kg) y los promedios y desviación estándar de resistencia a la compresión (Kg/cm ²)..	30
Tabla 10. Resistencia a la flexión para ladrillos de papel y poliestireno. La tabla muestra los promedios y su desviación estándar de las dimensiones largo, ancho y altura (cm) y resistencia a la flexión (Kg/cm ²), así como los promedios de la distancia entre apoyos (cm), el área (cm ²) y la carga de rotura (kg).	31
Tabla 11. Succión de ladrillo de papel y poliestireno. La tabla muestra los promedios y desviaciones estándar.....	32
Tabla 12. Absorción para ladrillo de papel y poliestireno. La tabla muestra los promedios de los pesos secos (gr) y pesos saturados (gr) a 5 horas y 24 horas, así como los promedios y su desviación estándar de la absorción (%) a 5 horas y 24 horas.....	33
Tabla 13. Densidad de los ladrillos de papel y poliestireno.	34
Tabla 14. Cambio de dimensión en la absorción ladrillo de papel y poliestireno en su largo (L), ancho (A) y altura (H). La tabla muestra los promedios y desviación estándar, así como la variación dimensional (%) comparado con la medida especificada por el fabricante (ME).	35
Tabla 15. Resumen de pruebas realizadas.	36
Tabla 16. Comparación de resultados de diferentes materiales para ladrillos.....	39
Tabla 17. Clasificación de ladrillo por su variación dimensional.....	40
Tabla 18. Clasificación de ladrillo por alabeo según la Norma E.070.....	41
Tabla 19. Clasificación de ladrillo según la resistencia a la compresión.	43
Tabla 20. Valores mínimos de resistencia a la flexión.....	44
Tabla 21. Datos de pérdida de peso por secado al sol.....	65
Tabla 22. Datos para variación dimensional ladrillo (100% papel).	66

Tabla 23. Datos de variación dimensional para ladrillo (97% papel - 3% poliestireno).....	66
Tabla 24. Datos de variación dimensional para ladrillo (94% papel - 6% poliestireno).....	66
Tabla 25. Datos de variación dimensional para ladrillo (90% papel - 10% poliestireno).....	66
Tabla 26. Datos de cambio dimensional en la absorción de agua para ladrillo (100% papel)....	67
Tabla 27. Datos de cambio dimensional en la absorción de agua para ladrillo (97% papel – 3% poliestireno).....	67
Tabla 28. Datos de cambio dimensional en la absorción de agua para ladrillo (94% papel – 6% poliestireno).....	68
Tabla 29. Datos de cambio dimensional en la absorción de agua para ladrillo (90% papel – 10% poliestireno).....	68
Tabla 30. Variación dimensional para ladrillo 100% papel.....	69
Tabla 31. Variación dimensional para ladrillo con 97% papel y 3% de poliestireno.....	69
Tabla 32. Variación dimensional para ladrillo con 94% papel y 6% poliestireno.....	70
Tabla 33. Variación dimensional para ladrillo con 90% papel y 10% poliestireno.....	70
Tabla 34. Alabeo para ladrillo 100% papel.....	71
Tabla 35. Alabeo para ladrillo con 97% papel y 3% poliestireno.....	71
Tabla 36. Alabeo para ladrillo con 96% papel y 6% poliestireno.....	72
Tabla 37. Alabeo para ladrillo con 90% papel y 10% poliestireno.....	72
Tabla 38. Resistencia a la compresión para ladrillo 100% papel.....	73
Tabla 39. Resistencia a la compresión para ladrillo con 97% papel y 3% poliestireno.....	73
Tabla 40. Resistencia a la compresión para ladrillo con 94% papel y 6% poliestireno.....	74
Tabla 41. Resistencia a la compresión para ladrillo con 90% papel y 10% poliestireno.....	74
Tabla 42. Resistencia a la flexión para ladrillo 100% papel.....	75
Tabla 43. Resistencia a la flexión para ladrillo con 97% papel y 3% poliestireno.....	75
Tabla 44. Resistencia a la flexión para ladrillo con 94% papel y 6% poliestireno.....	75
Tabla 45. Resistencia a la flexión para ladrillo con 90% papel y 10% poliestireno.....	76
Tabla 46. Succión para ladrillo de papel 100% papel.....	76
Tabla 47. Succión para ladrillo con 97% papel y 3% poliestireno.....	76
Tabla 48. Succión para ladrillo con 94% papel y 6% poliestireno.....	77
Tabla 49. Succión para ladrillo con 90% papel y 10% poliestireno.....	77
Tabla 50. Absorción para ladrillo de papel 100% papel.....	77
Tabla 51. Absorción para ladrillo con 97% papel y 3% poliestireno.....	78
Tabla 52. Absorción para ladrillo con 94% papel y 6% poliestireno.....	78
Tabla 53. Absorción para ladrillo con 90% papel y 10% poliestireno.....	78
Tabla 54. Balance de materiales.....	79

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Resultados de Laboratorio de Ensayo de Materiales (Resistencia a la Compresión)..	57
Anexo B. Resultados de Laboratorio de Ensayo de Materiales (Resistencia a la Flexión).	61
Anexo C. Datos de secado del ladrillo de papel reciclado y poliestireno reciclado.	65
Anexo D. Datos de las mediciones de: largo, ancho y altura para cada tratamiento.	66
Anexo E. Datos de mediciones para cambio de dimensión en la absorción.....	67
Anexo F. Resultados de variación dimensional para cada tratamiento.....	69
Anexo G. Resultados de Alabeo para cada tratamiento.	71
Anexo H. Resultados de resistencia a la compresión para cada tratamiento.....	73
Anexo I. Resultados de resistencia a la flexión para cada tratamiento.	75
Anexo J. Resultados de succión para cada tratamiento.....	76
Anexo K. Resultados de absorción para cada tratamiento.	77
Anexo L. Resultados de Balance de materiales.....	79
Anexo M. Panel fotográfico.....	80
Anexo N. Ventajas y desventajas de ladrillo ecológico (Papel y Poliestireno).....	86
Anexo O. Ficha técnica de ladrillo King Kong 18 huecos, marca comercial.	87

RESUMEN

En esta investigación se evaluó la viabilidad técnica de ladrillos elaborados a partir de residuos de papel y poliestireno, para lo cual se prepararon ladrillos de papel reciclado (PR) y poliestireno reciclado (PSR), compuestos por cuatro tratamientos: T1: 100% PR; T2: 97%PR - 3%PSR; T3: 94%PR - 6%PSR y T4: 90%PR - 10%PSR, a los cuales se realizó ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas (variación dimensional, alabeo, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, succión y absorción) establecidas en la Norma E.070. Los resultados obtenidos para: variación dimensional presenta valores mínimos de variación <math><0.17\%</math> largo, <math><1.28\%</math> ancho y <math><0.67\%</math> de alto; los resultados de alabeo presentan solo alabeo cóncavo <math><2\text{mm}</math>; la prueba de resistencia a la flexión presentan valores >math>12.2\text{ Kg/cm}^2</math>, por consiguiente para las tres pruebas mencionadas el ladrillo de papel y poliestireno presentan buenos resultados, según la norma E.070 albañilería (2006), clasificarían a ladrillo tipo V. La resistencia a la compresión del ladrillos de papel y poliestireno demostró tener buenos resultados 86.6 – 110.2 Kg/cm², que es casi tres veces mayor al ladrillo tipo I (30 Kg/cm²), según la norma E.070 albañilería (2006), las muestras T1 y T4 > 95 Kg/cm² clasifican a ladrillo tipo III y las muestras T2 y T3 > 86 Kg/cm² a ladrillo tipo II. Los resultados de las pruebas realizadas muestran que la combinación de papel y poliestireno se pueden usar potencialmente en la elaboración de un ladrillo más ligero, para paredes internas de partición (muros no portantes).

Palabras clave: Ladrillo ecológico, peso ligero, papel reciclado, poliestireno reciclado, residuos sólidos.

ABSTRACT

In this research, the technical feasibility of bricks made from waste paper and polystyrene was evaluated, for which recycled paper (RP) and recycled polystyrene (RPP) bricks were prepared, composed of four treatments: T1: 100% PR; T2: 97%PR - 3%PSR; T3: 94%PR - 6%PSR and T4: 90%PR - 10%PSR, which were tested to determine the physical and mechanical properties (dimensional variation, warping, compressive strength, flexural strength, suction and absorption) established in the E.070 Standard. The results obtained for: dimensional variation presents minimum values of variation <0.17% length, <1.28% width and <0.67% height; the warping results present only concave warping <2mm; the flexural strength test presents values >12.2 Kg/cm², therefore for the three mentioned tests the paper and polystyrene bricks present good results, according to the standard E.070 masonry (2006), they would classify as type V bricks. The compressive strength of the paper and polystyrene bricks showed good results 86.6 - 110.2 Kg/cm², which is almost three times higher than type I brick (30 Kg/cm²), according to E.070 masonry (2006), samples T1 and T4 > 95 Kg/cm² classify to type III brick and samples T2 and T3 > 86 Kg/cm² classify to type II brick. The test results show that the combination of paper and polystyrene can potentially be used in the production of a lighter brick for internal partition walls (non load-bearing walls).

Keywords: Ecological brick, lightweight, recycled paper, recycled polystyrene, solid wast.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los más grandes problemas ambientales en Perú es la disposición de los residuos sólidos generados en los 1 874 distritos a nivel nacional (INEI 2014). Estos problemas se dan porque hay pocos lugares adecuados para la disposición final, puesto que se considera que el país debe de contar con al menos 190 rellenos sanitarios para disponer finalmente los residuos sólidos, sin embargo, al año 2014 se contaba solo con 11 rellenos sanitarios que cumplían con permisos y autorizaciones, y para la disposición de residuos del ámbito no municipal se tenía solo 10 instalaciones a nivel nacional (MINAM, 2015). Según la plataforma SIGERSOL, la información dada por los gobiernos locales, muestra que se tiene cubierto al 93,74% la recolección de residuos sólidos de la población urbana. Sin embargo, sólo 3 309 712 toneladas fueron a parar a un relleno sanitario, esto no representaría ni el 50%, por lo tanto se incumple la normativa vigente; ya que el restante de residuos sólidos son llevados a botaderos u otras instalaciones dispuestos inadecuadamente (MINAM, 2015).

Los ladrillos de arcilla cocido son ampliamente utilizados como material de construcción en todo el mundo. En general, las propiedades que tengan los ladrillos de arcilla dependerán de la composición de las materias primas, la temperatura de combustión y el método de producción (Kazmi *et al.*, 2018). La producción de materiales de construcción convencionales como cemento, ladrillos y acero consumen mucha energía térmica y eléctrica, además de generar contaminación en el aire, en el agua y la tierra (Madurwar *et al.*, 2013). A nivel mundial el sector de la construcción comparte el 40% del consumo

mundial de energía y representa el 30% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (Joglekar *et al.*, 2018).

La fabricación de ladrillos como parte esencial de la industria de la construcción contribuye en gran medida a la degradación del medio ambiente. Un horno de ladrillos emite aproximadamente 70-282 g de dióxido de carbono, 0.001-0.29 g de carbono negro, 0.29-5.78 g de monóxido de carbono (CO) y 0.15-1.56 g de material particulado por kilogramo de ladrillo cocido, dependiendo del tipo de horno y combustible utilizados para el disparo (Murmu & Patel, 2018). Además, consume alrededor de 0.54-3.14 MJ de energía específica por kilogramo de ladrillo producido, dependiendo del tipo de horno de ladrillos y combustible. Esta información es importante con el hecho de que China produce alrededor de 700-800 mil millones de ladrillos por año e India, Pakistán, Bangladesh y Vietnam juntos producen más de 260 mil millones de ladrillos por año, abasteciendo alrededor del 75% de la demanda mundial de ladrillos cocidos (Baum, 2010; Murmu & Patel, 2018). Por ello el uso extensivo de depósitos naturales de arcilla para la producción de ladrillos ha causado un alarmante nivel de déficit de este material natural. (Zhang, 2013; Kazmi *et al.*, 2016).

En Perú se vive una problemática similar en el Valle Chillón, las ladrilleras de extensión masiva se instalaron en la zona de San Lorenzo, San Pedro de Carabaylo, entre las cuales se encuentran ladrilleras conocidas como: ladrillos Pirámide, Ladrillos Lark, y otras pequeñas ladrilleras formales e informales, que sumados ocupan una área de casi 92 hectáreas, los cuales consumen la arcilla que se encuentra debajo de los suelos agrícolas, y una vez explotada el recurso son aprovechados por las inmobiliarias quienes están construyendo urbanizaciones generando un cambio de uso de suelo, en consecuencia los

suelos agrícolas se están convirtiendo en urbanizaciones residenciales (Cáceres, 2013).

Esta situación ha obligado a los investigadores a cambiar su enfoque hacia el desarrollo de nuevos materiales o reciclar materiales de desecho producidos en diversas industrias. Por lo tanto, el reciclaje de desechos para desarrollar nuevos materiales de construcción está ganando mucha atención (Munir *et al.*, 2018). En el mismo contexto, en la producción de ladrillos se pueden utilizar diversos desechos, como ceniza de cáscara de arroz y ceniza de bagazo de caña de azúcar (Kazmi *et al.*, 2016), lodo de plantas de tratamiento de efluentes textiles y curtiduría (Balasubramanian *et al.*, 2006; Juel & Mizan, 2017), lodo seco de planta de aguas residuales industriales (Weng *et al.*, 2003), residuos de papel y algodón (Rajput *et al.*, 2012), caucho y hormigón (Rashad 2016; Mohammed *et al.*, 2018), residuos de papel y ceniza de cascara de arroz (Raut *et al.*, 2013), pulpa de papel usado (Sutcu & Akkurt, 2009; Raut *et al.*, 2012; Sutcu *et al.*, 2014; Viera *et al.*, 2016; Goel & Kalamdhad 2017) y espuma de poliestireno (Madurwar *et al.*, 2013). Los residuos de procesamiento de papel se usaron como un aditivo en un ladrillo de loza para producir los poros (Sutcu & Akkurt, 2009; Raut *et al.*, 2012; Sutcu *et al.*, 2014; Viera *et al.*, 2016; Goel & Kalamdhad 2017). Los desechos no manejados de producción agrícola o industriales han sido buenos candidatos para ser incorporados en los materiales de construcción para mejorar su desempeño. Este proceso conduce a la formación de poros en los ladrillos, produciendo materiales de construcción ligeros y sostenibles (Bories *et al.*, 2014). Diferentes investigadores han informado sobre la utilización de materiales de desecho como una forma efectiva de generar poros, mejorando el rendimiento térmico de ladrillos de arcilla (Kazmi *et al.*, 2018, Sutcu *et al.*, 2014), así también

se observaron mejoras en las propiedades mecánicas del ladrillo compuesto por arcilla (Bories *et al* 2014, Kazmi *et al.*, 2018, Munir *et al.*, 2018).

También se realizaron investigaciones en Perú sobre la elaboración de ladrillos ecológicos de concreto, el cual lleva como agregado el plástico reciclado, por lo que se llegaron a elaborar ladrillos con agregados de plástico PCV (Astopilco 2015), y ladrillos con agregado de plásticos PET (Valles 2016; Gonzales 2016; Quevedo 2017 y Arrascue & Cano 2017). Estos ladrillos ecológicos se caracterizan porque no necesitan ser horneados, ya que para tener dureza y ser resistentes necesitan ser prensados o utilizar cemento. Además, algunos utilizan materiales reciclados como plástico PET y algunos otros residuos orgánicos (Reyna 2016), también hubo investigaciones donde fabricaron un ladrillo 100% de plástico reciclado, con 70% plástico PET y 30% HDPE (Paz 2014).

Frente a los problemas planteados el presente trabajo pretende aprovechar los residuos de papel y poliestireno para la elaboración de ladrillo ecológico, con ello contribuir en la disminución de los residuos que son dispuestos en los rellenos sanitarios y botaderos, así como también disminuir en el consumo de arcilla, que es la materia prima para elaboración de ladrillos cocidos. Además de contribuir en la disminución de gases de efecto invernadero.

II. MARCO TEÓRICO

1. Antecedentes de Estudio

Los ladrillos convencionales de arcilla cocido son ampliamente utilizados como material de construcción en el mundo, cuyas propiedades dependerá de la composición de las materias primas, la temperatura de combustión y el método de producción (Kazmi *et al.*, 2018). La producción de materiales de construcción consumen mucha energía térmica y eléctrica, al mismo tiempo, ocasionan contaminación en el aire, en el agua y la tierra (Madurwar *et al.*, 2013), por ello muchos investigadores proponen el uso de nuevos materiales para la producción de ladrillos, de modo que se puedan aprovechar los materiales de desechos producidos por industrias, restos de producción agrícolas entre otros (Munir *et al.*, 2018), por eso en las últimas décadas en varios países vienen incorporando y aprovechando los residuos para elaborar materiales de construcción.

En Pakistán fabricaron ladrillos de arcilla que llevan como agregado desechos agrícolas, como ceniza de cáscara de arroz y ceniza de bagazo de caña de azúcar (Kazmi *et al.*, 2016; Kazmi *et al.*, 2018), estos residuos se consiguieron de una industria azucarera y se incorporaron en porcentajes de (5%,10% y 15%) en proporción al peso de arcilla. Los ladrillos fueron fabricados en un horno industrial cuyas propiedades físicas, mecánicas y térmicas dieron como resultado ladrillos más livianos, que son útiles para reducir tanto el costo como el peso total de la estructura. Las muestras con el 15% de desechos llegaron a satisfacer los requisitos mínimos para la resistencia a la compresión (>5MPa) según los diferentes estándares para la construcción de mampostería de dicho país. Pero no solo hay investigaciones donde se agrega residuos a un ladrillo

convencional como el de arcilla, sino también hay ladrillos elaborados casi totalmente con residuos.

En la india usaron residuos de papel y algodón (Rajput *et al.*, 2012), residuos de papel y ceniza de cascara de arroz (Raut *et al.*, 2013), desecho de pulpa de papel usado de fábrica de papel (Raut *et al.*, 2012; Goel & Kalamdhad 2017), en todos los casos a excepción de Goel & Kalamdhad 2017, los ladrillos fabricados tenían una composición de entre 85% y 90% de desechos y la diferencia fue cemento. Como resultado se tuvo un ladrillo más ligero, un ladrillo que pesa la mitad que el ladrillo convencional. En cuanto a la resistencia a la compresión tiene de 21-23 MPa, que es varias veces más resistente a los ladrillos de arcilla convencionales y concluyen que la composición óptima es usar 90% desecho y 10% de cemento. Por otro lado en Latinoamérica se realizaron investigaciones de ladrillos de concreto que llevan como agregado residuos plásticos y algunos residuos orgánicos.

En Perú se han realizado investigaciones sobre la elaboración de ladrillos ecológicos de concreto, el cual lleva como agregado el plástico PET reciclado (Valles 2016; Gonzales 2016; Quevedo 2017 y Arrascue & Cano 2017), cuyos resultados cumplen con la Norma técnica peruana de edificación E.070 albañilería (2006), para el ladrillo tipo I (Arrascue & Cano 2017) y para el tipo IV (Gonzales 2016). Estos ladrillos ecológicos se caracterizan porque no necesitan ser horneados, ya que para tener dureza y ser resistentes necesitan ser prensados o utilizar cemento (Astopilco 2015; Reyna 2016; Valles 2016; Gonzales 2016; Arrascue & Cano 2017), además, utilizan materiales reciclados como plástico PET y algunos otros residuos orgánicos (Reyna 2016).

2. Bases teóricas

2.1 Residuos sólidos

Los residuos sólidos son desechos orgánicos e inorgánicos, que son generados en procesos industriales o en la utilización de bienes y servicios. El mal manejo de estos residuos, genera contaminación ambiental y riesgos en la salud de las personas (MINAM 2015), los residuos sólidos se clasificarán, según su origen, según su gestión y según su peligrosidad, los cuales podemos visualizar en la figura 1.

Clasificación de los residuos sólidos.

Según Ley N° 27314: Ley general de residuos sólidos, se clasifican en:

Figura 1. Clasificación de los residuos sólidos.



Fuente: Ministerio del Ambiente (2017).

Manejo integral de los residuos sólidos

Es el conjunto de medidas técnico normativas, de financiamiento y de planificación que se aplican a los residuos sólidos, a partir de su generación, pasando por otros procesos y hasta llegar a su disposición final. (MINAM 2016).

El manejo para disponer los residuos sólidos se gestiona a través de operaciones o procesos que se pueden visualizar en la tabla 1.

Tabla 1. Comparación de operaciones o procesos para la gestión de residuos sólidos

Según la ley 27314 ley general de residuos solidos		Según la Nueva ley de gestión integral de los residuos sólidos, DL N° 1278	
1	Minimización de residuos	1	Barrido y limpieza de espacios públicos
2	Segregación	2	Segregación
3	Reaprovechamiento	3	Almacenamiento
4	Almacenamiento	4	Recolección
5	Recolección	5	Valorización
6	Comercialización	6	Transporte
7	Transporte	7	Transferencia
8	Tratamiento	8	Tratamiento
9	Transferencia	9	Disposición final
10	Disposición final		

2.2 Definiciones para Albañilería

Norma técnica de edificación E.070 albañilería (2006). Norma técnica peruana donde se establecen los requisitos, así como también las exigencias mínimas a fin de realizar el análisis, en el diseño, en los materiales, en la construcción, en el control de la calidad y sobre todo para inspeccionar las

construcciones de albañilería estructuradas, especialmente para muros confinados y muros armados.

Albañilería o Mampostería. Según la Norma E. 070 (2006) Material estructural que estará compuesto por «unidades de albañilería» asentadas con mortero o apiladas por «unidades de albañilería», los cuales estarán integradas con concreto líquido.

Albañilería Armada. Se caracteriza por estar reforzada con varillas de acero en el interior, distribuidas de manera vertical y horizontalmente, el cual estará integrada con concreto líquido, a fin que los diferentes componentes reaccionen en conjunto para resistir los esfuerzos (NORMA E.070, 2006)

Albañilería Confinada. Se caracteriza por estar compuesta por unidades de albañilería, reforzada con concreto armado, los cuales estarán amarrados por columnas y vigas (NORMA E.070, 2006).

Unidad de Albañilería. Ladrillo, bloques de arcilla cocida, de concreto o sílice calcáreo, estos podrían ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares. (NORMA E.070, 2006) Se denomina ladrillo a la unidad que por sus medidas y peso se puede manipular con una mano, estas unidades de albañilería tendrán que cumplir las características establecidas en la tabla 2, para su clasificación.

Muro Portante. Diseñado y construido a fin de poder transmitir cargas horizontales y verticales (NORMA E.070, 2006).

Muro No Portante. Diseñado y construido a fin de sólo soportar las cargas de su peso propio y las cargas transversales a su plano (NORMA E.070, 2006).

Mortero. Es el material usado para unir vertical y horizontalmente las unidades de albañilería (NORMA E.070, 2006)

Unidad de Albañilería Alveolar. Unidad de albañilería sólida o hueca que podrían tener alvéolos o celdas de un tamaño considerable como para insertar el refuerzo vertical (NORMA E.070, 2006).

Unidad de Albañilería Apilable: Unidad de albañilería alveolares, se caracteriza por que no requiere mortero para su asentamiento (NORMA E.070, 2006).

Unidad de Albañilería Hueca. Es la unidad de albañilería donde su sección transversal para cualquier plano paralelo con la superficie de asiento tenga un área equivalente menor al 70% del área bruta (NORMA E.070, 2006).

Unidad de Albañilería Sólida. Es la unidad de Albañilería donde su sección transversal para cualquier plano paralelo con la superficie de asiento tenga un área igual o mayor que el 70% del área bruta (NORMA E.070, 2006).

Grout. Concreto que puede ser con agregado grueso o sin ello, de estabilidad fluida.

NTP 399.613 (2005). Es la Norma Técnica Peruana que se encarga de determinar los procedimientos a seguir para el muestreo y los ensayos a realizar a los ladrillos de arcilla cocida, usados en albañilería.

Poliestireno. Plástico versátil empleado en la fabricación de diversas variedades de productos de consumo. El poliestireno en forma de espuma podría llegar a tener más de 95% de aire, a este material espumoso se le conoce como poliestireno expandido (EPS) o también se tiene como poliestireno extruido (XPS), los cuales son valorados por tener propiedades de aislamiento y flexibilidad (CHEMICALSAFETYFACTS.ORG, 2020).

SIGERSOL. Sistema de Información para la Gestión de los Residuos Sólidos. Es una plataforma donde se puede contar con información precisa y actualizada sobre la gestión de residuos sólidos que realizan las municipalidades a nivel nacional (MINAM 2015).

Tabla 2. Clasificación de las unidades de albañilería para fines estructurales

CLASE DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máxima en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f'_b mínimo en MPa (kg/cm^2) sobre área bruta
	Hasta 100mm	Hasta 150mm	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 P⁽²⁾	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes

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

Fuente: Norma E.070 albañilería (2006).

Los ladrillos se clasifican en tipos, dependiendo de sus propiedades: según la Norma técnica peruana NTP 331.017 (2005) cuyas características se describen en la tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de ladrillos según sus propiedades físicas y mecánicas (variación dimensional, alabeo y resistencia a la compresión)

Ladrillo	Características y utilidad
Tipo I	Que tiene una resistencia y durabilidad muy baja. Válido para edificaciones en condiciones de utilidad con requerimientos mínimos.
Tipo II	Que tiene una resistencia y durabilidad baja. Válido para edificaciones en condiciones de utilidad moderado.
Tipo III	Que tiene una resistencia y durabilidad media. Válido para edificaciones de uso general.
Tipo IV	Que tiene una resistencia y durabilidad alta. Válido para edificaciones en condiciones de utilidad rigurosa.
Tipo V	Que tiene una resistencia y durabilidad muy alta. Válido para edificaciones en condiciones de utilidad particularmente rigurosas.

Fuente: Norma técnica peruana NTP 331.017 (1978)

2.3 Pruebas o ensayos de albañilería

Las pruebas o ensayos de albañilería se harán según la Norma técnica de edificación E.070 albañilería (2006), y siguiendo los procedimientos de la Norma técnica peruana 399.613 (2005) para muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería. Así mismo una vez realizado todos los ensayos a las unidades de albañilería, estas tendrán que cumplir las características establecidas en la tabla 2, para su clasificación.

- a) Variación Dimensional.- Para determinar la variación de las dimensiones en las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento establecido en la Norma NTP 399.613 (2005).
- b) Alabeo.- Para determinar si las unidades de albañilería presentan alabeos cóncavos o convexos, se seguirá el procedimiento establecido en la Norma NTP 399.613 (2005).
- c) Resistencia a la Compresión.- Para determinar la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería, se realizarán los ensayos correspondientes en el laboratorio, según el procedimiento establecido en la Norma NTP 399.613 (2005).
- d) Absorción.- Para determinar la absorción de agua de las unidades de albañilería se realizarán los ensayos según el procedimiento establecido en la NTP 399.613 (2005).
- e) Succión.- Para determinar la succión de las unidades de albañilería, se realizarán los ensayos según el procedimiento establecido en la NTP 399.613 (2005).
- f) Densidad.- Para determinar la densidad de las unidades de albañilería, se tomarán las mediciones de la masa y las medidas de largo, ancho y altura del ladrillo.
- g) Cambio dimensional en la absorción.- Para determinar el cambio dimensional en la absorción, se seguirá el procedimiento establecido en la NTP 399.613 (2005), de variación dimensional.

III. OBJETIVOS/HIPÓTESIS

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar la viabilidad técnica de los ladrillos elaborados con residuos de papel y poliestireno, bajo criterios de sostenibilidad y cumplimiento de las normas técnicas de Perú.

1.2 Objetivos Específicos

- Elaborar un resumen comparativo que proponga diferentes metodologías para desarrollar este tipo de mampuestos y definir la metodología a seguir a partir del análisis de los trabajos similares encontrados en el diagnóstico.
- Realizar los ensayos técnicos de mampostería en Perú, tales como las propiedades físicas y mecánicas establecidas en el RNE, a las unidades de mampostería de papel y poliestireno.
- Comparar los resultados técnicos conseguidos en esta investigación, con otros resultados de investigaciones similares de ladrillos de arcilla cocida y de concreto.

2. Hipótesis

2.1 Hipótesis general

(Hi) Los ladrillos elaborados con residuos de papel y poliestireno, vendría a ser una alternativa como material de construcción, que cumple con las normas técnicas peruanas de albañilería, además reaprovecha los RRSS para generar un producto liviano y reciclable.

(Ho) Los ladrillos elaborados con residuos de papel y poliestireno, no vendrían a ser una alternativa como material de construcción, que cumple con las normas técnicas peruanas de albañilería, además no reaprovecha los RRSS para generar un producto liviano y reciclable.

2.2 Hipótesis específicos

(Hi) El ladrillo ecológico elaborado con RRSS cumple con las propiedades físicas y mecánicas establecidas en el RNE, por lo que vendría a ser una alternativa como material de construcción.

(Hi) Los ladrillos elaborados con residuos de papel y poliestireno reaprovechan los RRSS para generar un producto liviano y reciclable.

(Ho) El ladrillo ecológico elaborado con RRSS no cumple con las propiedades físicas y mecánicas establecidas en el RNE, por lo que no vendría a ser una alternativa como material de construcción.

(Ho) Los ladrillos elaborados con residuos de papel y poliestireno no reaprovechan los RRSS para generar un producto liviano y reciclable.

IV. METODOLOGÍA

1. Revisión metodológica para el diseño comparativo

En la tabla 4. Se muestra todas las metodologías revisadas para realizar el diseño comparativo de una metodología apta para ladrillos hechos con residuos, ya que, al no haber una metodología específica para elaboración de ladrillos de papel y poliestireno, se tuvo que revisar diferentes investigaciones y a partir de ello se definió la metodología de la presente investigación ver tabla 5 y figura 2.

Tabla 4. Diseño y desarrollo de ladrillos que incorporan diferentes residuos.

	Material de desecho utilizado para la producción de ladrillos % de uso (peso)	Tamaño de molde de ladrillo (mm)	Secado	Cocción/Curado	Diversas pruebas o ensayo	Autores y país
1	Residuos de procesamiento de papel, 10% + arcilla	85 x 85 x 10	Secado a 45°C durante una h en un horno	Disparo en un horno a 2.5°C/min hasta 600°C y luego una velocidad de 10°C/ min hasta 1100°C, durante una h.	Densidad aparente, porosidad aparente, absorción de agua, resistencia a la compresión y conductividad térmica.	Sutcu, M. y Akkurt, S. (2009) Turgutlu, Turquía
2	Lodo de planta de efluentes textiles (ETP), 10% + arcilla	190 x 90 x 90	Secado durante 24 h en un horno	-	Absorción de agua, resistencia a la compresión	Balasubramanian, J., Sabumon, P., Lazar, J. y Ilangovan R. (2006) Tirupur, India
3	Lodo seco de planta de aguas residuales industriales, 10% + arcilla	230 x 110 x 60	Secado a 103°C durante 24 h en un horno	Disparado en una cámara de combustión a 880-1000 ° C	Absorción de agua, resistencia a la compresión, prueba de lixiviados	Weng, C., Lin, D. y Chiang, P. (2003) Taiwán
4	Residuo de producción de pulpa Kraft, 2.5% + arcilla	33 x 40 pieza cilíndrica	Se secó a 21 ° C durante 72 h y luego se secó a 105 ° C en el horno.	Disparó a una velocidad de 2 ° C / min hasta 600 ° C y luego a 5 ° C / min hasta 900 ° C durante 30 min	Densidad, absorción de agua, resistencia a la compresión	Demir, I., Serhat Baspinar, M. y Orhan, M. (2005) Afyon-Cay, Turquía
5	Residuos de papel 85%-89%, Algodón 1%-5%, Cemento 10%	230 x 105 x 80	Secado al sol y al aire libre	-	Densidad, absorción de agua, resistencia a la compresión	Rajput D Bhagade S Raut S Ralegaonkar R Mandavgane S (2012) Nagpur, India
6	Desechos de Fábrica de Papel 80%-95%, Cemento 5%-20%	230 x 105 x 80	Secado al sol y al aire libre	-	Densidad, absorción de agua, resistencia a la compresión	Raut, S., Sedmake, R., Dhunde, S., Ralegaonkar, R. y Mandavgane, S. (2012) Nagpur, India
7	Residuos de papel reciclado molido 70%-80%	230 x 105 x 80	Secado al Sol	-	Densidad, absorción de agua, resistencia a la compresión	Raut, S., Ralegaonkar, R. y Mandavgane, S.

	y ceniza de cascara de arroz 10%-20, Cemento 10%					(2013) Nagpur, India
8	Residuos plástico (PET) 55%, + concreto	230x130 x80	Se secó a 110°C en un horno durante 24 h.	Curado 7 días, y secado hasta los 28 días.	Variación dimensional, Alabeo, Succión, absorción de agua, resistencia a la compresión y flexión	Arrascue, E. J. y Cano, M. E. (2017) Nuevo Chimbote, Perú
9	Residuos plástico (PET) 25%, + concreto	200 x 200 x 400	Se secó a 115°C en un horno durante 24 h.	Curado 7 días, y secado hasta los 28 días.	Absorción de agua, densidad, resistencia a la compresión, contenido de humedad	Caballero, B. y Florez O. (2016) Cartagena, Colombia
10	Residuos plástico (PET) 20%-40%, + concreto	240 x 140 x 100	Se secó a 115°C en un horno durante 24 h.	Curado 7 días, y secado hasta los 28 días.	Variación dimensional, Alabeo, Succión, absorción de agua, resistencia a la compresión y flexión	Astupilco, A. J. (2015) Cajamarca, Perú

Nota: Las investigaciones que tienen espacio en blanco en la columna de cocción/curado, son ladrillos que para tener dureza y consistencia tienen que ser prensados.

Tabla 5. Metodología para la elaboración de ladrillos de papel y poliestireno.

De los Componentes o procesos	Se establece uso o método	Justificación	Referencia
Materiales y equipos	Prensa hidráulica, calibrador vernier, regla de acero, balanza, molde rectangular, batidora y otros	Materiales necesarios para poder elaborar los ladrillos y realizar las diferentes pruebas o ensayos	(Rajput et al., 2012; Raut et al., 2012; Raut et al., 2013; Astopilco 2015; Arrascue y Cano 2017 y presente investigación
Molde para el ladrillo	Las medidas 245X125X160 mm	Se tomó en función a las medidas de ladrillos hechos en el Perú	Astupilco 2015; Arrascue y Cano 2017 y presente investigación
Selección del papel y poliestireno	Selección porcentajes	Para caracterizar y saber su composición	Presente investigación
Triturado del material	Triturado en seco (poliestireno) y triturado en húmedo (papel)	Se requiere para poder formar la masa	Presente investigación
Prensado	El prensado del ladrillo	Para obtener dureza y mejorar las propiedades físicas y mecánicas	Rajput et al., 2012; Raut et al., 2013 y Presente investigación
Composiciones de mezcla (%)	Las composiciones: T1: 100%-0%; T2: 97%-3%; T3: 94%-6% y T4: 90%-10%, papel y poliestireno respectivamente.	Se tomó estos porcentajes como referencia porque se obtuvieron resultados satisfactorios sobre todo para resistencia a la compresión.	Rajput et al., 2012; Raut et al., 2012 y Raut et al., 2013
Secado	Secado al sol	No requiere de curado	Rajput et al., 2012 y Raut et al., 2013

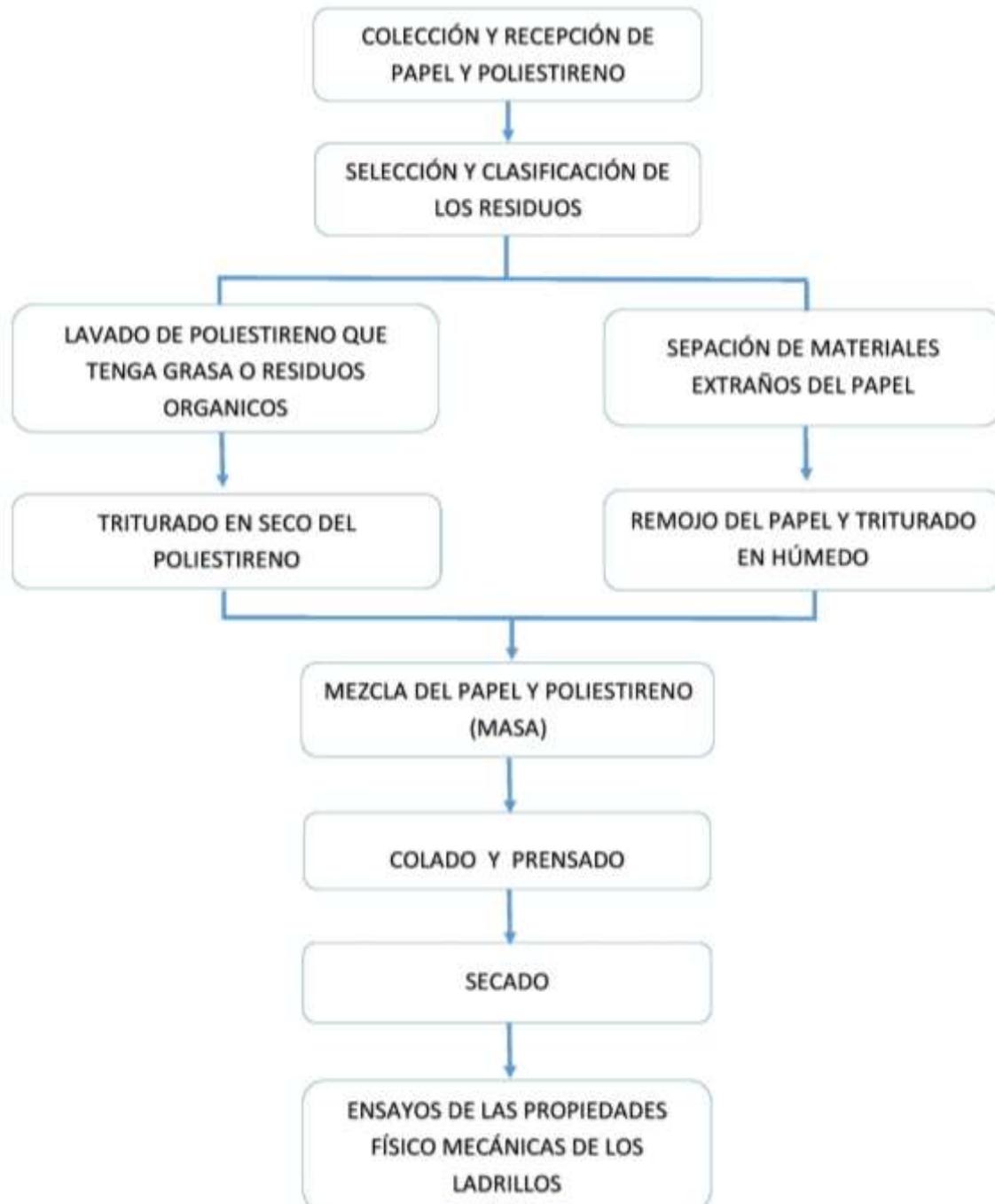
Ensayos o pruebas	Realizar las siguientes pruebas: Variación dimensional, Alabeo, Succión, Absorción, Resistencia a la compresión y Flexión.	Se tomaron con referencia a las investigaciones realizadas en el Perú	Astopilco 2015; Arrascue y Cano 2017; Rajput et al., 2012; Raut et al., 2013
-------------------	---	---	--

2. Materiales y equipos

- Maquina prensa hidráulica de 12 toneladas
- Balanza digital de 5k
- Molde rectangular de acero de 25x12.5x16 cm
- Triturador (molino de granos manual)
- Batidora
- Bandejas de 40*50 cm
- Tacho de plástico de 60 litros
- 3 baldes de 20 L
- 2 coladores
- Escuadra de carpintero
- Regla de acero de 30cm divididos en 1.0 mm
- Calibrador (Vernier)
- Cronometro

3. Proceso de elaboración de ladrillo a partir de residuos (papel y poliestireno)

Figura 2. Flujograma de elaboración de ladrillo ecológico (papel y poliestireno).



3.1 Selección de materiales

Los materiales utilizados fueron residuos de papel reciclado (PR) y poliestireno reciclado (PSR), que fueron obtenidos de residuos domiciliarios. El papel reciclado se logró clasificar en los siguientes porcentajes: 41.5% de papel blanco (papel de copia), 23.1% papel de cuaderno, 13.8% papel bulky y libros (color amarillento), 12.4% papel de color (revistas, catálogos y afiches), 7.7% papel grueso (cartulinas, pasta de cuaderno y libros) y 1% otros (papel de váucher, recibos y boletas); a los cuales se tuvieron que quitar grapas y otro material extraño al papel. En cuanto a los materiales de poliestireno fueron: el poliestireno expandido que vienen como protección en las cajas de electrodomésticos y los platos descartables, este último se tuvieron que lavar con detergente para poder quitar los residuos orgánicos que tenían producto del uso.

3.2 Triturado de papel y poliestireno

El papel reciclado se pesó en función al peso de cada tratamiento, teniendo como peso total 1 kilogramo por cada unidad de ladrillo, y para que cada unidad de ladrillo tenga el mismo porcentaje de cada tipo de papel, se llegó a pesar en función al porcentaje de cada uno de los diferentes papeles que se seleccionó. El triturado o batido del papel se realizó con un taladro al cual se le acondiciono una varilla con cuchillas, el papel fue triturado durante 30 a 40 segundos hasta tener una masa homogénea. Para el triturado primero se remojó el papel en 3 baldes de capacidad 20 litros, cada balde contenía 6 litros de agua, a los cuales se le agregó entre 333 a 300 gramos de papel en función al tratamiento o muestra

que se estuvo elaborando, luego a la masa ya batida del papel se le agrega el poliestireno que ya estuvo triturado con anterioridad, y luego nuevamente se realizó el batido para conseguir una masa homogénea.

El triturado del poliestireno se realizó en un molino de granos manual en seco, donde la fracción de las partículas fueron menores a 3 mm o las que pudieron pasar por un tamiz de agujeros de 3 mm de diámetro. El poliestireno se agrega a la masa ya batida del papel, al cual se tiene que batir nuevamente para poder obtener una mezcla homogénea.

3.3 Preparación de la mezcla

La mezcla de papel y poliestireno se realizó con la ayuda de un taladro el cual fue acondicionado con una varilla y cuchillas, este se asemejaba y cumplía la función de una batidora de inmersión. Se tuvo las mezclas de las diversas proporciones de papel reciclado (PR) y poliestireno reciclado (PSR) para los siguientes tratamientos (T1: 100%PR - 0%PSR; T2: 97%PR - 3%PSR; T3: 94%PR - 6%PSR y T4: 90%PR - 10%PSR) respectivamente, hasta lograr tener una mezcla homogénea. Las proporciones son tomados en base a las diferentes investigaciones (Rajput et al., 2012; Raut et al., 2013).

3.4 Composición de los diferentes tratamientos del ladrillo ecológico

La composición consta de cuatro tratamientos con 10 repeticiones, haciendo un total de 40 unidades, tal como se muestra en la tabla 6. Con los cuales se realizaron los diferentes ensayos tal como lo sugiere Norma E.070 albañilería (2006) y la NTP 399.613 (2005).

Tabla 6. Detalle de las composiciones de las muestras

Tratamiento	Papel %	Poliestireno %	Unidad por tratamiento
T1	100	0	10
T2	97	3	10
T3	94	6	10
T4	90	10	10

3.5 Colado y Prensado

Una vez se tuvo la mezcla de papel y poliestireno con una humedad de 1800%, se pasó a colar el agua hasta llegar a tener una humedad de 417% en promedio, luego la masa fue puesta en el molde de dimensiones 25X12.5X16 cm, para ser prensado hasta tener una muestra húmeda de ladrillo de 7.5 cm de alto, con una humedad de 134% en promedio, el cual fue retirado para su posterior secado. Los datos promedios de porcentajes de humedad están detalladas en la tabla 54, balance de materiales.

3.6 Secado

Se dejaron secar los ladrillos al sol, por alrededor de 16 a 19 días en promedio, tiempo donde todas las unidades de los diferentes tratamientos llegaron a secar, teniendo en cuenta que, en más de dos días consecutivos a exposición del sol mantenían un peso constante. Los datos de secado se detallan en la tabla 21.

4. Ensayos realizados al ladrillo ecológico

4.3 Variación dimensional

Para determinar la variación dimensional del ladrillo de papel y poliestireno, se midieron las dimensiones de diez unidades para cada tratamiento, los cuales fueron medidos con la ayuda de un calibrador (vernier) y una regla de acero de 30 cm divididos en milímetros. La medición se realizó tal como lo recomienda la NTP 399.613 (2005), se tomó las medidas a cada uno de las unidades, para las siguientes dimensiones; largo, ancho y altura, para esto se tomó en cuenta los dos extremos de las dos caras, para ello se tomó como referencia los puntos medios que limitan las caras, con los cuales se tuvo cuatro mediciones para cada dimensión, y se registró con un acercamiento a 1.0 mm, mientras que el promedio se registró con aproximación de 0,5 milímetros.

$$V = \frac{ME - MP}{ME} * 100 \quad \dots \dots \text{Ecuación n}^\circ 1.$$

Donde:

V: Variación dimensional (%).

ME: Medida especificada por el fabricante (mm).

MP: Medida promedio (mm).

4.2 Medición del alabeo

Para determinar el alabeo se siguió los procedimientos de la NTP 399.613 (2005), se llegó a tomar las medidas a 10 unidades enteras, con la ayuda de dos reglas graduadas de acero de 30 centímetros con divisiones en mm, se determinó si las superficies presentan alabeos cóncavos o convexos, bordes cóncavos o convexos, para los cuatro casos se midió la distancia que tienen de deformación con aproximación de un 1mm, y se registró la distorsión para ver si presentan alabeos cóncavos o convexos.

4.3 Resistencia a la compresión

Se determinó la resistencia a la compresión de cinco medias unidades secas, las medias unidades fueron cortadas con un arco de sierra, a partir de un ladrillo entero, cuyas medidas de ancho y la altura fueron equivalentes a las medidas de la unidad original, tal como lo indica la NTP 399.613 (2005).

La resistencia a la compresión se obtuvo con la ecuación descrita en la NTP 399.613 (2005).

$$C = \frac{W}{A} \quad \dots \dots \text{Ecuación n}^\circ 2.$$

Dónde:

C = Resistencia a compresión del espécimen MPa (Kg/cm²).

W = Máxima carga en N, indicada por la máquina de ensayo (Kg).

A = Promedio de las áreas brutas superior e inferior en contacto (cm²).

4.4 Resistencia a la flexión

Para determinar la resistencia a la flexión de los ladrillos se siguió los procedimientos de la NTP 399.613 (2005). Las muestras ensayadas fueron cinco unidades enteras y secas. Para calcular la resistencia a la flexión se utilizó la siguiente fórmula:

$$S = \frac{3WL}{2bd^2} \quad \dots \dots \text{Ecuación n}^\circ 3.$$

En donde:

S= Resistencia a la flexión del espécimen en el plano de falla (Kg/cm²)

W = Carga máxima aplicada por la máquina de prueba, (Kg).

L= Distancia entre los apoyos (cm).

b = Ancho neto (cara a cara) del espécimen en el plano de falla, (cm).

d = Espesor del espécimen en el plano de falla, (cm).

4.5 Ensayos de succión

El periodo inicial se da con el secado de cinco unidades enteras, vale precisar que el secado fue en un ambiente aireado, tal como sugiere la NTP 399.613 (2005). Las unidades fueron almacenadas en un cuarto ventilado, manteniendo una separación entre ellas, de tal manera que no estuvieron juntas ni apiladas. El secado se realizó con la ayuda de un ventilador eléctrico, el cual estuvo encendido alrededor de 4 horas, hasta ver que, a dos pesadas seguidas a intervalos de dos horas, tenía un peso constante, desde la última pesada de la muestra.

Luego la unidad se puso sobre dos soportes no corrosibles de espesor 6 mm y agua con 3 milímetros de altura, medida a partir de los soportes. Durante un minuto la muestra estuvo en contacto con el agua, manteniendo el nivel del agua

controlado, de tal manera que este permaneció por encima de los soportes, luego fue retirado y secado con un paño húmedo para su posterior pesado. La succión se halló de acuerdo a la NTP 399.613 (2005), con la siguiente ecuación.

$$x = \frac{200W}{LB} \quad \dots \dots \text{Ecuación n}^\circ 4.$$

Donde:

X: Diferencia de pesos corregida, sobre la base de 200 cm²

W: Diferencia de pesos del espécimen (g)

L: Longitud del espécimen (cm)

B: Ancho del espécimen (cm)

4.6 Ensayo de Absorción

Las muestras de prueba fueron cinco medias unidades, los cuales fueron cortados a partir de una unidad entera con un arco de sierra, vale precisar que el secado fue en un ambiente aireado, tal como sugiere la NTP 399.613(2005). Las unidades fueron almacenadas en un cuarto ventilado, separadas entre ellas, de tal manera que no estuvieron juntas ni apiladas. El secado se realizó con la ayuda de un ventilador eléctrico, el cual estuvo encendido alrededor de 4 horas, hasta ver que, a dos pesadas seguidas a intervalos de dos horas, se tenía un peso constante, desde la última pesada de la muestra.

Luego las unidades fueron sumergidas parcialmente en agua potable por un tiempo de 5 y 24 horas, a temperatura entre 15.5 °C a 30 °C, pasado ese tiempo se retiró las unidades y se limpió el agua con un paño, luego se pesó dentro de los 5 minutos de haber sido retirado del agua.

La absorción se halló de acuerdo a la NTP 399.613 (2005), con la siguiente ecuación.

$$A = \frac{W_s - W_d}{W_d} * 100 \quad \dots \dots \text{Ecuación n}^\circ 5.$$

En donde:

A: Absorción (%)

W_d: Peso del espécimen seco (gr)

W_s: Peso saturado del espécimen (gr) a 5 y 24 horas.

4.7 Densidad

Para poder determinar la densidad del ladrillo, se tuvo que tomar los pesos de 10 unidades enteras para cada tratamiento y las medidas de largo, ancho y altura para poder determinar el volumen, en total se llegaron a medir 40 unidades de ladrillo. Los datos de los pesos fueron tomados de los obtenidos para la succión y absorción, este último antes que fueran cortadas a medias unidades, y las medidas de largo, ancho y altura fueron tomados de los datos de variación dimensional.

4.8 Cambio dimensional en la absorción de agua

Para determinar el cambio dimensional en la absorción de agua, primero se tomó las medidas de las medias unidades en seco, y luego una vez ensayado la absorción de agua, se realizó las mediciones para determinar el cambio dimensional, para ello se siguió los mismos procedimientos establecidos por la NTP 399.613 (2005), para variación dimensional.

V. RESULTADOS

1. Variación Dimensional

Para hallar los resultados de variación dimensional se usó la ecuación n°1, y siguiendo la NTP 399.613 (2005), para ensayos de variación dimensional se tiene los siguientes resultados.

Los ladrillos de papel y poliestireno presentan los siguientes resultados para variación dimensional: T1: (L=0.17%, A=1.28% y H=0.30%), T2: (L=0.17%, A=0.70% y H=0.53), T3: (L=0.11%, A=0.35% y H=0.28%) y T4: (L=0.08%, A=0.42% y H=0.67), todas las muestras de todos los tratamientos presentan poca variación en sus dimensiones, por consiguiente, según la Norma E.070 albañilería (2006) clasificarían a ladrillo tipo V. Además que el tratamiento T4 presenta menor variación en sus dimensiones, como podemos observar en la tabla 7.

Tabla 7. Variación dimensional de ladrillos de papel y poliestireno en su largo (L), ancho (A) y altura (H). La tabla muestra los promedios y su desviación estándar así como la variación dimensional (%), comparado con la medida especificada por el fabricante (ME).

Muestra	L (mm)	A (mm)	H (mm)	L (%)	A (%)	H (%)
ME	245	125	75	-	-	-
T1	244.58 ± 0.41	123.40 ± 0.25	74.77 ± 0.48	0.17	1.28	0.30
T2	244.59 ± 0.33	124.13 ± 0.66	74.60 ± 0.97	0.17	0.70	0.53
T3	244.73 ± 0.40	124.56 ± 0.41	74.79 ± 0.70	0.11	0.35	0.28
T4	244.80 ± 0.30	124.47 ± 0.29	75.50 ± 0.33	0.08	0.42	0.67

2. Alabeo

Para hallar los resultados de alabeo se siguió el procedimiento de la NTP 399.613 (2005), para alabeo y se tuvo los siguientes resultados.

Los ladrillos de papel y poliestireno presenta resultados de alabeo para los siguientes tratamientos: T1 = 1.60mm; T2 = 1.55mm; T3 = 1.60mm y T4 = 1.40mm, como se puede observar en la tabla 8, todos los tratamientos presentan solo alabeos cóncavos menores a 2 mm, que es el máximo alabeo que un ladrillo debería de presentar para clasificar a ladrillo tipo V, según la Norma E.070 albañilería (2006). Además que el tratamiento T4 = 1.40mm presenta menor alabeo. Vale mencionar que solo la parte superior de la cara de prensado presenta alabeo cóncavo y que la cara inferior no presenta ni alabeo cóncavo ni convexo.

Tabla 8. Alabeo de los ladrillos de papel y poliestireno. La tabla muestra los promedios y su desviación estándar de la concavidad y convexidad que presentan las caras A y B, así como el alabeo cóncavo y convexo.

Muestra	Cara A		Cara B		Alabeo	
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
T1	3.20 ± 0.42	0	0	0	1.60 ± 0.21	0
T2	3.10 ± 0.32	0	0	0	1.55 ± 0.16	0
T3	3.20 ± 0.42	0	0	0	1.60 ± 0.21	0
T4	2.80 ± 0.63	0	0	0	1.40 ± 0.32	0

3. Resistencia a la Compresión

Los resultados para resistencia a la compresión se obtuvieron con la ecuación n° 2, y siguiendo la NTP 399.613 (2005), para ensayos de compresión se obtuvo los siguientes resultados.

Los ladrillos de papel y poliestireno de los tratamientos T1 y T4 presentaron resistencia a la compresión: T1 = 110.2 kg/cm² y T4 = 95 kg/cm², ambos clasifican a ladrillo tipo III según la norma E.070 (2006), seguidamente por los tratamientos T2 y T3 con resistencia a la compresión: T2 = 86.5 kg/cm² y T3 = 89.9 kg/cm², que clasifican a ladrillo tipo II según la norma E.070 (2006). Además los tratamientos que mejores resultados tuvieron son los tratamientos T1 y T4, tal como podemos observar en la tabla 9.

Tabla 9. Resistencia a la compresión de ladrillos de papel y poliestireno. La tabla muestra los promedios y su desviación estándar de las dimensiones (cm), el área bruta (cm²), Carga máxima (Kg) y los promedios y desviación estándar de resistencia a la compresión (Kg/cm²).

Muestra	Dimensiones promedio (cm)			Área Bruta promedio (cm ²)	Carga Máxima promedio (kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)
	Largo	Ancho	Altura			
T1	12.3 ± 0.1	12.3 ± 0.1	7.6 ± 0.1	150.8	16621.0	110.2 ± 6.4
T2	12.2 ± 0.1	12.4 ± 0.0	7.6 ± 0.2	151.8	13120.0	86.5 ± 4.6
T3	12.3 ± 0.1	12.5 ± 0.1	7.6 ± 0.1	153.3	13772.0	89.9 ± 2.0
T4	12.3 ± 0.1	12.5 ± 0.1	7.7 ± 0.1	153.3	14558.0	95.0 ± 2.7

4. Resistencia a la Flexión

Los resultados de resistencia a la flexión se obtuvieron con la ecuación n° 3, y siguiendo la NTP 399.613 (2005), obteniendo los siguientes resultados que se puede visualizar en la tabla 10.

Los ladrillos de papel y poliestireno presentan resultados de resistencia a la flexión para los siguientes tratamientos: T1 = 14.2 kg/cm²; T2 = 12.6 kg/cm²; T3 = 13.2 kg/cm² y T4 = 12.2 kg/cm², de manera general todas las muestras presentan resistencia a la flexión mayores a 10 Kg/cm², valor mínimo que debería tener una unidad de albañilería para clasificar a ladrillo tipo V, según la Norma técnica peruana ITINTEC 331.017 (1978). Además según San Bartolomé (2005) “Los esfuerzos de tracción por flexión en condición de rotura, son del orden de 5 kg/cm² para la albañilería simple y 10 kg/cm² para la albañilería rellena con grout” (p.125).

Tabla 10. Resistencia a la flexión para ladrillos de papel y poliestireno. La tabla muestra los promedios y su desviación estándar de las dimensiones largo, ancho y altura (cm) y resistencia a la flexión (Kg/cm²), así como los promedios de la distancia entre apoyos (cm), el área (cm²) y la carga de rotura (kg).

Muestra	Distancia entre Apoyos (cm)	Dimensiones (cm)			Área (cm ²)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la flexión (Kg/cm ²)
		Largo	Ancho	Altura			
T1	20.4	24.5 ± 0.1	12.4 ± 0.1	7.5 ± 0.1	303.3	326.4	14.2 ± 0.47
T2	20.5	24.5 ± 0.0	12.5 ± 0.0	7.6 ± 0.1	305.8	292.8	12.6 ± 0.26
T3	20.5	24.5 ± 0.1	12.5 ± 0.1	7.6 ± 0.1	307.7	308.0	13.2 ± 0.30
T4	20.5	24.5 ± 0.0	12.5 ± 0.0	7.6 ± 0.1	306.0	284.2	12.2 ± 0.15

5. Succión

Los resultados de succión se obtuvieron con la ecuación n° 4, y siguiendo la NTP 399.613 (2005), y se obtuvo los siguientes resultados.

Los ladrillos de papel y poliestireno presentan resultados de succión para los siguientes tratamientos: T1 = 98.81 gr/200cm²-min; T2 = 105.53 gr/200cm²-min; T3 = 120.67 gr/200cm²-min y T4 = 126.67 gr/200cm²-min, los resultados muestran que todos los tratamientos tienen succiones muy altas y que la succión es directamente proporcional al poliestireno, es decir, a mayor poliestireno mayor succión, tal como se puede observar en la tabla 11. La Norma E.070 albañilería (2006), sugiere que la succión debe de estar entre 10 a 20 gr/200 cm²-min al instante de asentarlas, para ladrillos de arcilla que tengan succiones mayor a 20 gr/200cm²-min, se recomienda regarlos durante media hora, entre 10 y 15 horas antes de asentarlas, con la finalidad de bajar la succión.

Tabla 11. Succión de ladrillo de papel y poliestireno. La tabla muestra los promedios y desviaciones estándar.

Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Peso Seco (gr)	Peso Húmedo (gr)	Succión (gr/200cm ² -min)
T1	24.5 ± 0.0	12.3 ± 0.0	975.0 ± 4.1	1124.2 ± 4.3	98.8 ± 3.7
T2	24.4 ± 0.0	12.4 ± 0.0	970.4 ± 2.1	1130.2 ± 10.8	105.5 ± 5.5
T3	24.5 ± 0.0	12.5 ± 0.1	975.8 ± 10.0	1159.0 ± 29.1	120.0 ± 12.6
T4	24.5 ± 0.0	12.5 ± 0.0	971.6 ± 7.8	1164.8 ± 9.0	126.7 ± 1.8

6. Absorción

Los resultados de absorción se obtuvieron con la ecuación n° 5, y siguiendo la NTP 399.613 (2005), obteniendo los siguientes resultados.

Los ladrillos de papel y poliestireno presentan absorciones para 24 horas, para los siguientes tratamientos: T1 = 219.77%; T2 = 212.19%; T3 = 205.99% y T4 = 199.65%, los resultados muestran que todos los tratamientos presentan absorciones muy altas y que la absorción es directamente proporcional al papel, es decir, a mayor porcentaje de papel mayor absorción, tal como se puede ver tabla 12. El poliestireno por ser plástico no absorbe agua en comparación al papel. La alta absorción de agua se puede reducir aplicando un revestimiento sobre la superficie del ladrillo sin comprometer las propiedades del mismo (Raut et al., 2012; Raut et al., 2013).

Tabla 12. Absorción para ladrillo de papel y poliestireno. La tabla muestra los promedios de los pesos secos (gr) y pesos saturados (gr) a 5 horas y 24 horas, así como los promedios y su desviación estándar de la absorción (%) a 5 horas y 24 horas.

Muestra	Peso Seco (gr)	Peso Saturado 5H (gr)	Peso Saturado 24H (gr)	Absorción 5H (%)	Absorción 24H (%)
T1	481.6 ± 4.9	1461.0 ± 8.1	1540.0 ± 14.7	203.4 ± 1.5	219.8 ± 1.3
T2	482.8 ± 4.3	1439.2 ± 8.5	1507.2 ± 7.3	198.1 ± 1.1	212.2 ± 2.4
T3	484.6 ± 4.9	1424.8 ± 7.6	1482.8 ± 15.1	194.0 ± 1.4	206.0 ± 1.9
T4	481.0 ± 5.7	1395.0 ± 8.0	1441.2 ± 5.5	190.0 ± 1.8	199.6 ± 2.6

7. Densidad

Los resultados de densidad de los ladrillos ecológicos a partir de residuos de papel y poliestireno, se obtuvieron a partir del promedio de las mediciones tanto de los pesos y medidas de 10 unidades de ladrillos para cada tratamiento, en total se midió el peso y las medidas de largo, ancho y altura de 40 muestras. Se tuvo los resultados siguientes para cada uno de los tratamientos: T1, T2, y T3 = 0.46 gr/cm³ y para T4 = 0.45 gr/cm³, tal como se puede ver en la tabla 13. En resumen todos los tratamientos presentan menores densidades con referencia a otros ladrillos ya sea de arcilla o de concreto, esto se debe a que el papel y poliestireno tienen bajas densidades, en comparación de los materiales que componen a los ladrillos tanto de arcilla y concreto.

Tabla 13. Densidad de los ladrillos de papel y poliestireno.

Muestra	Peso promedio (gr)	Volumen promedio (cm³)	Densidad (gr/cm³)
T1	974.40	2109.36	0.46
T2	976.50	2117.72	0.46
T3	976.80	2132.87	0.46
T4	970.70	2153.59	0.45

8. Cambio Dimensional en la absorción

Los resultados del cambio dimensional en la absorción de agua del ladrillo de papel y poliestireno, se obtuvieron a partir de las medidas de las medias unidades que fueron sumergidas en agua potable por 24 horas, en el ensayo de absorción, cuyos resultados para cada tratamiento son los siguientes: T1 (L = 4.0%, A = 4.1% y H = 21.1%), T2 (L = 3.9%, A = 3.9% y H = 18.9), T3 (L = 3.6%, A = 3.6% y H = 19.0%) y T4 (L = 3.6%, A = 3.8% y H = 17.6%), en resumen el tratamiento T1: 100% papel presenta mayor cambio dimensional en la absorción y el tratamiento T4 presenta menor cambio dimensional, tal como se puede ver en la tabla 14.

Tabla 14. Cambio de dimensión en la absorción ladrillo de papel y poliestireno en su largo (L), ancho (A) y altura (H). La tabla muestra los promedios y desviación estándar, así como la variación dimensional (%) comparado con la medida especificada por el fabricante (ME).

Muestra	L (mm)	A (mm)	H (mm)	L (%)	A (%)	H (%)
ME	122	125	75	-	-	-
T1	126.9 ± 0.70	130.1 ± 1.45	90.8 ± 2.48	4.0	4.1	21.1
T2	126.7 ± 0.50	129.5 ± 1.30	89.2 ± 2.41	3.9	3.9	18.9
T3	126.4 ± 0.70	129.5 ± 0.70	89.3 ± 0.57	3.6	3.6	19.0
T4	126.4 ± 0.25	129.8 ± 0.52	88.2 ± 0.46	3.6	3.8	17.6

9. Resultado de las pruebas realizadas

En la tabla 15 se muestra el resumen de todas las pruebas realizadas a los ladrillos de papel y poliestireno, de manera que, todos los resultados de las diferentes pruebas anteriormente mostradas son los mismos a excepción de: variación dimensional y cambio de dimensión en la absorción, para estos dos resultados se muestran los promedios y variación estándar, de largo, ancho y altura del ladrillo en un solo dato.

Tabla 15. Resumen de pruebas realizadas.

Muestra	T1	T2	T3	T4
Variación Dimensional (%)	0.59 ± 0.61	0.47 ± 0.27	0.25 ± 0.12	0.39 ± 0.29
Alabeo (mm)	1.60	1.55	1.60	1.40
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	110.2 ± 6.4	86.5 ± 4.6	89.9 ± 2.0	95.0 ± 2.7
Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	14.2 ± 0.5	12.6 ± 0.3	13.2 ± 0.3	12.2 ± 0.1
Succión (gr/200cm ² -min)	98.81	105.53	120.03	126.67
Absorción de agua (%)	219.77	212.19	205.99	199.65
Densidad (gr/cm ³)	0.46	0.46	0.46	0.45
Variación Dimensional en la Absorción (%)	10.2 ± 10.1	9.3 ± 9.2	8.8 ± 8.6	8.2 ± 7.4

10. Estudio comparativo de ladrillos compuestos por diferentes

materiales

Se hizo un estudio comparativo de los resultados obtenidos en diferentes investigaciones como: ladrillos de concreto con incorporación de PCV y PET, con diferentes porcentajes; ladrillos con desechos de fábrica de papel, desechos de algodón y cemento; Ladrillos con desechos de papel reciclado y cemento; ladrillos con residuo de papel reciclado molido, cascara de arroz y cemento; ladrillos de una marca comercial peruana y finalmente la presente investigación, cuyos resultados y cuadro comparativo podemos observar en la tabla 16.

En cuanto a los resultados de variación dimensional, la investigación que tiene menor variación dimensional son los ladrillos de concretos con agregado PET, presentan una variación dimensional $< 1\%$ (Arrascue y Cano 2017), mientras las que presentan mayor variación dimensional $< 18\%$ son los ladrillos con 95% residuos de papel y 5% cemento (Raut et al., 2012).

Para alabeo la investigación de ladrillo de concreto con agregado PET (Arrascue y Cano 2017) no presenta alabeo, así mismo el que presentan menor alabeo son los ladrillos de concreto y plástico PVC $< 2\text{mm}$ (Astopilco 2015), mientras la que presenta mayor alabeo es la marca comercial < 4 (CEPERSA 2017).

Para resistencia a la compresión la investigación que presenta mayores resultados son los ladrillos de desechos de papel, desechos de algodón y cemento (Raut et al., 2013), tienen una resistencia a la compresión $> 215 \text{ Kg/cm}^2$, y los que presentan menor resistencia a la compresión es el ladrillo de concreto con agregado PET (Arrascue y Cano 2017) presenta una resistencia a la compresión $= 55 \text{ Kg/cm}^2$, para ladrillo de concreto con agregado PET 55%.

Para resistencia a la flexión, la investigación que presenta mejores resultados es el ladrillo de concreto con plástico PET (Gonzales 2016), presenta una resistencia a la flexión $>91 \text{ Kg/cm}^2$, mientras que la que presenta menor flexión es el ladrillo de papel y poliestireno, presenta una resistencia a la flexión $>12.2 \text{ Kg/cm}^2$, y el resto de investigaciones no presentan datos de resistencia a la flexión.

Para succión la investigación que presenta mejores resultados es el ladrillo de concreto con plástico PET (Gonzales 2016), presenta succiones $<9.17 \text{ gr/200cm}^2\text{-min}$, y la investigación que presenta mayor succión es el ladrillo de papel y poliestireno $<126 \text{ gr/200cm}^2\text{-min}$, el resto de investigaciones no presentan datos de succión.

Para absorción la investigación que presentan mejores resultados es el ladrillo de concreto con plástico PET (Gonzales 2016), presenta absorciones $<4.51\%$, mientras que los que presentan demasiada absorción $<219\%$ son los ladrillos de papel y poliestireno.

Para la densidad, la que presenta mayor densidad es el ladrillo de la marca comercial (CEPERSA 2017), presenta densidades = $1.9 - 2.0 \text{ Kg/cm}^3$, mientras la que presenta menor densidad es el ladrillo de papel y poliestireno, presenta una densidad = $0.45 - 0.46 \text{ Kg/cm}^3$.

Tabla 16. Comparación de resultados de diferentes materiales para ladrillos

Tipo de ladrillo (desecho utilizado)	Variación dimensional (%)	Alabeo (mm)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)	Succión (gr/200cm ² -min)	Absorción (%)	Densidad (kg/cm ³)	Autores
Ladrillo de concreto con residuos plástico (PCV) 55%.	<2	No presentan	55	-	40.46	9.83	1.79	Arrascue, E. J. y Cano, M. E. (2017) Nuevo Chimbote, Perú
Ladrillo de concreto con residuos plástico (PET) 5%, 10% y 15%,	<2	<2	145-181	91-194	7.47 - 9.17	2.9 - 4.5	-	Gonzales, R. K. (2016) Cajamarca, Perú
Ladrillo de concreto con residuos plástico (PET) 20% y 40%,	<2	<2	98 – 170	89 – 142	15.5 - 14.1	6.8 - 7.8	-	Astupilco, A. J. (2015) Cajamarca, Perú
Ladrillo a partir de residuos de papel 85%-89% y Algodón 1%-5%, Cemento 10%	<8	-	215 – 241	-	-	99 - 105	0.55 - 0.59	Rajput D Bhagade S Raut S Ralegaonkar R Mandavgane S (2012) Nagpur, India
Ladrillo a partir de desechos de Fábrica de Papel 80%-95%, Cemento 5%-20%	<6-18	-	91 – 101	-	-	83 - 108	-	Raut, S., Sedmake, R., Dhunde, S., Ralegaonkar, R. y Mandavgane, S. (2012) Nagpur, India
Ladrillo a partir de residuos de papel reciclado molido 70%-80% y ceniza de cascara de arroz 10%-20, Cemento 10%	<6	-	121 – 152	-	-	61 - 100	0.54 - 0.56	Raut, S., Ralegaonkar, R. y Mandavgane, S. (2013) Nagpur, India
Ladrillo de arcilla king kong 18 huecos	<3	<4	>130	-	-	<22	1.9 - 2	Marca Comercial
Ladrillo de papel y poliestireno (T1: 100%-0%; T2: 97%-3%; T3: 94%-6% y T4: 90%-10%	<2	<2	86 – 110	12 – 14	98 – 126	199 - 219	0.42 - 0.43	Presente investigación

VI. DISCUSIÓN

1. Variación Dimensional

De acuerdo a los resultados obtenidos para variación dimensional, el ladrillo de papel y poliestireno presenta mínima variación en sus dimensiones T1: (L=0.17%, A=1.28% y H=0.30%), T2: (L=0.17%, A=0.70% y H=0.53), T3: (L=0.11%, A=0.35% y H=0.28%) y T4: (L=0.08%, A=0.42% y H=0.67), tal como se puede observar en la tabla 17, los mismos que clasificarían a ladrillo tipo V, ya que según la Norma E.070 (2006), deben tener una variación máxima de $\pm 1\%$ en lo largo (L); $\pm 2\%$ en lo ancho (A) y $\pm 3\%$ en lo alto (H). Resultados similares tuvieron (Arrascue y Cano 2017), ladrillo de concreto patrón (L = 0.27%; A = 0.24% y H = 0.39%) y ladrillo de concreto con 55% PET (L = 0.15%; A = 0.21% y H = 0.39%), quienes también concluyen que sus muestras clasifican a ladrillo tipo V, según la Norma E.070 (2006). De la misma manera, el estudio realizado por (Gonzales 2016) presentan resultados similares: los ladrillos con 15% de PET (L= -1.24%, A= -0.41% y H= -1.08%); ladrillos con 10% de PET (L= -1.34%, A= 0.69% y H= -1.37%) y los ladrillos con 5% de PET (L= -1.24%, A= -0.56% y H= -1.00%), con base a sus resultados concluye que todas sus muestras clasifican a ladrillo tipo IV según la Norma E.070 albañilería (2006).

Tabla 17. Clasificación de ladrillo por su variación dimensional.

Muestras	Variación Dimensional (%)			Clasificación Norma E.070
	Largo	Ancho	Altura	
T1	0.17	1.28	0.30	Tipo V
T2	0.17	0.70	0.53	Tipo V
T3	0.11	0.35	0.28	Tipo V
T4	0.08	0.42	-0.67	Tipo V

2. Alabeo

En cuanto al alabeo para los ladrillos de papel y poliestireno presentan mínimas imperfecciones: T1 = 1.60mm; T2 = 1.55mm; T3 = 1.60mm y T4 = 1.40mm, solo presentan alabeos cóncavos, tal como se puede observar en la tabla 18, clasificarían a ladrillo tipo V, ya que según a la Norma E.070 albañilería (2006), para clasificar a ladrillo tipo V, debe de presentar alabeos máximos de 2mm. Resultados similares presentaron los ladrillos de concreto con agregado PET (Gonzales 2016), ladrillo con 15% PET con concavidad = 1.20mm y convexidad = 1.25mm; ladrillos con 10% PET con concavidad = 1.05mm y convexidad = 1.36mm; y los ladrillos con 5% PET con concavidad = 1.40mm y convexidad = 1.64mm, los mismos que concluye a clasificarlo a ladrillo tipo V según la Norma E.070 (2006) albañilería. Así mismo, el estudio realizado por (Astopilco 2015) tuvo resultados muy parecidos para ladrillos de concreto con agregado de plástico PVC, los ladrillos con 20% PVC presentaron una concavidad y convexidad = 1mm y los ladrillos con 40% PVC presentaron una concavidad y convexidad = 1.35mm, los mismos que también clasifican a ladrillo tipo V según la Norma E.070 albañilería (2006).

Tabla 18. Clasificación de ladrillo por alabeo según la Norma E.070.

Muestra	Alabeo (mm)		Clasificación Norma E.070
	Cóncavo	Convexo	
T1	1.60	0.00	Tipo V
T2	1.55	0.00	Tipo V
T3	1.60	0.00	Tipo V
T4	1.40	0.00	Tipo V

3. Resistencia a la Compresión

Los resultados de las muestras que mejor respondieron a la compresión fueron las muestras T1 = 110.2 Kg/cm² y T4 = 95.0 Kg/cm², los mismos que clasificarían según la Norma E.070 albañilería (2006) a ladrillo tipo III, ya que sus valores están dentro del rango 95 - 129 Kg/cm², mientras que las muestras T2 = 86.5 Kg/cm² y T3 = 89.9 Kg/cm², clasificarían a ladrillo tipo II, según la Norma E.070 albañilería (2006), por presentar valores de resistencia a la compresión entre 70 - 94 Kg/cm², tal como se muestra en la tabla 19. Resultados similares obtuvieron en una investigación en la India, sobre ladrillos a partir de desechos de papel reciclado y cemento (Raut et al., 2012), presentan los siguientes resultados de resistencia a la compresión: para 95% desecho de papel y 5% de cemento = 91 Kg/cm²; para 90% desecho de papel y 10% cemento = 101 Kg/cm²; para 85% desecho de papel y 15% cemento = 92 Kg/cm² y para 80% desecho de papel y 20% cemento = 98 Kg/cm², ellos concluyen que todas las muestras presentan una excelente resistencia a la compresión (9 ± 1 MPa) en comparación con el ladrillo convencional de la India (3 ± 0.5 MPa). Si comparamos esos resultados con la Norma técnica peruana de edificaciones E.070 albañilería (2006), los tratamientos 1 (95% papel – 5% cemento) y 3 (85% papel – 15% cemento) clasificarían a ladrillo tipo II, mientras que los tratamientos 2 (90% papel – 10% cemento) y 4 (80% papel - 20% cemento) clasificarían a ladrillo tipo III.

Por otro lado hay otras investigaciones como los ladrillos de concreto con agregado de plástico PET, que presentan mejores resultados de resistencia a la compresión (Gonzales 2016), el ladrillo con 15% PET con resistencia a la compresión = 145.1 Kg/cm²; ladrillos con 10% PET con compresión = 164.6 Kg/cm²; ladrillos con 5% PET con compresión = 173.3 Kg/cm² y ladrillos con 0%

PET = 181.5 Kg/cm², los mismos que concluyen a clasificar a las tres primeras muestras con PET, como ladrillo tipo IV según la Norma E.070 albañilería (2006), por estar en el rango de 130 – 179 Kg/cm², mientras que la muestra con 0% PET, es decir ladrillo 100% concreto clasifica a ladrillo tipo V, por estar en el rango >180 Kg/cm². Como se puede evidenciar el ladrillo 100% de concreto presenta buenos resultados de resistencia a la compresión, así como también los con porcentajes menores de PET, de esto se puede deducir que los ladrillos de concreto (cemento, arena y confitillo) con adición de PET, presentarían buenos resultados de resistencia a la compresión. Sin embargo también hay ladrillos con residuos de papel, residuos de algodón y cemento, que superan a los ladrillos de concreto y ladrillos de arcilla convencionales (Rajput et al., 2012), el ladrillo con 85% papel, 10% cemento y 5% algodón presenta una resistencia a la compresión = 241 Kg/cm²; el ladrillo con 87% papel, 10% cemento y 3% algodón presenta una compresión = 227 Kg/cm² y el ladrillo con 89% papel, 10% cemento y 1% algodón presenta una compresión = 215 Kg/cm², todos ampliamente superiores, que si queremos comparar con la Norma técnica peruana de edificación E.070 albañilería, todos clasificarían a ladrillo tipo V.

Tabla 19. Clasificación de ladrillo según la resistencia a la compresión.

Muestra	Resistencia a la compresión (Kg/cm²)	Clasificación Norma E.070 (Kg/cm²)
T1	110.2	Tipo III (95)
T2	86.5	Tipo II (70)
T3	89.9	Tipo II (70)
T4	95.0	Tipo III (95)

4. Resistencia a la Flexión

En cuanto a la resistencia a la flexión se tuvo los siguientes resultados: T1 = 14.2 Kg/cm²; T2 = 12.5 Kg/cm²; T3 = 13.2 Kg/cm² y T4 = 12.2 Kg/cm², de manera general todas las muestras llegan a tener buenos resultados, ya que según San Bartolomé (2005) “Los esfuerzos de tracción por flexión en condición de rotura, son del orden de 5 kg/cm² para la albañilería simple y 10 kg/cm² para la albañilería rellena con grout” (p.125). Pero si comparamos con otras investigaciones de ladrillos de concreto con agregado PET (Gonzales 2016), el ladrillo con 15% PET tiene una resistencia a la flexión = 91.1 Kg/cm²; los ladrillos con 10% PET con flexión = 110.6 Kg/cm²; los ladrillos con 5% PET con flexión = 124.9 Kg/cm² y ladrillos con 0% PET = 114.8 Kg/cm², es normal que estos ladrillos de concreto tengan valores altos por estar clasificados como ladrillo tipo IV y tipo V, y los ladrillos de papel y poliestireno clasifican a ladrillo tipo II y III, además la Norma técnica peruana ITINTEC 331.017 (1978), solo recomienda realizar ensayos de flexión (módulo de rotura) a los ladrillos tipo IV y tipo V, debido a que, el ensayo de flexión no es un requisito para la clasificación del ladrillo, ello se puede evidenciar en la tabla 20, donde a manera de referencia se da los valores mínimos de flexión que deberían de tener cada tipo de ladrillo.

Tabla 20. Valores mínimos de resistencia a la flexión.

Tipo	Módulo de rotura (daN/cm²) = (kg/cm²)
I	6
II	7
III	8
IV	9
V	10

Fuente: Norma técnica peruana ITINTEC 331.017 (1978)

5. Succión

Los resultados de succión para los ladrillos de papel y poliestireno son los siguientes: T1 = 98.8 gr/200cm²-min; T2 = 105.5 gr/200cm²-min; T3 = 120.1 gr/200cm²-min y T4 = 126.6 gr/200cm²-min, como se puede observar los ladrillos con mayor succión son los que tienen mayor porcentaje de poliestireno, esto debido a que el poliestireno sirve como guía para que el agua filtre con mayor facilidad en el cuerpo del ladrillo. Pero si comparamos con otras investigaciones como el ladrillo de concreto con agregado PET (Gonzales 2016), cuyos resultados son los siguientes: el ladrillo con 15% PET tiene una succión = 7.47 gr/200cm²-min; el ladrillos con 10% PET con succión = 8.06 gr/200cm²-min; el ladrillos con 5% PET con succión = 8.20 gr/200cm²-min, y ladrillos con 0% PET = 9.17 gr/200cm²-min, según la Norma E.070 albañilería (2006) sugiere que la succión de los ladrillos estén entre 10 y 20 gr/200cm²-min, antes de ser asentadas, solo a los ladrillos de arcilla con succiones mayores 20 gr/200cm²-min, se recomienda regarlas durante media hora, entre 10 y 15 horas antes de asentarlas, mientras que, los ladrillos sílico-calcáreas y de concreto según San Bartolomé (2005), deberían ser asentadas secas, porque los sílico-calcáreas tienen baja succión y de regarlos, se estarían saturando e impidiendo la penetración del material cementante, en el caso de unidades de concreto el regado originaria un crecimiento volumétrico del bloque y una contracción al secarse, que podría ocasionar fisuras entre la unión del bloque-cemento. Sin embargo también hay algunos ladrillos de concreto con agregado de plástico PET, que tienen succiones altas (Arrascue y Cano 2017), para un ladrillo patrón de concreto tienen una succión = 37.2 gr/200cm²-min y para ladrillo con 55% PET tiene una succión = 40.4 gr/200cm²-min.

6. Absorción

Los resultados de absorción para el ladrillo de papel y poliestireno son los siguientes: T1 = 219.8%; T2 = 212.2%; T3 = 206.0% y T4 = 199.6%, las muestra que presentan mayor absorción son las que tienen mayor porcentaje de papel y las que presentan menor absorción son las que tienen mayor porcentaje de poliestireno, esto es porque el papel absorbe más agua en comparación al poliestireno, porque según (Rolan 2018) el volumen del poliestireno expandido se debe a que tiene entre 95 y 98% de aire encapsulado, además de ser una plástico. Pero si comparamos con otras investigaciones como los ladrillos de concreto con agregado PET (Gonzales 2016) que tienen absorciones para ladrillo con 15% PET = 2.97%; para ladrillo con 10% PET = 3.36%; para ladrillo con 5% PET = 3.89% y para ladrillo con 0% PET = 4.51%, si comparamos los resultados, vemos que el ladrillos de papel y poliestireno tienen una absorción de 50 veces más, los valores que tienen los ladrillos de concreto con agregado PET. Del mismo modo, si comparamos con la absorción que tiene un ladrillo comercial de arcilla (CEPERSA 2017) con absorción = 22%, de igual manera si comparamos con el ladrillo de papel y poliestireno, este tiene una absorción de 9 veces más el valor de la marca comercial. Sin embargo, hay algunas investigaciones realizados en la India de ladrillo a partir de residuos de papel, residuos de algodón y cemento, que tienen valores altos de absorción (Raut et al., 2012) el ladrillo con 85% papel, 10% cemento y 5% algodón presenta una absorción = 105%; el ladrillo con 87% papel, 10% cemento y 3% algodón con absorción = 101% y el ladrillo con 89% papel, 10% cemento y 1% algodón con absorción = 99%, comparando con el ladrillo de papel y poliestireno este duplica el valor del ladrillo a partir de desechos de papel, residuos de algodón y cemento.

Según la Norma E.070 albañilería (2006) la absorción de una unidades de arcilla y sílico-calcáreas no serán mayor a 22%. No obstante el problema de alta absorción que tienen el ladrillo de papel y poliestireno podría solucionarse, ya que según (Raut et al., 2012; Rajput et al., 2012 y Raut et al., 2013) la alta absorción de agua se puede reducir aplicando un revestimiento sobre la superficie del ladrillo sin comprometer sus propiedades.

7. Densidad

Los resultados de densidad para los ladrillos de papel y poliestireno son los siguientes: las muestras T1, T2 y T3 = 0.46 gr/cm³, y la muestra T4 = 0.45 gr/cm³, las tres primeras tienen la misma densidad, mientras que la última presenta una densidad menor, debido a que, la muestra T4 tiene mayor porcentaje de poliestireno. Si comparamos con las densidades de los ladrillos de concreto con agregado PCV (Arrascue y Cano 2017), para el ladrillo patrón de concreto tienen una densidad = 1.84 gr/cm³ y para ladrillo de concreto con 55% PET = 1.79 gr/cm³, las densidades de estos ladrillos son casi 4 veces la densidad del ladrillo de papel y poliestireno. Así mismo, el ladrillo de arcilla de una marca comercial (CEPERSA 2017), presenta una densidad = 1.90 – 2.00 gr/cm³, muy parecidas a la densidad de los ladrillos de concreto con agregado PVC. Sin embargo, hay investigaciones realizadas en la India de ladrillos de residuos de papel, ceniza de cascara de arroz y cemento que tienen densidades muy parecidas al ladrillo de papel y poliestireno (Raut et al., 2013), el ladrillo con 80% papel, 10% ceniza y 10% cemento tienen una densidad = 0.58 gr/cm³; el ladrillo con 75% papel, 15% ceniza y 10% cemento una densidad = 0.56 gr/cm³, y el ladrillo con 70% papel, 20% ceniza y 10% cemento una densidad = 0.54 gr/cm³. Así mismo, otra

investigación en la India presenta resultados similares (Rajput et al., 2012), el ladrillo con 85% papel, 10% cemento y 5% algodón presenta una densidad = 0.59 gr/cm^3 ; el ladrillo con 87% papel, 10% cemento y 3% algodón una densidad = 0.55 gr/cm^3 y el ladrillo con 89% papel, 10% cemento y 1% algodón una densidad = 0.58 gr/cm^3 . La densidad está relacionado estrechamente con la resistencia a la compresión, sin embargo tener un ladrillo con densidades bajas tiene utilidad para poder reducir el peso total en una estructura (Raut et al., 2013).

8. Cambio dimensional en la absorción

Los resultados de cambio dimensional en la absorción de agua para ladrillo de papel y poliestireno son los siguientes: T1 = 10.2%; T2 = 9.3%; T3 = 8.8% y T4 = 8.2%, estos resultados son a partir del promedio de las tres dimensiones (largo, ancho y altura), el mayor cambio dimensional en la absorción de agua, se da en las muestras con mayor porcentaje de papel y el menor cambio dimensional se da en los ladrillos con mayor porcentaje de poliestireno. Resultados similares presentaron investigaciones realizada en la India (Raut et al., 2012), para ladrillo con 95% desecho de papel y 5% de cemento presenta una variación dimensional = 30%; para ladrillo con 90% desecho de papel y 10% cemento una variación = 8.9%; para ladrillo con 85% desecho de papel y 15% cemento una variación = 8.7% y para ladrillo con 80% desecho de papel y 20% cemento una variación = 7.3%. Así mismo otra investigación presenta resultados similares (Rajput et al., 2012), el ladrillo con 85% papel, 10% cemento y 5% algodón presenta una variación = 6.0%; el ladrillo con 87% papel, 10% cemento y 3% algodón una variación = 7.5% y el ladrillo con 89% papel, 10% cemento y 1% algodón una variación = 8.0%.

VII. CONCLUSIONES

- Los resultados de las pruebas realizadas muestran que la combinación de papel y poliestireno vendría a ser un material de construcción sostenible, porque aprovecha como materia prima los residuos sólidos al 100%, además no genera emisiones en el proceso de producción, por ello se pueden usar potencialmente en la elaboración de un ladrillo más ligero y reciclable, para paredes internas de partición (muros no portantes). También se concluye que la composición óptima es 90% papel y 10% poliestireno.
- La prueba de variación dimensional demostró que todos los tratamientos tienen mínima variación <0.17% largo, <1.28% ancho y <0.67% de alto. La prueba de alabeo demostró que todos los tratamientos presentan solo alabeo cóncavo <2mm. La prueba resistencia a la flexión demostró que todos los tratamientos presentan flexiones >12.2 Kg/cm². Para las tres pruebas mencionadas el ladrillo de papel y poliestireno presenta buenos resultados, según la norma E.070 albañilería (2006), clasifican a ladrillo tipo V.
- El ensayo de resistencia a la compresión del ladrillos de papel y poliestireno demostró tener buenos resultados 86.6 – 110.2 Kg/cm², que es casi tres veces mayor al ladrillo tipo I (30 Kg/cm²). El ensayo de succión demostró que todos los tratamientos presentan succiones muy altas, entre 98.8 – 126.6 gr/200 cm²-min, y que la succión es directamente proporcional al poliestireno, a mayor poliestireno mayor succión. El ensayo de absorción demostró que todos los tratamientos presentan absorciones altas entre 199.5% – 219.7% para 24 horas, y que la absorción de agua es directamente proporcional al porcentaje del papel, a mayor papel mayor absorción de agua.
- De manera general de acuerdo a los ensayos clasificatorios establecidos en la Norma E.070 albañilería (2006) (variación dimensional, alabeo y compresión), las muestras T1 y T4 clasifican a ladrillo tipo III, mientras que las muestras T2 y T3 clasifican para ladrillo tipo II.

VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar otras investigaciones donde se use el papel y otros materiales fibrosos a cambio del poliestireno.

Para ladrillos de papel y poliestireno o similares, se recomienda realizar pruebas de compresión en pilas, para ver el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas como un sistema.

Para el triturado se recomienda probar con diferentes proporciones de tamaño para el poliestireno y para el papel tener en cuenta el tiempo de batido o triturado. Además se recomienda usar menos porcentaje de papel blanco (papel de copia y de cuaderno).

Para investigaciones parecidas a esta, se recomienda tener un molde que ayude a eliminar con facilidad el agua al momento del prensado.

Para ladrillos compuestos de papel, se recomienda aplicar algún tipo de revestimiento a la superficie del ladrillo, para ver cuánto se puede reducir el porcentaje de absorción de agua.

Se recomienda implementar o proponer la gestión y aprovechamiento de residuos de papel y poliestireno en las universidades, especialmente para aprovechar los diferentes papeles que todavía no se reciclan.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arrascue, E. J. y Cano, M. E. (2017) Utilización de Materiales Plásticos de Reciclaje como Adición en la Fabricación de Ladrillos Vibrocompactado de Cemento. (Tesis de grado). Repositorio de la Universidad Nacional del Santa. Recuperado de <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2728>
- Astupilco, A. J. (2015) Comparación de las propiedades físico – mecánicas de unidades de ladrillos de concreto y otros elaborados con residuos plásticos de PVC, Cajamarca, 2015 (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/6650>
- Balasubramanian, J., Sabumon, P., Lazar, J. y Ilangovan R. (2006) Reuse of textile effluent treatment plant sludge in building materials. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.01.011>
- Baum, E. (2010) Black Carbon From Brick Kilns. Recuperado de http://www.catf.us/resources/presentations/files/Black_Carbon_from_Brick_Kilns.pdf
- Bories, C., Borredon, M., Vedrenne, E. y Vilarem, G. (2014) Development of eco-friendly porous fired clay bricks using pore-forming agents: A review. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.05.006>
- Cáceres, J. D. (2013) “Cambios de uso de suelo y políticas públicas en la cuenca baja del río Chillón - Sector de San Pedro de Carabayllo”. (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5062>
- CEPERSA (2017) Ficha técnica de ladrillo king kong 18 huecos. Recuperado de https://www.ladrillospiramide.com/media/uploads/ficha_tecnica/ficha_te%CC%81cnica_king_kong_18_actualizado_01.03.pdf
- CHEMICALSAFETYFACTS.ORG (2020) Poliestireno. Recuperado de <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/poliestireno/>
- DECRETO LEGISLATIVO N° 1278. Ley integral de gestión de los residuos sólidos (2017). Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/06/Decreto-Legislativo-N%C2%B0-1278.pdf>

- Demir, I. (2006) An investigation on the production of construction brick with processed waste tea. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.004>
- Demir, I., Serhat Baspınar, M. y Orhan, M. (2005) Utilization of kraft pulp production residues in clay brick production. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.11.021>
- Demirel, B. (2013) Optimization of the composite brick composed of expanded polystyrene and pumice blocks. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.008>
- Goel, G. y Kalamdhad, A. (2017) An investigation on use of paper mill sludge in brick manufacturing. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.087>
- Gonzales, R. K. (2016) “Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos de concreto con la incorporación de PET en diferentes porcentajes”. (Tesis de Licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/11240>
- INEI (2014) “Residuos Sólidos, Anuario de estadísticas ambientales”. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1197/cap05.pdf
- Joglekar S, Kharkar R, Mandavgane S, Kulkarni B. (2018) Sustainability assessment of brick work for low-cost housing: A comparison between waste based bricks and burnt clay bricks. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.11.025>
- Juel, M., Mizan, A. y Ahmed T. (2017) Sustainable use of tannery sludge in brick manufacturing in Bangladesh. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.041>
- Kazmi, S., Abbas, S., Saleem, M., Munir, M. y Khitab, A. (2016) Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.084>
- Kazmi, S., Munir, M., Patnaikuni, I., Wu, Y., Fawad, U. (2018) Thermal performance enhancement of eco-friendly bricks incorporating agro-wastes. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.056>
- LEY N° 27314. Ley General de Residuos Sólidos (2000). Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-residuos-solidos>

- Madurwar, M., Ralegaonkar, R. y Mandavgane, S. (2013) Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.011>
- MINAM (2015) “Información provista por los gobiernos locales mediante la plataforma SIGERSOL y Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos”. Recuperado de <http://sigersol.minam.gob.pe/2015/verInforme.php?id=1249>
- MINAM (2015) “Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024”. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/RM-N%C2%B0-191-2016-MINAM.pdf>
- MINAM (2016) “Gestión Integral de Residuos Sólidos”. Recuperado de <http://redrrss.minam.gob.pe/material/20170323173055.pdf>
- MINAM (2016) Decreto Legislativo N° 1278 Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-legislativo-n-1278/>
- MINAM (2017) Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Recuperado de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/ds_014-2017-minam.pdf
- Mohammed, B., Liew, M., Alaloul, W., Al-Fakih, A., Ibrahim, W. y Adamu, M. (2018) Development of rubberized geopolymer interlocking bricks. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.03.007>
- Munir, M., Kazmi, S., Wu, Y., Hanif, A. y Khan, M. (2018) Thermally efficient fired clay bricks incorporating waste marble sludge: An industrial-scale study. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.060>
- Murmu, A. y Patel, A. (2018) Towards sustainable bricks production: An overview. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.038>
- Norma E. 070. (2006) “Separata Normas Legales”. Recuperado de http://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/RNE2006_E_070.pdf

- Norma Técnica Peruana 331.017 (1978) Unidades de albañilería (ladrillos de arcilla usados en albañilería). Recuperado https://kupdf.net/download/norma-tecnica-peruana-ladrillo_599f567bdc0d60785018496e_pdf
- Norma Técnica Peruana 399.613. (2005) “Norma de Unidades de Albañilería”. Comisión de Reglamento Técnicos y Comerciales-INDECOPI. Recuperado <https://pdfslide.tips/documents/ntp-399613pdf.html>
- Paz, E. E. (2014) “Análisis de la Determinación de las Propiedades Físico y Mecánicas de Ladrillos Elaborados con Plástico Reciclado” (Tesis de grado). Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2921>
- Quevedo, E. C. (2017) “Influencia de las Unidades de Albañilería tipo PET sobre las Características Técnicas y Económicas de Viviendas Ecológicas para la Zona de Expansión del Distrito de Nuevo Chimbote, Ancash”. (Tesis de grado) Repositorio de la Universidad Nacional del Santa. Recuperado de <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3105>
- Rajput D Bhagade S Raut S Ralegaonkar R Mandavgane S (2012) Reuse of cotton and recycle paper mill waste as building materia. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.035>
- Rashad. A. M. (2016) A comprehensive overview about recycling rubber as fine aggregate replacement in traditional cementitious materials. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ijssbe.2015.11.003>
- Raut, S., Ralegaonkar, R. y Mandavgane, S. (2011) Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.038>
- Raut, S., Ralegaonkar, R. y Mandavgane, S. (2013) Utilization of recycle paper mill residue and rice husk ash in production of light weight bricks. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.acme.2012.12.006>
- Raut, S., Sedmake, R., Dhunde, S., Ralegaonkar, R. y Mandavgane, S. (2012) Reuse of recycle paper mill waste in energy absorbing light weight bricks. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.053>

- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2006) “Normas Legales” Recuperado de <http://www.urbanistasperu.org/rne/pdf/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>
- Reyna, C. A. (2016) “Reutilización de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar, como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo”. (Tesis de grado). Repositorio de la Universidad Nacional de Trujillo. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3158>
- Rolan (2018) Poliestireno expandido (EPS). Hoja de datos técnicos. Recuperado de https://www.rolan.com/wp-content/uploads/2018/04/CO_Poliestireno-expandido_Abr18.pdf
- San Bartolomé, A. F. (2005) Comentarios a la norma técnica de edificaciones E.070 Albañilería informe especial (capitulo 1 al 10). Recuperado de https://es.slideshare.net/roy_foker01/comentarios-norma-e-070-52914355
- Sutcu, M. y Akkurt, S. (2009) The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2009.02.027>
- Sutcu, M., Del Coz, J., Álvarez, F., Gencel, O. y Akkurt, S. (2014) Thermal performance optimization of hollow clay bricks made up of paper waste. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.006>
- Turgut, P. y Murat Algin, H. (2007) Limestone dust and wood sawdust as brick materia. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.08.012>
- Turgut, P. y Yesilata, B. (2008) Physico-mechanical and thermal performances of newly developed rubber-added bricks. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.05.002>
- Valles, E. J. (2016) “Elaboración de una Mezcla Cementica y Agregados de Plástico Reciclados, para Fabricar Ladrillos Ecológicos”. (Tesis de grado) Repositorio de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Recuperado de <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/4363>

Vieira, C., Pinheiro, R., Rodriguez, R., Candido, V. y Monteiro, S. (2016) Clay bricks added with effluent sludge from paper industry: Technical, economical and environmental benefits. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.07.001>

Weng, C., Lin, D. y Chiang, P. (2003) Utilization of sludge as brick materials. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(02\)00037-0](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(02)00037-0)

Zhang, L. (2013) Production of bricks from waste materials - A review. Recuperado de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84879041388&origin=inward&txGid=89847ae028c37ddafb08529e4deaf699>

X. ABREVIATURAS

RNE: Reglamento nacional de edificaciones

NORMA E.070: Norma técnica de edificación E.070 albañilería

NTP: Norma técnica peruana

INEI: Instituto Nacional de Informática

MINAM: Ministerio del Ambiente

PR: Papel reciclado

PSR: Poliestireno reciclado

RRSS: Residuos sólidos

XI. ANEXOS

Anexo A. Resultados de Laboratorio de Ensayo de Materiales (Resistencia a la Compresión).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil
LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Center for Ingeniería Civil Accredited por
 Engineering
 Technology
 Accreditation
 Commission

INFORME

Del	: Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
A	: OZEAS ABEL CAMACLLANQUI HUAMANLAZO
Obra	: TESIS: "ELABORACIÓN DE LADRILLO ECOLOGICO A PARTIR DE RESIDUOS SOLIDOS (PAPEL Y POLIESTIRENO)"
Asunto	: Ensayo de Resistencia a la Compresión en Unidades de Albañilería
Expediente N°	: 20-1788-6
Recibo N°	: 71186
Fecha de emisión	: 26/11/2020

1.0. DE LA MUESTRA	: Ladrillos ecológicos elaborados a base de papel sin poliestireno, elaborados, proporcionados e identificados por el solicitante. Denominados como grupo 1 y las muestras T1 (0% poliestireno - 100% papel).
2.0. DEL EQUIPO	: Máquina de ensayo uniaxial, TOKYOKOKI SEIZOSHŌ Certificado de calibración: CMC-046-2020
3.0. MÉTODO DE ENSAYO	: Norma de referencia NTP 399.604. Procedimiento interno AT-PR-09.
4.0. CONDICIONES AMBIENTALES	: Temperatura de almacenamiento = 21.7 °C H.R. = 68.4 %
5.0. RESULTADOS	: Fecha de ensayo, 26 de Noviembre del 2020

MUESTRAS	DIMENSIONES (cm)			ÁREA BRUTA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (Kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)
	LARGO	ANCHO	ALTURA			
T1 - 0% POLIESTIRENO-100% PAPEL	12.2	12.5	7.5	152.5	17450	114.4
T1 - 0% POLIESTIRENO-100% PAPEL	12.4	12.3	7.8	152.5	16000	104.9
T1 - 0% POLIESTIRENO-100% PAPEL	12.3	12.2	7.5	150.1	17850	116.9
T1 - 0% POLIESTIRENO-100% PAPEL	12.2	12.2	7.5	148.8	16215	109.0
T1 - 0% POLIESTIRENO-100% PAPEL	12.3	12.2	7.7	150.1	15590	103.9

NOTA: Las cargas fueron medidas para cada ladrillo, con las siguientes deformaciones respectivamente de: 4 cm, 3.9 cm, 4.1 cm, 3.9 cm y 3.8 cm.

6.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. C. Villegas M.
 Técnico : Sres. R. V. M. / C.G.
 C.V.M.



MSc. Ing. Isabel Maromi Nkata
 Responsable (e) del Laboratorio

NOTAS:
 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

UNI-LEM
 La Calidad es nuestro compromiso
 Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
 apartado 1301 - Perú
 (511) 381-3343
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lem.uni.edu.pe
lem@uni.edu.pe
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"



INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
 A : OZEAS ABEL CAMACLLANQUI HUAMANLAZO
 Obra : TESIS: "ELABORACIÓN DE LADRILLO ECOLOGICO A PARTIR DE RESIDUOS SOLIDOS (PAPEL Y POLIESTIRENO)"
 Asunto : Ensayo de Resistencia a la Compresión en Unidades de Albañilería
 Expediente N° : 20-1788-7
 Recibo N° : 71186
 Fecha de emisión : 26/11/2020

- 1.0. DE LA MUESTRA : Ladrillos ecológicos elaborados a base de papel con poliestireno, elaborados, proporcionados e identificados por el solicitante. Denominados como grupo 2 y las muestras T2 (3% poliestireno - 97% papel).
- 2.0. DEL EQUIPO : Máquina de ensayo uniaxial, TOKYOKOKI SEIZOSHO
 Certificado de calibración: CMC-046-2020
- 3.0. MÉTODO DE ENSAYO : Norma de referencia NTP 399.604.
 Procedimiento interno AT-PR-09.
- 4.0. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura de almacenamiento = 21.7 °C H.R. = 68.4 %
- 5.0. RESULTADOS : Fecha de ensayo, 26 de Noviembre del 2020

MUESTRAS	DIMENSIONES (cm)			ÁREA BRUTA (cm²)	CARGA MÁXIMA (Kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm²)
	LARGO	ANCHO	ALTURA			
T2 - 3% POLIESTIRENO - 97% PAPEL	12.1	12.4	7.4	150.0	13400	89.3
T2 - 3% POLIESTIRENO - 97% PAPEL	12.2	12.4	7.4	151.3	13600	89.2
T2 - 3% POLIESTIRENO - 97% PAPEL	12.3	12.4	7.8	152.5	12020	78.8
T2 - 3% POLIESTIRENO - 97% PAPEL	12.3	12.4	7.7	152.5	13680	89.7
T2 - 3% POLIESTIRENO - 97% PAPEL	12.2	12.5	7.7	152.5	13000	85.2

NOTA: Las cargas fueron medidas para cada ladrillo, con las siguientes deformaciones respectivamente de: 3.5 cm, 3.7 cm, 3.5 cm, 3.8 cm y 3.5 cm.

6.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. C. Villegas M.
 Técnico : Sres. R. V. M. / C.G.
 C.V.M.



MSc. Ing. Isabel Moromi Nkata
 Responsable (e) del Laboratorio

NOTAS:
 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

UNI-LEM
 La Calidad es nuestro compromiso
 Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
 apartado 1301 - Perú
 (511) 381-3343
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

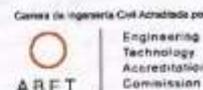
www.lem.uni.edu.pe
 lem@uni.edu.pe
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"



INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
 A : OZEAS ABEL CAMACLLANQUI HUAMANLAZO
 Obra : TESIS: "ELABORACIÓN DE LADRILLO ECOLOGICO A PARTIR DE RESIDUOS SOLIDOS (PAPEL Y POLIESTIRENO)"
 Asunto : Ensayo de Resistencia a la Compresión en Unidades de Albañilería
 Expediente N° : 20-1788-8
 Recibo N° : 71186
 Fecha de emisión : 26/11/2020

- 1.0. DE LA MUESTRA : Ladrillos ecológicos elaborados a base de papel con poliestireno, elaborados, proporcionados e identificados por el solicitante. Denominados como grupo 3 y las muestras T3 (8% poliestireno - 94% papel).
- 2.0. DEL EQUIPO : Máquina de ensayo uniaxial, TOKYOKOKI SEIZOSHO
 Certificado de calibración: CMC-046-2020
- 3.0. MÉTODO DE ENSAYO : Norma de referencia NTP 399.604.
 Procedimiento interno AT-PR-09.
- 4.0. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura de almacenamiento = 21.7 °C H.R. = 68.4 %
- 5.0. RESULTADOS : Fecha de ensayo, 26 de Noviembre del 2020

MUESTRAS	DIMENSIONES (cm)			ÁREA BRUTA (cm²)	CARGA MÁXIMA (Kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm²)
	LARGO	ANCHO	ALTURA			
T3 - 6% POLIESTIRENO- 94% PAPEL	12.2	12.5	7.7	152.5	14000	91.8
T3 - 6% POLIESTIRENO- 94% PAPEL	12.3	12.5	7.6	153.8	13700	89.1
T3 - 6% POLIESTIRENO- 94% PAPEL	12.2	12.5	7.5	152.5	13280	87.1
T3 - 6% POLIESTIRENO- 94% PAPEL	12.3	12.6	7.5	155.0	14220	91.7
T3 - 6% POLIESTIRENO- 94% PAPEL	12.3	12.4	7.6	152.5	13660	89.8

NOTA: Las cargas fueron medidas para cada ladrillo, con las siguientes deformaciones respectivamente de: 3.8 cm, 3.7 cm, 3.6 cm, 3.9 cm y 3.7 cm.

6.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. C. Villegas M.
 Técnico : Sres. R. V. M. / C.G.
 C.V.M.



MSc. Ing. Isabel Marfomi Nikata
 Responsable (e) del Laboratorio

NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

UNI-LEM
 La Calidad es nuestro compromiso
 Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
 apartado 1301 - Perú
 (511) 381-3343
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



www.lem.uni.edu.pe
 lem@uni.edu.pe



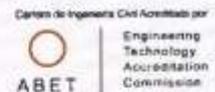
Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"



INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
 A : OZEAS ABEL CAMACLLANQUI HUAMANLAZO
 Obra : TESIS: "ELABORACIÓN DE LADRILLO ECOLOGICO A PARTIR DE RESIDUOS SOLIDOS (PAPEL Y POLIESTIRENO)"
 Asunto : Ensayo de Resistencia a la Compresión en Unidades de Albañilería
 Expediente N° : 20-1788-9
 Recibo N° : 71186
 Fecha de emisión : 26/11/2020

- 1.0. DE LA MUESTRA : Ladrillos ecológicos elaborados a base de papel sin poliestireno, elaborados, proporcionados e identificados por el solicitante. Denominados como grupo 4 y las muestras T4 (10% poliestireno - 90% papel).
- 2.0. DEL EQUIPO : Máquina de ensayo uniaxial, TOKYOKOKI SEIZOSHO
Certificado de calibración: CMC-046-2020
- 3.0. MÉTODO DE ENSAYO : Norma de referencia NTP 399.604.
Procedimiento interno AT-PR-09.
- 4.0. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura de almacenamiento = 21.7 °C H.R. = 68.4 %
- 5.0. RESULTADOS : Fecha de ensayo, 26 de Noviembre del 2020

MUESTRAS	DIMENSIONES (cm)			ÁREA BRUTA (cm²)	CARGA MÁXIMA (Kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm²)
	LARGO	ANCHO	ALTURA			
T4 - 10% POLIESTIRENO-90%	12.2	12.5	7.7	152.5	14750	96.7
T4 - 10% POLIESTIRENO-90%	12.3	12.5	7.6	153.8	14800	96.2
T4 - 10% POLIESTIRENO-90%	12.2	12.4	7.8	151.3	13660	90.3
T4 - 10% POLIESTIRENO-90%	12.3	12.5	7.6	153.8	14780	96.1
T4 - 10% POLIESTIRENO-90%	12.3	12.6	7.7	155.0	14800	95.5

NOTA: Las cargas fueron medidas para cada ladrillo, con las siguientes deformaciones respectivamente de: 3.8 cm, 3.8 cm, 3.7 cm, 3.8 cm y 3.8 cm.

6.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. C. Villegas M.
 Técnico : Sres. R. V. M. / C.G. C.V.M.

MSc. Ing. Isabel Moromi Inkata
 Responsable (e) del Laboratorio

NOTAS:
 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

UNI-LEM
 La Calidad es nuestro compromiso
 Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
 apartado 1301 - Perú
 (511) 381-3343
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lem.uni.edu.pe
 lem@uni.edu.pe
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI



Anexo B. Resultados de Laboratorio de Ensayo de Materiales (Resistencia a la Flexión).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil
LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Carerra de Ingeniería Civil Acreditada por
 Engineering
 Technology
 Accreditation
 Commission

INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
A : OZEAS ABEL CAMACLLANQUI HUAMANLAZO
Obra : TESIS: "ELABORACIÓN DE LADRILLO ECOLOGICO A PARTIR DE RESIDUOS SOLIDOS (PAPEL Y POLIESTIRENO)"
Ubicación : LIMA
Asunto : Ensayo de Resistencia a la Flexión en Unidades de Albañilería
Expediente N° : 20-1788-1
Recibo N° : 71186
Fecha de emisión : 24/11/20

1.0. DE LA MUESTRA : Ladrillos ecológicos elaborados a base de papel sin poliestireno, elaborados, proporcionados e identificados por el solicitante. Denominados como grupo 1 y las muestras T1 (0% poliestireno - 100% papel).

2.0. DEL EQUIPO : Máquina de ensayo uniaxial, ELE INTERNATIONAL
 Certificado de calibración: CMC-109-2019

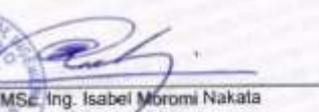
3.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 399.613:2017.
 Procedimiento interno AT-PR-01.

4.0. RESULTADOS :

MUESTRAS	DISTANCIA ENTRE APOYOS (cm)	DIMENSIONES (cm)			ÁREA (cm²)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (Kg/cm²)
		LARGO	ANCHO	ALTURA			
T 1 - 1	20.4	24.4	12.5	7.6	305.0	143	14.5
T 1 - 2	20.5	24.5	12.4	7.4	303.8	298	13.5
T 1 - 3	20.4	24.5	12.4	7.8	303.8	328	14.0
T 1 - 4	20.4	24.5	12.4	7.6	303.8	341	14.6
T 1 - 5	20.4	24.4	12.3	7.5	300.1	322	14.2
PROMEDIO							14.2

5.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. C. Villegas M.
 Técnico : Sr. R. V. M.


 MSc. Ing. Isabel Mbromi Nakata
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:
 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

UNI-LEM
 La Calidad es nuestro compromiso
 Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
 apartado 1301 - Perú
 (511) 381-3343
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

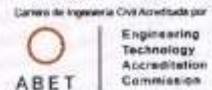
www.lem.uni.edu.pe
 lem@uni.edu.pe
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"



INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
 A : OZEAS ABEL CAMACLLANQUI HUAMANLAZO
 Obra : TESIS: "ELABORACIÓN DE LADRILLO ECOLOGICO A PARTIR DE RESIDUOS SOLIDOS (PAPEL Y POLIESTIRENO)"
 Ubicación : LIMA
 Asunto : Ensayo de Resistencia a la Flexión en Unidades de Albañilería
 Expediente N° : 20-1788-2
 Recibo N° : 71186
 Fecha de emisión : 24/11/20

- 1.0. DE LA MUESTRA** : Ladrillos ecológicos elaborados a base de papel y poliestireno, elaborados, proporcionados e identificados por el solicitante. Denominados como grupo 2 y las muestras T2 (3% poliestireno - 97% papel).
- 2.0. DEL EQUIPO** : Máquina de ensayo uniaxial, ELE INTERNATIONAL
 Certificado de calibración: CMC-109-2019
- 3.0. MÉTODO DEL ENSAYO** : Norma de referencia NTP 399.613.2017.
 Procedimiento interno AT-PR-01.
- 4.0. RESULTADOS** :

MUESTRAS	DISTANCIA ENTRE APOYOS (cm)	DIMENSIONES (cm)			ÁREA (cm ²)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (Kg/cm ²)
		LARGO	ANCHO	ALTURA			
T 2 - 1	20.5	24.5	12.4	7.5	303.8	279	12.3
T 2 - 2	20.5	24.5	12.5	7.6	306.3	300	12.8
T 2 - 3	20.5	24.5	12.5	7.5	306.3	283	12.4
T 2 - 4	20.5	24.5	12.5	7.7	306.3	308	12.8
T 2 - 5	20.5	24.5	12.5	7.5	306.3	294	12.9
PROMEDIO							12.6

5.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. C. Villegas M.
 Técnico : Sr. R. V. M.



MSc. Ing. Isabel Morami Nakata
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:
 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

UNI-LEM
 La Calidad es nuestro compromiso
 Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
 apartado 1301 - Perú
 (511) 381-3343
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lem.uni.edu.pe
 lem@uni.edu.pe
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"



INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
 A : OZEAS ABEL CAMACLLANQUI HUAMANLAZO
 Obra : TESIS: "ELABORACIÓN DE LADRILLO ECOLOGICO A PARTIR DE RESIDUOS SOLIDOS (PAPEL Y POLIESTIRENO)"
 Ubicación : LIMA
 Asunto : Ensayo de Resistencia a la Flexión en Unidades de Albañilería
 Expediente N° : 20-1788-3
 Recibo N° : 71186
 Fecha de emisión : 24/11/20

- 1.0. DE LA MUESTRA : Ladrillos ecológicos elaborados a base de papel y poliestireno, elaborados, proporcionados e identificados por el solicitante. Denominados como grupo 3 y las muestras T3 (6% poliestireno - 94% papel).
- 2.0. DEL EQUIPO : Máquina de ensayo uniaxial, ELE INTERNATIONAL
 Certificado de calibración: CMC-109-2019
- 3.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 399.613.2017.
 Procedimiento interno AT-PR-01.

4.0. RESULTADOS :

MUESTRAS	DISTANCIA ENTRE APOYOS (cm)	DIMENSIONES (cm)			ÁREA (cm ²)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (Kg/cm ²)
		LARGO	ANCHO	ALTURA			
T 3 - 1	20.6	24.6	12.6	7.7	310.0	318	13.2
T 3 - 2	20.5	24.5	12.5	7.6	306.3	314	13.4
T 3 - 3	20.6	24.6	12.6	7.5	310.0	314	13.7
T 3 - 4	20.5	24.5	12.5	7.5	306.3	296	12.9
T 3 - 5	20.5	24.5	12.5	7.5	306.3	298	13.0
PROMEDIO							13.2

5.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. C. Villegas M.
 Técnico : Sr. R. V. M.



NOTAS:
 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

UNI-LEM
 La Calidad es nuestro compromiso
 Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
 apartado 1301 - Perú
 (511) 381-3343
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lem.uni.edu.pe
 lem@uni.edu.pe
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"



INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
 A : OZEAS ABEL CAMACLLANQUI HUAMANLAZO
 Obra : TESIS: "ELABORACIÓN DE LADRILLO ECOLOGICO A PARTIR DE RESIDUOS SOLIDOS (PAPEL Y POLIESTIRENO)"
 Ubicación : LIMA
 Asunto : Ensayo de Resistencia a la Flexión en Unidades de Albañilería
 Expediente N° : 20-1788-4
 Recibo N° : 71186
 Fecha de emisión : 24/11/20

- 1.0. DE LA MUESTRA : Ladrillos ecológicos elaborados a base de papel y poliestireno, elaborados, proporcionados e identificados por el solicitante. Denominados como grupo 4 y las muestras T4 (10% poliestireno - 90% papel).
- 2.0. DEL EQUIPO : Máquina de ensayo uniaxial, ELE INTERNATIONAL
 Certificado de calibración: CMC-109-2019
- 3.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 399.613:2017.
 Procedimiento interno AT-PR-01.
- 4.0. RESULTADOS :

MUESTRAS	DISTANCIA ENTRE APOYOS (cm)	DIMENSIONES (cm)			ÁREA (cm ²)	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (Kg/cm ²)
		LARGO	ANCHO	ALTURA			
T 4 - 1	20.4	24.4	12.5	7.6	305.0	292	12.4
T 4 - 2	20.5	24.5	12.5	7.5	306.3	278	12.2
T 4 - 3	20.5	24.5	12.5	7.5	306.3	275	12.0
T 4 - 4	20.5	24.5	12.5	7.6	306.3	286	12.2
T 4 - 5	20.5	24.5	12.5	7.6	306.3	290	12.4
PROMEDIO							12.2

5.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. C. Villegas M.
 Técnico : Sr. R. V. M.

MSc. Ing. Isabel Moromi Nakata
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:
 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

UNI-LEM
 La Calidad es nuestro compromiso
 Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
 apartado 1301 - Perú
 (511) 381-3343
 (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046

www.lem.uni.edu.pe
 lem@uni.edu.pe
 Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI

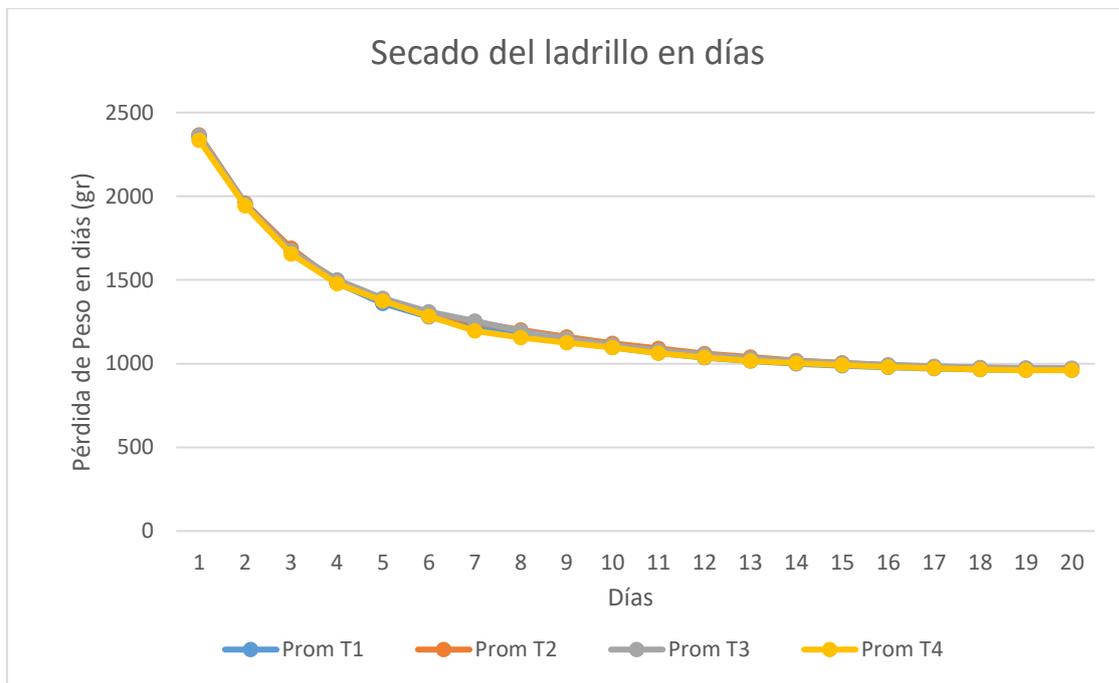


Anexo C. Datos de secado del ladrillo de papel reciclado y poliestireno reciclado.

Tabla 21. Datos de pérdida de peso por secado al sol.

día	T1-1	T1-2	T1-3	T2-1	T2-2	T2-3	T3-1	T3-2	T3-3	T4-1	T4-2	T4-3	Prom T1	Prom T2	Prom T3	Prom T4
0	2350	2334	2395	2334	2394	2371	2377	2355	2357	2318	2342	2343	2360	2366	2363	2334
1	1965	1942	1967	1918	1983	1971	1968	1940	1951	1903	1963	1963	1958	1957	1953	1943
2	1694	1674	1696	1658	1716	1697	1693	1656	1673	1652	1640	1673	1688	1690	1674	1655
3	1484	1472	1488	1447	1508	1495	1516	1496	1491	1463	1473	1495	1481	1483	1501	1477
4	1364	1346	1367	1372	1382	1371	1404	1392	1375	1355	1379	1391	1359	1375	1390	1375
5	1285	1268	1288	1314	1302	1294	1323	1310	1296	1272	1285	1290	1280	1303	1310	1282
6	1224	1210	1227	1268	1240	1232	1268	1257	1238	1184	1201	1204	1220	1247	1254	1196
7	1178	1162	1186	1219	1197	1188	1206	1198	1185	1145	1158	1162	1175	1201	1196	1155
8	1138	1120	1138	1176	1150	1153	1158	1150	1139	1118	1127	1131	1132	1160	1149	1125
9	1106	1083	1099	1136	1111	1118	1120	1112	1103	1090	1097	1102	1096	1122	1112	1096
10	1070	1052	1067	1106	1079	1088	1086	1080	1069	1058	1062	1065	1063	1091	1078	1062
11	1040	1028	1038	1071	1052	1060	1063	1057	1044	1033	1037	1040	1035	1061	1055	1037
12	1018	1010	1018	1042	1032	1041	1039	1033	1022	1014	1016	1019	1015	1038	1031	1016
13	1000	998	1000	1026	1014	1017	1024	1018	1007	1000	1002	1004	999	1019	1016	1002
14	988	988	989	1009	1001	1002	1010	1004	994	990	992	991	988	1004	1003	991
15	976	979	979	987	991	990	1000	995	984	979	982	981	978	989	993	981
16	969	972	972	979	985	984	989	985	975	972	973	972	971	983	983	972
17	965	966	966	975	979	976	982	977	971	964	965	964	966	977	977	964
18	962	961	962	972	974	971	980	974	970	960	963	961	962	972	975	961
19	962	961	962	968	974	970	976	973	970	960	961	960	962	971	973	960

Figura 3. Gráfico de pérdida de peso en días.



Anexo D. Datos de las mediciones de: largo, ancho y altura para cada tratamiento.

Tabla 22. Datos para variación dimensional ladrillo (100% papel).

Muestra	Largo (mm)					Ancho (mm)					Alto (mm)				
	L1	L2	L3	L4	LProm	A1	A2	A3	A4	Aprrom	H1	H2	H3	H4	Hprom
T1-1	245.50	245.30	245.10	244.90	245.20	123.40	122.90	123.50	123.20	123.25	75.10	74.60	73.50	75.80	74.75
T1-2	243.90	243.90	243.10	243.80	243.68	122.90	123.00	123.00	123.00	122.98	75.40	72.90	73.40	75.70	74.35
T1-3	245.50	245.00	244.50	244.20	244.80	123.10	123.50	124.10	123.80	123.63	75.50	75.80	77.00	74.20	75.63
T1-4	244.90	244.90	244.30	244.00	244.53	123.80	123.20	123.60	123.20	123.45	75.50	73.60	73.40	73.60	74.03
T1-5	245.00	245.00	243.90	243.80	244.43	123.40	123.80	123.50	123.40	123.53	76.40	72.90	74.50	75.20	74.75
T1-6	244.60	244.90	244.10	244.00	244.40	123.20	123.60	123.20	123.50	123.38	74.60	75.50	76.50	73.60	75.05
T1-7	245.10	245.10	244.20	244.50	244.73	123.20	123.40	123.70	123.30	123.40	76.00	73.30	74.10	75.00	74.60
T1-8	244.80	245.00	244.00	244.10	244.48	123.10	123.50	122.80	123.40	123.20	74.60	75.20	76.80	74.90	75.38
T1-9	245.00	244.40	244.80	244.00	244.55	122.90	123.10	123.20	124.10	123.33	74.40	75.20	74.80	73.10	74.38
T1-10	245.00	244.50	245.00	245.50	245.00	124.00	123.90	123.70	123.90	123.88	75.90	76.10	73.50	73.80	74.83

Tabla 23. Datos de variación dimensional para ladrillo (97% papel - 3% poliestireno).

Muestra	Largo (mm)					Ancho (mm)					Alto (mm)				
	L1	L2	L3	L4	LProm	A1	A2	A3	A4	Aprrom	H1	H2	H3	H4	Hprom
T2-1	245.10	245.00	244.10	243.70	244.48	123.60	123.30	123.10	123.70	123.43	75.40	76.80	77.00	75.10	76.08
T2-2	244.60	244.70	243.80	244.10	244.30	123.70	123.80	123.30	124.30	123.78	75.00	75.40	76.40	74.20	75.25
T2-3	244.40	244.10	244.10	244.50	244.28	124.00	123.60	124.10	123.00	123.68	77.20	74.30	74.40	76.10	75.50
T2-4	244.10	244.00	244.20	244.40	244.18	123.50	123.00	123.30	123.90	123.43	74.00	74.90	75.00	73.80	74.43
T2-5	245.20	245.90	244.00	244.10	244.80	123.80	124.00	123.80	124.20	123.95	73.70	75.10	76.30	73.80	74.73
T2-6	244.40	245.20	244.60	244.20	244.60	124.10	123.80	123.90	124.60	124.10	74.50	76.70	76.60	73.60	75.35
T2-7	245.00	245.10	244.10	244.90	244.78	124.20	124.50	124.80	124.70	124.55	75.10	73.50	74.10	74.80	74.38
T2-8	244.00	244.10	244.80	244.40	244.33	124.40	123.80	123.50	124.20	123.98	73.40	74.30	74.50	73.10	73.83
T2-9	245.10	244.70	245.10	245.00	244.98	124.90	125.70	125.50	125.50	125.40	73.50	72.00	72.40	74.50	73.10
T2-10	244.70	245.00	245.20	245.70	245.15	125.00	124.10	125.50	125.40	125.00	73.00	73.50	75.00	72.00	73.38

Tabla 24. Datos de variación dimensional para ladrillo (94% papel - 6% poliestireno).

Muestra	Largo (mm)					Ancho (mm)					Alto (mm)				
	L1	L2	L3	L4	LProm	A1	A2	A3	A4	Aprrom	H1	H2	H3	H4	Hprom
T3-1	245.10	245.20	244.90	245.00	245.05	123.70	124.50	124.50	124.50	124.30	75.80	73.20	72.70	75.20	74.23
T3-2	244.50	244.40	243.90	244.10	244.23	123.90	124.10	124.70	124.40	124.28	76.50	74.30	75.40	76.10	75.58
T3-3	244.10	244.20	244.60	244.00	244.23	123.50	124.10	124.50	123.70	123.95	76.80	72.50	73.20	75.10	74.40
T3-4	245.00	245.20	244.60	244.10	244.73	124.50	124.60	124.60	125.00	124.68	75.00	72.60	72.00	75.20	73.70
T3-5	245.10	245.00	245.10	244.90	245.03	124.00	124.20	125.00	124.30	124.38	76.90	74.10	74.00	72.50	74.38
T3-6	244.20	244.20	244.00	244.10	244.13	123.60	124.20	125.00	124.60	124.35	75.70	74.00	73.20	75.00	74.48
T3-7	245.10	245.00	245.10	244.90	245.03	124.70	124.10	124.40	125.00	124.55	75.10	76.70	73.00	74.40	74.80
T3-8	245.00	245.10	244.10	244.40	244.65	124.40	124.90	124.90	124.70	124.73	77.20	74.40	74.30	75.50	75.35
T3-9	245.10	245.00	245.50	244.80	245.10	124.80	125.30	126.00	125.40	125.38	76.00	73.80	74.30	75.80	74.98
T3-10	245.20	245.10	245.30	245.00	245.15	125.40	124.30	125.00	125.50	125.05	75.20	76.00	77.80	75.00	76.00

Tabla 25. Datos de variación dimensional para ladrillo (90% papel - 10% poliestireno).

Muestra	Largo (mm)					Ancho (mm)					Alto (mm)				
	L1	L2	L3	L4	LProm	A1	A2	A3	A4	Aprrom	H1	H2	H3	H4	Hprom
T4-1	245.00	244.20	245.00	245.10	244.83	124.20	123.70	124.50	124.50	124.23	76.80	74.10	74.20	76.00	75.28
T4-2	244.20	245.00	245.10	244.20	244.63	124.30	123.80	124.00	124.20	124.08	74.90	74.70	76.80	74.10	75.13
T4-3	244.30	244.50	244.60	244.10	244.38	124.80	123.90	124.00	124.60	124.33	75.00	75.20	76.50	73.50	75.05
T4-4	245.50	245.10	245.20	244.80	245.15	124.30	124.80	125.30	124.90	124.83	77.00	73.80	75.00	75.60	75.35
T4-5	244.10	244.70	244.40	244.30	244.38	124.80	123.80	124.40	124.70	124.43	76.00	76.20	76.70	75.10	76.00
T4-6	245.00	245.10	244.90	245.00	245.00	124.80	123.90	124.70	125.00	124.60	75.20	76.10	76.90	74.50	75.68
T4-7	244.30	244.20	245.20	245.10	244.70	123.80	124.00	124.90	124.20	124.23	77.10	74.10	74.70	75.00	75.23
T4-8	244.20	244.30	245.10	245.20	244.70	124.00	124.10	124.90	124.30	124.33	77.50	74.40	75.10	75.80	75.70
T4-9	245.10	244.60	245.50	245.60	245.20	124.60	124.80	124.30	125.40	124.78	78.00	74.10	75.00	76.40	75.88
T4-10	245.10	244.70	245.00	245.50	245.08	125.00	124.40	125.20	125.10	124.93	75.00	76.00	77.40	74.50	75.73

Anexo E. Datos de mediciones para cambio de dimensión en la absorción.

Tabla 26. Datos de cambio dimensional en la absorción de agua para ladrillo (100% papel).

Variación dimensional ladrillo (100% Papel - 0% Poliestireno)															
Muestra	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	L Promedio	A1	A2	A3	A4	A Promedio	H1	H2	H3	H4	H promedio
T1-1	122.80	122.80	122.30	122.80	122.68	122.80	124.00	122.80	124.00	123.40	76.70	76.70	75.40	74.00	75.70
T1-2	122.00	121.80	122.30	122.30	122.10	125.00	127.00	125.40	127.00	126.10	69.80	69.90	72.50	71.50	70.93
T1-3	122.50	122.80	123.00	122.10	122.60	122.80	124.00	123.00	124.10	123.48	75.60	76.20	75.70	74.20	75.43
T1-4	121.80	122.00	121.50	121.40	121.68	123.40	124.20	123.10	124.00	123.68	75.30	75.70	76.50	75.90	75.85
T1-5	122.00	121.90	122.40	122.30	122.15	123.00	124.10	123.00	124.10	123.55	75.80	76.00	75.00	72.80	74.90

Cambio de dimensión en la absorción ladrillo (100% Papel - 0% Poliestireno)															
Muestra	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	L Promedio	A1	A2	A3	A4	A Promedio	H1	H2	H3	H4	H promedio
T1-1	127.50	127.30	127.40	127.50	127.43	127.50	130.10	128.80	130.80	129.30	95.00	94.90	93.50	93.00	94.10
T1-2	127.50	127.00	127.00	126.70	127.05	131.00	133.00	130.50	133.10	131.90	88.10	89.20	88.50	88.70	88.63
T1-3	128.40	128.80	126.40	127.10	127.68	130.00	133.20	129.50	133.30	131.50	90.50	89.50	88.40	87.50	88.98
T1-4	126.20	126.10	126.00	125.60	125.98	127.80	129.60	128.10	129.20	128.68	92.00	92.80	93.00	93.50	92.83
T1-5	126.80	126.40	126.20	126.10	126.38	128.10	131.00	128.10	130.20	129.35	89.10	91.20	89.50	88.50	89.58

Muestra	L (mm)	A (mm)	H (mm)
T1-1	122.68	123.40	75.70
T1-2	122.10	126.10	70.93
T1-3	122.60	123.48	75.43
T1-4	121.68	123.68	75.85
T1-5	122.15	123.55	74.90
Promedio	122.24	124.04	74.56
σ	0.41	1.16	2.06

Muestra	L (mm)	A (mm)	H (mm)
T1-1	127.43	129.30	94.10
T1-2	127.05	131.90	88.63
T1-3	127.68	131.50	88.98
T1-4	125.98	128.68	92.83
T1-5	126.38	129.35	89.58
Promedio	126.90	130.15	90.82
σ	0.71	1.45	2.48
ME	122.00	125.00	75.00
V%	4.02	4.12	21.09

Tabla 27. Datos de cambio dimensional en la absorción de agua para ladrillo (97% papel – 3% poliestireno).

Variación dimensional ladrillo (97% Papel - 3% Poliestireno)															
Muestra	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	L Promedio	A1	A2	A3	A4	A Promedio	H1	H2	H3	H4	H promedio
T2-1	121.50	121.80	121.10	123.50	121.98	123.50	124.30	123.40	124.10	123.83	75.40	75.80	76.90	76.00	76.03
T2-2	122.30	121.90	122.50	122.60	122.33	124.00	126.00	124.00	126.00	125.00	74.20	74.00	72.80	71.20	73.05
T2-3	122.50	122.20	122.10	122.40	122.30	124.70	126.50	125.00	126.50	125.68	71.20	72.30	73.00	71.80	72.08
T2-4	122.70	122.80	122.30	122.40	122.55	122.90	124.00	122.90	124.00	123.45	76.50	76.40	75.20	74.10	75.55
T2-5	122.10	122.20	122.50	122.50	122.33	123.00	124.20	123.20	124.10	123.63	76.00	76.10	75.00	73.40	75.13

Cambio de dimensión en la absorción ladrillo (97% Papel - 3% Poliestireno)															
Muestra	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	L Promedio	A1	A2	A3	A4	A Promedio	H1	H2	H3	H4	H promedio
T2-1	126.30	126.00	126.10	125.50	125.98	127.90	129.50	128.00	129.50	128.73	92.20	93.00	93.40	94.10	93.18
T2-2	128.00	126.10	126.70	127.10	126.98	129.00	132.80	129.00	133.40	131.05	78.50	90.30	90.10	87.80	86.68
T2-3	127.30	126.90	126.80	126.80	126.95	129.80	133.20	129.80	132.90	131.43	88.00	87.90	88.50	88.70	88.28
T2-4	127.40	127.20	127.30	127.20	127.28	127.40	130.00	128.70	128.70	128.70	89.00	90.10	89.30	88.40	89.20
T2-5	126.70	126.80	126.40	126.20	126.53	128.00	131.20	128.00	130.10	129.33	87.50	90.00	89.80	87.60	88.73

Muestra	L (mm)	A (mm)	H (mm)
T2-1	121.98	123.83	76.03
T2-2	122.33	125.00	73.05
T2-3	122.30	125.68	72.08
T2-4	122.55	123.45	75.55
T2-5	122.33	123.63	75.13
Promedio	122.30	124.32	74.37
σ	0.21	0.97	1.71

Muestra	L (mm)	A (mm)	H (mm)
T2-1	125.98	128.73	93.18
T2-2	126.98	131.05	86.68
T2-3	126.95	131.43	88.28
T2-4	127.28	128.70	89.20
T2-5	126.53	129.33	88.73
Promedio	126.74	129.85	89.21
σ	0.50	1.30	2.41
ME	122.00	125.00	75.00
V%	3.89	3.88	18.95

Tabla 28. Datos de cambio dimensional en la absorción de agua para ladrillo (94% papel – 6% poliestireno).

Variación dimensional ladrillo (94% Papel - 6% Poliestireno)															
Muestra	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	L Promedio	A1	A2	A3	A4	A Promedio	H1	H2	H3	H4	H promedio
T3-1	122.00	121.80	122.50	122.50	122.20	123.20	124.50	123.50	125.50	124.18	76.00	76.20	75.10	73.50	75.20
T3-2	122.00	122.50	121.80	121.50	121.95	123.20	126.30	123.40	125.80	124.68	76.30	76.40	74.50	73.00	75.05
T3-3	122.70	123.20	122.10	122.30	122.58	124.80	126.50	124.40	126.40	125.53	73.10	74.40	75.90	74.20	74.40
T3-4	122.60	122.60	122.20	122.30	122.43	122.90	124.00	123.00	124.10	123.50	76.00	76.40	75.20	74.10	75.43
T3-5	121.80	122.00	121.70	121.80	121.83	123.20	124.20	123.10	124.10	123.65	75.40	75.90	76.40	75.50	75.80

Cambio de dimensión en la absorción ladrillo (94% Papel - 6% Poliestireno)															
Muestra	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	L Promedio	A1	A2	A3	A4	A Promedio	H1	H2	H3	H4	H promedio
T3-1	126.70	126.30	126.40	126.30	126.43	128.20	131.20	128.00	130.50	129.48	89.00	91.40	89.70	88.80	89.73
T3-2	126.80	127.10	125.80	126.20	126.48	129.00	132.30	127.50	130.30	129.78	90.40	90.00	88.70	86.10	88.80
T3-3	127.70	127.60	126.40	126.30	127.00	130.30	132.40	128.50	131.00	130.55	88.50	91.40	91.50	88.40	89.95
T3-4	126.20	126.10	126.00	125.60	125.98	127.80	129.20	128.00	129.60	128.65	90.00	89.80	87.70	87.00	88.63
T3-5	126.40	126.20	126.30	126.20	126.28	128.10	131.00	127.80	130.20	129.28	89.10	90.20	89.20	88.20	89.18

Muestra	L(mm)	A(mm)	H(mm)
T3-1	122.20	124.18	75.20
T3-2	121.95	124.68	75.05
T3-3	122.58	125.53	74.40
T3-4	122.43	123.50	75.43
T3-5	121.83	123.65	75.80
Promedio	122.20	124.31	75.18
σ	0.31	0.82	0.52

Muestra	L (mm)	A (mm)	H (mm)
T3-1	126.43	129.48	89.73
T3-2	126.48	129.78	88.80
T3-3	127.00	130.55	89.95
T3-4	125.98	128.65	88.63
T3-5	126.28	129.28	89.18
Promedio	126.43	129.55	89.26
σ	0.37	0.70	0.57
ME	122.00	125.00	75.00
V%	3.63	3.64	19.01

Tabla 29. Datos de cambio dimensional en la absorción de agua para ladrillo (90% papel – 10% poliestireno).

Variación dimensional ladrillo (90% Papel - 10% Poliestireno)															
Muestra	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	L Promedio	A1	A2	A3	A4	A Promedio	H1	H2	H3	H4	H promedio
T4-1	121.80	121.90	122.10	123.00	122.20	123.30	124.50	123.50	125.50	124.20	76.00	77.00	75.20	74.00	75.55
T4-2	123.10	122.00	122.00	122.60	122.43	124.00	125.60	123.50	125.30	124.60	77.30	78.00	76.10	73.80	76.30
T4-3	122.50	121.80	122.10	122.00	122.10	124.20	126.10	124.00	126.50	125.20	74.10	76.00	76.90	75.10	75.53
T4-4	121.80	121.90	121.60	121.50	121.70	123.20	124.20	123.00	124.00	123.60	75.40	75.20	76.20	75.10	75.48
T4-5	122.00	122.10	122.40	122.50	122.25	123.50	124.60	123.40	124.50	124.00	75.80	76.10	75.00	73.40	75.08

Cambio de dimensión en la absorción ladrillo (90% Papel - 10% Poliestireno)															
Muestra	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	L Promedio	A1	A2	A3	A4	A Promedio	H1	H2	H3	H4	H promedio
T4-1	126.80	126.30	126.80	126.50	126.60	128.40	130.60	127.60	131.10	129.43	88.70	89.90	89.00	87.80	88.85
T4-2	127.80	126.80	125.80	125.90	126.58	130.40	132.10	127.80	130.50	130.20	88.70	89.00	87.50	86.20	87.85
T4-3	127.40	126.70	126.00	126.60	126.68	130.10	132.90	128.10	130.80	130.48	86.80	88.50	89.80	88.80	88.48
T4-4	126.50	126.10	126.20	126.30	126.28	128.20	131.10	127.90	130.00	129.30	87.90	88.90	87.80	87.10	87.93
T4-5	126.20	126.10	126.00	126.10	126.10	129.00	130.50	128.00	130.50	129.50	88.10	88.70	87.70	86.80	87.83

Muestra	L(mm)	A(mm)	H(mm)
T4-1	122.20	124.20	75.55
T4-2	122.43	124.60	76.30
T4-3	122.10	125.20	75.53
T4-4	121.70	123.60	75.48
T4-5	122.25	124.00	75.08
Promedio	122.14	124.32	75.59
σ	0.27	0.61	0.44

Muestra	L (mm)	A (mm)	H (mm)
T4-1	126.60	129.43	88.85
T4-2	126.58	130.20	87.85
T4-3	126.68	130.48	88.48
T4-4	126.28	129.30	87.93
T4-5	126.10	129.50	87.83
Promedio	126.45	129.78	88.19
σ	0.25	0.52	0.46
ME	122.00	125.00	75.00
V%	3.64	3.82	17.58

Anexo F. Resultados de variación dimensional para cada tratamiento.

Tabla 30. Variación dimensional para ladrillo 100% papel.

Muestra	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)
T1-1	245.20	123.25	74.75
T1-2	243.68	122.98	74.35
T1-3	244.80	123.63	75.63
T1-4	244.53	123.45	74.03
T1-5	244.43	123.53	74.75
T1-6	244.40	123.38	75.05
T1-7	244.73	123.40	74.60
T1-8	244.48	123.20	75.38
T1-9	244.55	123.33	74.38
T1-10	245.00	123.88	74.83
PROMEDIO	244.58	123.40	74.77
σ	0.41	0.25	0.48
ME	245.00	125.00	75.00
VD%	0.17	1.28	0.30

Tabla 31. Variación dimensional para ladrillo con 97% papel y 3% de poliestireno.

Muestra	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)
T2-1	244.48	123.43	76.08
T2-2	244.30	123.78	75.25
T2-3	244.28	123.68	75.50
T2-4	244.18	123.43	74.43
T2-5	244.80	123.95	74.73
T2-6	244.60	124.10	75.35
T2-7	244.78	124.55	74.38
T2-8	244.33	123.98	73.83
T2-9	244.98	125.40	73.10
T2-10	245.15	125.00	73.38
PROMEDIO	244.59	124.13	74.60
σ	0.33	0.66	0.97
ME	245.00	125.00	75.00
VD%	0.17	0.70	0.53

Tabla 32. Variación dimensional para ladrillo con 94% papel y 6% poliestireno.

Muestra	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)
T3-1	245.05	124.30	74.23
T3-2	244.23	124.28	75.58
T3-3	244.23	123.95	74.40
T3-4	244.73	124.68	73.70
T3-5	245.03	124.38	74.38
T3-6	244.13	124.35	74.48
T3-7	245.03	124.55	74.80
T3-8	244.65	124.73	75.35
T3-9	245.10	125.38	74.98
T3-10	245.15	125.05	76.00
PROMEDIO	244.73	124.56	74.79
σ	0.40	0.41	0.70
ME	245.00	125.00	75.00
VD%	0.11	0.35	0.28

Tabla 33. Variación dimensional para ladrillo con 90% papel y 10% poliestireno.

Muestra	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)
T4-1	244.83	124.23	75.28
T4-2	244.63	124.08	75.13
T4-3	244.38	124.33	75.05
T4-4	245.15	124.83	75.35
T4-5	244.38	124.43	76.00
T4-6	245.00	124.60	75.68
T4-7	244.70	124.23	75.23
T4-8	244.70	124.33	75.70
T4-9	245.20	124.78	75.88
T4-10	245.08	124.93	75.73
PROMEDIO	244.80	124.47	75.50
σ	0.30	0.29	0.33
ME	245.00	125.00	75.00
VD%	0.08	0.42	-0.67

Anexo G. Resultados de Alabeo para cada tratamiento.

Tabla 34. Alabeo para ladrillo 100% papel.

MUESTRA	Cara A		Cara B		Alabeo	
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo
T1-1	3	0	0	0	1.5	0
T1-2	3	0	0	0	1.5	0
T1-3	3	0	0	0	1.5	0
T1-4	4	0	0	0	2.0	0
T1-5	4	0	0	0	2.0	0
T1-6	3	0	0	0	1.5	0
T1-7	3	0	0	0	1.5	0
T1-8	3	0	0	0	1.5	0
T1-9	3	0	0	0	1.5	0
T1-10	3	0	0	0	1.5	0
Promedio	3.20	0.00	0.00	0.00	1.60	0.00
σ	0.42	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00

Tabla 35. Alabeo para ladrillo con 97% papel y 3% poliestireno.

MUESTRA	Cara A		Cara B		Alabeo	
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo
T2-1	3	0	0	0	1.5	0
T2-2	4	0	0	0	2	0
T2-3	3	0	0	0	1.5	0
T2-4	3	0	0	0	1.5	0
T2-5	3	0	0	0	1.5	0
T2-6	3	0	0	0	1.5	0
T2-7	3	0	0	0	1.5	0
T2-8	3	0	0	0	1.5	0
T2-9	3	0	0	0	1.5	0
T2-10	3	0	0	0	1.5	0
promedio	3.10	0.00	0.00	0.00	1.55	0.00

σ	0.32	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00
----------	------	------	------	------	------	------

Tabla 36. Alabeo para ladrillo con 96% papel y 6% poliestireno.

MUESTRA	Cara A		Cara B		Alabeo	
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo
T3-1	3	0	0	0	1.5	0
T3-2	4	0	0	0	2	0
T3-3	3	0	0	0	1.5	0
T3-4	3	0	0	0	1.5	0
T3-5	3	0	0	0	1.5	0
T3-6	4	0	0	0	2	0
T3-7	3	0	0	0	1.5	0
T3-8	3	0	0	0	1.5	0
T3-9	3	0	0	0	1.5	0
T3-10	3	0	0	0	1.5	0
promedio	3.20	0.00	0.00	0.00	1.60	0.00
σ	0.42	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00

Tabla 37. Alabeo para ladrillo con 90% papel y 10% poliestireno.

MUESTRA	Cara A		Cara B		Alabeo	
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo
T4-1	3	0	0	0	1.5	0
T4-2	3	0	0	0	1.5	0
T4-3	3	0	0	0	1.5	0
T4-4	3	0	0	0	1.5	0
T4-5	3	0	0	0	1.5	0
T4-6	2	0	0	0	1	0
T4-7	3	0	0	0	1.5	0
T4-8	4	0	0	0	2	0
T4-9	2	0	0	0	1	0
T4-10	2	0	0	0	1	0
Promedio	2.80	0.00	0.00	0.00	1.40	0.00
σ	0.63	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00

Anexo H. Resultados de resistencia a la compresión para cada tratamiento

Tabla 38. Resistencia a la compresión para ladrillo 100% papel.

Muestra	Dimensiones (cm)			Área Bruta (cm ²)	Carga Máxima (Kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)
	Largo	Ancho	Altura			
T1-1	12.2	12.5	7.5	152.5	17450	114.4
T1-2	12.4	12.3	7.8	152.5	16000	104.9
T1-3	12.3	12.2	7.5	150.1	17850	119.0
T1-4	12.2	12.2	7.5	148.8	16215	108.9
T1-5	12.3	12.2	7.7	150.1	15590	103.9
Promedio	12.28	12.28	7.60	150.80	16621.00	110.22
σ	0.08	0.13	0.14	1.64	976.10	6.40

Tabla 39. Resistencia a la compresión para ladrillo con 97% papel y 3% poliestireno.

Muestra	Dimensiones (cm)			Área Bruta (cm ²)	Carga Máxima (Kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)
	Largo	Ancho	Altura			
T2-1	12.1	12.4	7.4	150.0	13400	89.3
T2-2	12.2	12.4	7.4	151.3	13500	89.2
T2-3	12.3	12.4	7.8	152.5	12020	78.8
T2-4	12.3	12.4	7.7	152.5	13680	89.7
T2-5	12.2	12.5	7.7	152.5	13000	85.2
Promedio	12.22	12.42	7.60	151.77	13120.00	86.46
σ	0.08	0.04	0.19	1.11	663.48	4.64

Tabla 40. Resistencia a la compresión para ladrillo con 94% papel y 6% poliestireno.

Muestra	Dimensiones (cm)			Área Bruta (cm ²)	Carga Máxima (Kg)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)
	Largo	Ancho	Altura			
T3-1	12.2	12.5	7.7	152.5	14000	91.8
T3-2	12.3	12.5	7.6	153.8	13700	89.1
T3-3	12.2	12.5	7.5	152.5	13280	87.1
T3-4	12.3	12.6	7.5	155.0	14220	91.8
T3-5	12.3	12.4	7.6	152.5	13660	89.6
Promedio	12.26	12.50	7.58	153.25	13772.00	89.86
σ	0.05	0.07	0.08	1.11	357.94	1.98

Tabla 41. Resistencia a la compresión para ladrillo con 90% papel y 10% poliestireno.

Muestra	Dimensiones (cm)			Área Bruta (cm ²)	Carga Máxima (Kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)
	Largo	Ancho	Altura			
T4-1	12.2	12.5	7.7	152.5	14750	96.7
T4-2	12.3	12.5	7.6	153.8	14800	96.3
T4-3	12.2	12.4	7.8	151.3	13660	90.3
T4-4	12.3	12.5	7.6	153.8	14780	96.1
T4-5	12.3	12.6	7.7	155.0	14800	95.5
Promedio	12.26	12.50	7.68	153.25	14558.00	94.98
σ	0.05	0.07	0.08	1.41	502.41	2.66

Anexo I. Resultados de resistencia a la flexión para cada tratamiento.

Tabla 42. Resistencia a la flexión para ladrillo 100% papel.

Muestra	Distancia entre Apoyos (cm)	Dimensiones (cm)			Área (cm ²)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la Flexión (Kg/cm ²)
		Largo	Ancho	Altura			
T1-1	20.4	24.4	12.5	7.6	305.0	343	14.5
T1-2	20.4	24.5	12.4	7.4	303.8	298	13.4
T1-3	20.4	24.5	12.4	7.6	303.8	328	14.0
T1-4	20.4	24.5	12.4	7.6	303.8	341	14.6
T1-5	20.4	24.4	12.3	7.5	300.1	322	14.2
Promedio	20.40	24.46	12.40	7.54	303.30	326.40	14.16
σ	0.00	0.05	0.07	0.09	1.85	18.15	0.47

Tabla 43. Resistencia a la flexión para ladrillo con 97% papel y 3% poliestireno.

Muestra	Distancia entre Apoyos (cm)	Dimensiones (cm)			Área (cm ²)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la Flexión (Kg/cm ²)
		Largo	Ancho	Altura			
T2-1	20.5	24.5	12.4	7.5	303.8	279	12.3
T2-2	20.5	24.5	12.5	7.6	306.3	300	12.8
T2-3	20.5	24.5	12.5	7.5	306.3	283	12.4
T2-4	20.5	24.5	12.5	7.7	306.3	308	12.8
T2-5	20.5	24.5	12.5	7.5	306.3	294	12.9
Promedio	20.50	24.50	12.48	7.56	305.76	292.80	12.62
σ	0.00	0.00	0.04	0.09	1.10	11.95	0.26

Tabla 44. Resistencia a la flexión para ladrillo con 94% papel y 6% poliestireno.

Muestra	Distancia entre Apoyos (cm)	Dimensiones (cm)			Área (cm ²)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la Flexión (Kg/cm ²)
		Largo	Ancho	Altura			
T3-1	20.6	24.6	12.6	7.7	310.0	318	13.2
T3-2	20.5	24.5	12.5	7.6	306.3	314	13.4
T3-3	20.6	24.6	12.6	7.5	310.0	314	13.7
T3-4	20.5	24.5	12.5	7.5	306.3	296	12.9
T3-5	20.5	24.5	12.5	7.5	306.3	298	13.0
Promedio	20.54	24.54	12.54	7.56	307.73	308.00	13.24
σ	0.05	0.05	0.05	0.09	2.03	10.20	0.30

Tabla 45. Resistencia a la flexión para ladrillo con 90% papel y 10% poliestireno.

Muestra	Distancia entre Apoyos (cm)	Dimensiones (cm)			Área (cm ²)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la Flexión (Kg/cm ²)
		Largo	Ancho	Altura			
T4-1	20.4	24.4	12.5	7.6	305.0	292	12.4
T4-2	20.5	24.5	12.5	7.5	306.3	278	12.2
T4-3	20.5	24.5	12.5	7.5	306.3	275	12.0
T4-4	20.5	24.5	12.5	7.6	306.3	286	12.2
T4-5	20.5	24.5	12.5	7.6	306.3	290	12.4
promedio	20.48	24.48	12.50	7.56	306.00	284.20	12.22
σ	0.04	0.04	0.00	0.05	0.56	7.43	0.15

Anexo J. Resultados de succión para cada tratamiento

Tabla 46. Succión para ladrillo de papel 100% papel.

Muestra	L prom (cm)	A prom (cm)	Peso Seco (gr)	Peso Húmedo (gr)	Succión (200gr/cm ² -min)
T1-1	24.52	12.33	973	1128	102.54
T1-2	24.48	12.36	970	1126	103.12
T1-3	24.44	12.35	973	1116	94.75
T1-4	24.47	12.34	977	1127	99.35
T1-5	24.45	12.32	982	1124	94.28
Promedio	24.47	12.34	975.00	1124.20	98.81
σ	0.03	0.01	4.15	4.31	3.73

Tabla 47. Succión para ladrillo con 97% papel y 3% poliestireno.

Muestra	L prom (cm)	A prom (cm)	Peso Seco (gr)	Peso Húmedo (gr)	Succión (200gr/cm ² -min)
T2-1	24.44	12.34	969	1122	101.46
T2-2	24.42	12.36	970	1129	105.36
T2-3	24.48	12.39	973	1144	112.76
T2-4	24.47	12.45	972	1138	108.98
T2-5	24.43	12.39	968	1118	99.11
Promedio	24.45	12.39	970.40	1130.20	105.53

σ	0.03	0.04	2.07	10.83	5.52
----------	------	------	------	-------	------

Tabla 48. Succión para ladrillo con 94% papel y 6% poliestireno.

Muestra	L prom (cm)	A prom (cm)	Peso Seco (gr)	Peso Húmedo (gr)	Succión (200gr/cm ² -min)
T3-1	24.42	12.39	970	1154	121.63
T3-2	24.5	12.45	962	1113	99.01
T3-3	24.51	12.53	986	1183	128.29
T3-4	24.51	12.5	984	1185	131.21
T3-5	24.46	12.47	977	1160	119.99
Promedio	24.48	12.47	975.80	1159.00	120.03
σ	0.04	0.05	9.96	29.13	12.63

Tabla 49. Succión para ladrillo con 90% papel y 10% poliestireno.

Muestra	L prom (cm)	A prom (cm)	Peso Seco (gr)	Peso Húmedo (gr)	Succión (200gr/cm ² -min)
T4-1	24.48	12.42	962	1155	126.96
T4-2	24.5	12.46	967	1158	125.14
T4-3	24.52	12.47	981	1172	124.93
T4-4	24.5	12.49	978	1176	129.41
T4-5	24.47	12.43	970	1163	126.91
Promedio	24.49	12.45	971.60	1164.80	126.67
σ	0.02	0.03	7.83	8.98	1.80

Anexo K. Resultados de absorción para cada tratamiento.

Tabla 50. Absorción para ladrillo de papel 100% papel.

Muestra	Peso Seco (gr)	Peso Saturado 5H (gr)	Peso saturado 24H (gr)	Absorción 5H (%)	Absorción 24H (%)
T1-1	489	1471	1557	200.82	218.40
T1-2	477	1452	1520	204.40	218.66
T1-3	484	1468	1549	203.31	220.04
T1-4	480	1458	1543	203.75	221.46
T1-5	478	1456	1531	204.60	220.29
Promedio	481.60	1461.00	1540.00	203.38	219.77
σ	4.93	8.12	14.66	1.52	1.25

Tabla 51. Absorción para ladrillo con 97% papel y 3% poliestireno.

Muestra	Peso Seco (gr)	Peso Saturado 5H (gr)	Peso saturado 24H (gr)	Absorción 5H (%)	Absorción 24H (%)
T2-1	479	1430	1495	198.54	212.11
T2-2	488	1450	1514	197.13	210.25
T2-3	486	1442	1507	196.71	210.08
T2-4	478	1431	1511	199.37	216.11
T2-5	483	1443	1509	198.76	212.42
Promedio	482.80	1439.20	1507.20	198.10	212.19
σ	4.32	8.53	7.29	1.13	2.43

Tabla 52. Absorción para ladrillo con 94% papel y 6% poliestireno.

Muestra	Peso Seco (gr)	Peso Saturado 5H (gr)	Peso Saturado 24H (gr)	Absorción 5H (%)	Absorción 24H (%)
T3-1	478	1414	1460	195.82	205.44
T3-2	487	1428	1485	193.22	204.93
T3-3	491	1434	1500	192.06	205.50
T3-4	482	1421	1491	194.81	209.34
T3-5	485	1427	1478	194.23	204.74
Promedio	484.60	1424.80	1482.80	194.03	205.99
σ	4.93	7.60	15.09	1.45	1.90

Tabla 53. Absorción para ladrillo con 90% papel y 10% poliestireno.

Muestra	Peso Seco (gr)	Peso Saturado 5H (gr)	Peso Saturado 24H (gr)	Absorción 5H (%)	Absorción 24H (%)
T4-1	473	1385	1435	192.81	203.38
T4-2	486	1401	1442	188.27	196.71
T4-3	487	1405	1450	188.50	197.74
T4-4	480	1393	1439	190.21	199.79
T4-5	479	1391	1440	190.40	200.63
Promedio	481.00	1395.00	1441.20	190.04	199.65
σ	5.70	8.00	5.54	1.83	2.61

Anexo L. Resultados de Balance de materiales

Tabla 54. Balance de materiales.

Muestra	T1	T2	T3	T4	Promedio (%)
Peso Húmedo total de la masa mezclada (gr)	19000	19000	19000	19000	1800%**
Peso Seco del Papel (gr)	1000	970	940	900	
Peso Seco del Poliestireno (gr)	0	30	60	100	
Agua (gr)	18000	18000	18000	18000	
Peso de masa Húmedo luego del colado (gr)	5286	5238	5138	5004	417%**
Cantidad de agua eliminada en el colado (gr)	13714	13762	13862	13996	76.9 ± 0.7*
Peso de masa antes del Prensado (gr)	5286	5238	5138	5004	
Peso del ladrillo Húmedo Prensado (gr)	2331	2352	2343	2329	134%**
Cantidad de agua eliminada en el Prensado (gr)	2955	2886	2795	2675	15.7 ± 0.7*
Peso de agua eliminada por evaporación (gr)	1355	1376	1368	1359	7.6 ± 0.1*
Peso de ladrillo seco (gr)	976	976	975	970	

(*) Valores basados en el contenido inicial del agua, cantidad del agua eliminada en el colado, prensado y agua eliminada por evaporación (%)

(**) Valores basados en el porcentaje de humedad (%), peso total de la masa, peso de la masa luego del colado y peso de la muestra en húmedo. Los datos son obtenidos a partir de la siguiente formula: $\%Humedad = \frac{WA}{WS} * 100$ donde: WA: masa del agua y WS: masa seco.

Anexo M. Panel fotográfico.

Figura 4. Colección y selección de materiales.



Figura 5. Triturado de papel.



Figura 6. Triturado del poliestireno



Figura 7. Colado de la masa.



Figura 8. Prensado del ladrillo



Figura 9. Pesado de ladrillo húmedo.



Figura 10. Toma de medidas para determinar la variación dimensional.



Figura 11. Medición de alabeo



Figura 12. Secado de ladrillos en un ambiente aireado para la succión.



Figura 13. Medición de succión.



Figura 14. Medición de Absorción.



Figura 15. Corte de ladrillo a medias unidades



Anexo N. Ventajas y desventajas de ladrillo ecológico (Papel y Poliestireno).

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Cumple la función de gestión de residuos sólidos y generación de ingresos.	Se necesita concientización para reciclar los residuos que todavía no son reciclables.
Ladrillos ligeros, pesa la mitad que el ladrillo de arcilla o concreto	Se sugiere el uso solo para paredes de partición interna
Buena capacidad de resistencia a la compresión	Se expanden al absorber agua y contraen al secarse
A presión se contraen y no presentan fracturas frágiles repentinas	Tiene demasiado % de absorción y succión de agua
Son termoacústicos	A altas temperaturas se desintegra fácilmente
Gran capacidad de absorción de energía	Se resquebrajan fácilmente en húmedo
Son reciclables, se pueden volver a reutilizar	Concientización para su reciclaje

Anexo O. Ficha técnica de ladrillo King Kong 18 huecos, marca comercial.



FICHA TÉCNICA

Actualizado el 01 de Marzo 2017

DEFINICIÓN DEL PRODUCTO					
		KING KONG 18 HUECOS			
USO:		<i>Ladrillo para muros portantes.</i>			
MATERIAS PRIMAS:				Requisitos Normados:	
<i>Mezcla de arcillas.</i>		Unidad	Especificación Interna	NTP. 399.613 NTP. 331.017 RNE. 070	
PROPIEDADES FÍSICAS:					
PESO: Mínimo - Máximo		Kg	2.610 - 2.800		-
DIMENSIONES:	Largo	cm	23.0	2%	22.5 Min. 23.5 Máx.
	Ancho	cm	12.5	3%	12.1 Min. 12.9 Máx.
	Alto	cm	9.0	3%	8.7 Min. 9.3 Máx.
ABSORCIÓN DE AGUA		%	< 22.0		Máx. 22.0
ÁREA DE VACÍOS		%	45 - 48		-
ALABEO		mm	< 4.0		Máx. 4.0
DENSIDAD		g/cm ³	1.90 - 2.00		-
EFLORESCENCIA		-	No presenta		No presenta
CLASE		-	Tipo IV		Tipo IV
RENDIMIENTO	Mortero 1.0 cm	Und/m ²	Soga / Cabeza		42 / 74
	Mortero 1.5 cm	Und/m ²	Soga / Cabeza		39 / 68
PROPIEDADES MECÁNICAS:					
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		Kg/cm ²	> 130		Min. 130

Nota:

Ladrillo fabricado para ser usado en muros portantes de moderada resistencia a la compresión, de uso en la construcción con recubrimiento (tarrajeo) tanto en interiores como en exteriores de la edificación.



Oficina: República de Panamá 3563 Sto. Piso - of. 501, Telf.: (0511) 422-2468 / Fax: (0511) 440-2675

Planta: Panamericana Norte, Altura Km. 30.5 - Carabaylo, Telf.: (0511) 660-2808 / (0511) 660-2805 Fax: (0511) 660-2805 anexo 22

www.ladrosipiramide.com