



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 Orccosupa 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. Hipótesis	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 $<0.17\%$ largo, $<1.28\%$ ancho y $<0.67\%$ de alto; los resultados de alabeo presentan solo alabeo cóncavo $<2\text{mm}$; la prueba de resistencia a la flexión presentan valores $>12.2 \text{ Kg/cm}^2$, 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 $86.6 - 110.2 \text{ Kg/cm}^2$, que es casi tres veces mayor al ladrillo tipo I (30 Kg/cm^2), según la norma E.070 albañilería (2006), las muestras T1 y T4 $> 95 \text{ Kg/cm}^2$ clasifican a ladrillo tipo III y las muestras T2 y T3 $> 86 \text{ Kg/cm}^2$ 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 <math><0.17\%</math> length, <math><1.28\%</math> width and <math><0.67\%</math> height; the warping results present only concave warping <math><2\text{mm}</math>; the flexural strength test presents values >math>12.2\text{ Kg/cm}^2</math>, 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.