

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Propuesta para la elaboración de ladrillos ecológicos
a partir del cartón para el mejoramiento en losas
aligeradas en la provincia de Huancayo,
departamento de Junín-2017**

Giampierre Irvin Huachohuilca Arizapana

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huancayo, 2019

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xxi
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I	5
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	5
1.1 Planteamiento y formulación del problema	5
1.1.1 Planteamiento del problema	5
1.1.2 Formulación del problema	9
1.2 Objetivos	10
1.2.1 Objetivo general	10
1.2.2 Objetivos específicos.....	10
1.3 Justificación e importancia.....	11
1.3.1 Justificación académica.....	11
1.3.2 Justificación tecnológica	11
1.3.3 Justificación científica	11
1.3.4 Importancia de la investigación.....	12
1.4 Hipótesis.....	12
1.4.1 Hipótesis general.....	12
1.4.2 Hipótesis específica.....	12
1.5 Variables	12
1.5.1 Pre investigación	12
1.5.2 Investigación.....	13
CAPÍTULO II	14
MARCO TEÓRICO	14
2.1 Antecedentes de la investigación.....	14

2.1.1	Antecedentes internacionales	14
2.1.2	Antecedentes nacionales.....	18
2.2	Bases teóricas	20
2.2.1	Residuos sólidos	20
2.2.2	El reciclado de cartón	24
2.2.2	Cemento.....	26
2.2.3	Agua.....	33
2.2.4	Ladrillo de techo	34
2.2.5	Losa aligerada (Figura 2.22).....	44
CAPÍTULO III	.....	46
METODOLOGÍA	.....	46
3.1	Método y alcances de la investigación.....	46
3.1.1	Método de la investigación	46
3.1.2	Alcances de la investigación.....	46
3.2	Diseño de la Investigación	47
3.2.1	Tipo de diseño de investigación.....	47
3.3	Población y muestra	47
3.3.1	Población.....	47
3.3.2	Muestra	48
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	48
3.4.1	Técnicas utilizadas en la recolección de datos	48
3.4.2	Instrumentos utilizados en la recolección de datos	55
CAPÍTULO IV	.....	56
PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	.....	56
4.1	Materiales	56
4.1.1	Cartón reciclado	56
4.1.2	Cemento Portland tipo I.....	74
4.1.3	Agua.....	75
CAPÍTULO V	.....	76
DESARROLLO DE LA PRE INVESTIGACIÓN	.....	76
5.1	Diseño de mezcla	76
5.1.1	Ajuste de agua por cambios volumétricos del cartón reciclado	76
5.1.2	Selección de relación agua cemento “a/c”	79
5.1.3	Cálculo de cartón reciclado.....	84

5.1.4	Cálculo de agua y cemento	86
5.2	Ensayo de especímenes cúbicos de 50 mm de lado	94
5.2.1	Ensayos en estado fresco.....	94
5.2.2	Ensayos en estado endurecido.....	102
5.3	Análisis estadístico de resistencia a la compresión de especímenes cúbicos..	119
5.3.1	Análisis de correlación.....	119
5.3.2	Resistencia a la compresión	122
5.4	Análisis de resultados.....	128
5.4.1	Resistencia a la compresión	128
5.4.2	Resistencia a la temperatura	153
5.4.3	Densidades de especímenes cúbicos de 50 mm de lado	155
5.5	Selección de la dosificación óptima	166
5.5.1	Selección de dosificación de acuerdo a la resistencia a la compresión.....	167
5.5.2	Selección de dosificación de acuerdo a la resistencia a la temperatura....	167
5.5.3	Selección de dosificación de acuerdo a las densidades	167
5.5.4	Resultado de selección de dosificación	168
CAPÍTULO VI.....		173
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN		173
6.1	Diseño de características físicas.....	173
6.2	Equipo moldeador de prensado para elaboración de ladrillo ecológico.....	174
6.2.1	Base o fondo con dos formadores alveolares	174
6.2.2	Protector de mezcla.....	177
6.2.3	Caja de apoyo moldeador de presión manual.....	179
6.2.4	Tapa de prensado manual.....	181
6.3	Procedimiento de uso de equipo moldeador de prensado	183
6.3.1	Ensamblaje de base con caja de apoyo moldeador	183
6.3.2	Ensamblaje de equipo con protector de mezcla.....	185
6.3.3	Ensamblaje de equipo con protector de mezcla.....	186
6.4	Elaboración de ladrillo ecológico.....	187
6.4.1	Licuado de cartón	187
6.4.2	Secado de cartón reciclado	189
6.4.3	Diseño de mezcla	189
6.4.4	Uso de equipo moldeador.....	192
6.5	Ensayos de unidad de albañilería (ladrillo ecológico de techo)	195

6.5.1	Toma de medidas de tamaño de unidad albañilería (ladrillo ecológico de techo)	196
6.5.2	Toma de pesos y densidades de unidad albañilería (ladrillo ecológico de techo)	198
6.5.3	Absorción de agua de unidad albañilería (ladrillo ecológico de techo)	.....199
6.5.4	Absorción máxima de unidad albañilería (ladrillo ecológico de techo)	.....203
6.5.5	Coeficiente de saturación (ladrillo ecológico de techo)	.....206
6.5.6	Succión – prueba de campo (ladrillo ecológico de techo)	.....206
6.5.7	Área de vacíos de unidad albañilería (ladrillo ecológico de techo)	.....210
6.5.8	Medida de alabeo (ladrillo ecológico de techo)	.....211
6.5.9	Resistencia a la compresión (ladrillo ecológico de techo)	.....213
6.6	Análisis de resultados	.....215
6.6.1	Propiedades físicas	.....216
6.6.2	Propiedades mecánicas	.....222
6.7	Propuesta de ficha técnica de ladrillo ecológico de techo.	.....222
6.8	Comportamiento en losas aligeradas.	.....225
6.8.1	Peso por metro cuadrado	.....225
6.8.2	Ventajas del ladrillo ecológico en metrado de cargas de losa.	.....229
CAPÍTULO VII		230
ANÁLISIS DE INCIDENCIAS Y CONSIDERACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS EN LOSA ALIGERADA CON LADRILLOS ECOLÓGICOS Y CONVENCIONAL		230
7.1	Análisis de precios unitarios y su estructura para elaboración de ladrillos ecológicos.	.....230
7.1.1	Elaboración Mecánica	.....230
7.1.2	Propuesta de elaboración industrial de ladrillo ecológico	.....237
7.1.3	Análisis de incidencia de costo en losa aligerada con ladrillo de techo convencional.	.....241
7.1.4	Análisis de incidencia de costo en losa aligerada con ladrillo ecológico.	.....247
CONCLUSIONES		253
RECOMENDACIONES		257
ANEXOS		268
ANEXO A. PRE INVESTIGACIÓN		269
A.1. GRANULOMETRÍA		270
A.2. HUSO DE CONTROL		278
A.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CÚBICOS DE 50 mm DE LADO		283

ANEXO B. INVESTIGACIÓN	302
B.1. DIMENSIONAMIENTO DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA (LADRILLO ECOLÓGICO).....	303
B.2. DENSIDADES DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA (LADRILLO ECOLÓGICO)	307
B.3. ÁREA DE VACÍOS DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA (LADRILLO ECOLÓGICO)	310
B.4. ALABEO DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA (LADRILLO ECOLÓGICO)	312
B.5. ABSORCIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA (LADRILLO ECOLÓGICO).....	314
B.6. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA (LADRILLO ECOLÓGICO).....	316
B.7. SUCCIÓN (LADRILLO ECOLÓGICO).....	318
ANEXO C. FOTOGRAFÍAS.....	321
C.1. RECICLADO DE CARTÓN	322
C.2. PROCESAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA (cartón reciclado)	325
ANEXO D. PLANOS.....	332
ANEXO E. PLANOS.....	341

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

Figura 1.1. Mapa del Círculo de Fuego del Océano Pacífico.	6
Figura 1.2. Residuos sólidos en el Perú.....	8

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Figura 2.1. Residuos sólidos en el Perú.....	21
Figura 2.2. Residuos Domésticos.	22
Figura 2.3. Residuo Comercial.....	23
Figura 2.4. Residuos de limpieza pública.....	23
Figura 2.5. Reaprovechamiento: Reducir, Reusar y Reciclar las “3R”.....	25
Figura 2.6. Procesos de reciclaje de cartón.	26
Figura 2.7. Tipo y clases de cementos por empresas.	28
Figura 2.8. Obtención y preparación de materias primas.	29
Figura 2.9. Calcinación del polvo crudo: obtención del Clinker.	30
Figura 2.10. Canteras de arcillas en el Perú.	35
Figura 2.11. Cantera Palián.	36
Figura 2.12. Cantera Saño - Cajas.....	37
Figura 2.13. Cantera Jauja.....	37
Figura 2.14. Tabla de resultados de ensayos de las canteras de arcilla.....	38
Figura 2.15. Proceso de fabricación del ladrillo de arcilla industrializado.	41
Figura 2.16. Ladrillo hueco 8.....	41
Figura 2.17. Ladrillo hueco 12 liso.	42
Figura 2.18. Ladrillo hueco 15 acanalado.	42
Figura 2.19. Ladrillo hueco 15 liso.	43
Figura 2.20. Ladrillo hueco 20.....	43
Figura 2.21. Ladrillo hueco 25.....	44
Figura 2.22. Losa aligerada.	45

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

Figura 3.1. Diseño experimental puro	47
Figura 3.2. Diagrama de desarrollo de diseño de mezcla de la Pre Investigación.....	51
Figura 3.3. Proceso de desarrollo de Investigación del ladrillo ecológico.....	53

Figura 3.4. Diagrama de flujo de la Investigación.....	54
--	----

CAPÍTULO IV: PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Figura 4.1. Propiedades físicas y químicas de cemento Portland tipo I (Andino).	75
--	----

CAPÍTULO V: DESARROLLO DE LA PRE INVESTIGACIÓN

Figura 5.1. Flujograma del procedimiento del mezclado adaptado de la NTP 334.003 “Procedimiento para la obtención de pastas y morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica”.....	97
---	----

Figura 5.2. Orden de apisonamiento en los moldes de los especímenes.....	98
--	----

Figura 5.3. Detalle de losa aligerada.....	169
--	-----

Figura 5.4. Características de la dosificación óptima.	169
---	-----

Figura 5.5. Volumen de espécimen cúbico de diseño.	170
---	-----

Figura 5.6. Volumen de espécimen cúbico real.....	171
---	-----

CAPÍTULO VI: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 6.1. Prototipo de ladrillo ecológico para losa aligerada.	173
---	-----

Figura 6.2. Medidas de prototipo de ladrillo ecológico.....	174
---	-----

Figura 6.3. Partes de la base del molde.....	175
--	-----

Figura 6.4. Partes del protector de mezcla.....	177
---	-----

Figura 6.5. Partes de la caja de apoyo moldeador de presión manual.	179
--	-----

Figura 6.6. Partes de la tapa de prensado manual.....	182
---	-----

Figura 6.7. Colocación de caja moldeadora con la base.	184
---	-----

Figura 6.8. Ensamblaje de caja moldeadora con la base.	184
---	-----

Figura 6.9. Colocación de protector de mezcla.	185
---	-----

Figura 6.10. Ensamblaje de protector de mezcla.	185
--	-----

Figura 6.11. Colocación de tapa.	186
---------------------------------------	-----

Figura 6.12. Ensamblaje de tapa de presión manual.	186
---	-----

Figura 6.13. Medidas ladrillo ecológico para techo.	190
--	-----

Figura 6.14. Volumen de equipo moldeador.	191
--	-----

Figura 6.15. Procedimiento de ensayo de succión.....	207
--	-----

Figura 6.16. Losa aligerada con ladrillos de arcilla.....	225
---	-----

Figura 6.17. Losa aligerada con ladrillos ecológico.....	225
--	-----

Figura 6.18. Dimensiones de ladrillo de arcilla y ladrillo ecológico.	226
--	-----

Figura 6.19. Metro cuadrado de losa de techo de ladrillo de arcilla.....	226
--	-----

Figura 6.20. Dimensiones por vigueta.....	227
---	-----

Figura 6.21. Metro cuadrado de losa de techo de ladrillo ecológico.228

Figura 6.22. Dimensiones por vigueta.....228

CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE INCIDENCIAS Y CONSIDERACIÓN DE PRECIOS

UNITARIOS EN LOSA ALIGERADA CON LADRILLOS ECOLÓGICOS Y

CONVENCIONAL

Figura 7.1. Salario y beneficios social de mano de obra en construcción.....232

Figura 7.2. Precio en soles de la bolsa de cemento Portland tipo I.233

Figura 7.3. Fabricación industrializada del ladrillo ecológico.238

Figura 7.4. Dimensiones de prototipo de ladrillo ecológico para techos.253

Figura 7.5. Equipo moldeador254

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

CAPÍTULO IV: PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Fotografía 4.1. Ubicación de recicladoras en el distrito de Huancayo.	57
Fotografía 4.2. Recicladora de Cartón.	57
Fotografía 4.3. Cartón reciclado de generadores de residuos comerciales.	58
Fotografía 4.4. Recolección de cartón.	59
Fotografía 4.5. Cartón reciclado reposando en agua durante 24 horas.	59
Fotografía 4.6. Licuado durante 15 segundos.	60
Fotografía 4.7. Materia prima después de 48 horas de secado.	60
Fotografía 4.8. Peso de muestra.	61
Fotografía 4.9. Secado a temperatura ambiente.	61
Fotografía 4.10. Control del peso.	62
Fotografía 4.11. Peso del molde de 125 cm ³	62
Fotografía 4.12. Peso del molde de 125 cm ³ con adición del cartón procesado.	62
Fotografía 4.13. Tamizado de la muestra 1, 2 y 3.	64
Fotografía 4.14. Retenido de cartón en las mallas de los tamices – Muestras 1, 2 y 3.	64
Fotografía 4.15. Peso de la muestra retenida - Muestras 1, 2 y 3.	64
Fotografía 4.16. Tamizado de la muestra 4, 5 y 6.	66
Fotografía 4.17. Retenido de cartón en las mallas de los tamices – Muestras 4, 5 y 6.	67
Fotografía 4.18. Peso de la muestra retenida Muestras 4, 5 y 6.	67
Fotografía 4.19. Tamizado de la muestra 7, 8 y 9.	69
Fotografía 4.20. Retenido de cartón en las mallas de los tamices – Muestras 7, 8 y 9.	69
Fotografía 4.21. Peso de la muestra retenida Muestras 7, 8 y 9.	69

CAPÍTULO V: DESARROLLO DE LA PRE INVESTIGACIÓN

Fotografía 5.1. Cartón procesado con 30% de agua.	77
Fotografía 5.2. Cartón procesado con 100% de agua con respecto a su volumen.	78
Fotografía 5.3. Control de volumen de cartón 350 ml.	79
Fotografía 5.4. Moldes cúbicos de 50 mm de lado.	85
Fotografía 5.5. Dosificación previamente pesados y controlados.	95
Fotografía 5.6. Mezcla de las dosificaciones para especímenes.	95
Fotografía 5.7. Pasta para especímenes de 50 mm de lado.	99

Fotografía 5.8. Almacenamiento de moldes con especímenes.	99
Fotografía 5.9. Desmolde de especímenes.....	100
Fotografía 5. 10. Especímenes de baja densidad flotando.....	100
Fotografía 5.11. Curado de especímenes ensayados.....	101
Fotografía 5.12. Almacenamiento de especímenes ensayados.	101
Fotografía 5.13. Secados de especímenes.....	101
Fotografía 5.14. Deformación del espécimen.....	103
Fotografía 5.15. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes.	106
Fotografía 5.16. Rotura de especímenes cúbicos de 50 mm de lado.....	106
Fotografía 5.17. Verificación de los especímenes en la Mufla a los 398 °C y 449 °C.....	110
Fotografía 5.18. Control de temperatura en la mufla.....	110
Fotografía 5.19. Especímenes posteriores a los 450°C.	111
Fotografía 5.20. Especímenes de la dosificación de 70% de cartón.	112
Fotografía 5.21. Control de peso de especímenes.....	113
Fotografía 5.22. Medición de los especímenes.....	113
Fotografía 5.23. Especímenes después de ser sometidos a la Mufla.....	154

CAPÍTULO VI: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Fotografía 6.1. Base o fondo con dos formadores de alveolos.....	176
Fotografía 6.2. Protector de mezcla.....	179
Fotografía 6.3. Caja de apoyo moldeador de presión manual.....	181
Fotografía 6.4. Tapa de prensado manual.....	183
Fotografía 6.5. Cartón reciclado reposando en agua durante 24 horas.....	187
Fotografía 6.6. Licuadora industrial de capacidad de 25 litros.....	188
Fotografía 6.7. Cartón reciclado.....	188
Fotografía 6.8. Escurrido de agua de licuado.....	188
Fotografía 6.9. Cartón licuado previo a su secado.	189
Fotografía 6.10. Secado de cartón reciclado.....	189
Fotografía 6.11. Pasta de diseño de mezcla 90% de cartón a/c 0.50.....	192
Fotografía 6.12. Elaboración de ladrillos ecológicos de techo.....	193
Fotografía 6.13. Ladrillos ecológicos de techo.	193
Fotografía 6.14. Toma de datos de las medidas del ladrillo ecológico.	196
Fotografía 6.15. Secado de ladrillos ecológicos.....	200

Fotografía 6.16. Control de pesos del ladrillo ecológico.	200
Fotografía 6.17. Colocación del ladrillo ecológico en pozas con agua.	201
Fotografía 6.18. Secado de ladrillo ecológico con paño.	201
Fotografía 6.19. Control de peso del ladrillo ecológico saturado.	202
Fotografía 6.20. Espécimen sumergido a temperatura de ebullición.	204
Fotografía 6.21. Control de la temperatura a 27.6 °C.	204
Fotografía 6.22. Control de peso del ladrillo ecológico saturado – Absorción máxima. ...	205
Fotografía 6.23. Cálculo de volumen inicial (V_1).	208
Fotografía 6.24. Contacto de la superficie de ladrillo con película de agua de 3 mm durante 1 minuto.	208
Fotografía 6.25. Cálculo de volumen final (V_2).	209
Fotografía 6.26. Control de medidas de alveolos.	210
Fotografía 6.27. Control de medidas del área superficial.	211
Fotografía 6.28. Medida de alabeo de superficie cóncava.	213
Fotografía 6.29. Ladrillo ecológico en la máquina de compresión axial.	214

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estimación de pesos de acuerdo a la categoría de la edificación.....	6
Tabla 2. Dimensiones de ladrillo de arcilla.	7
Tabla 3. Peso de losa aligerada por metro cuadrado.....	7
Tabla 4. Dimensiones y pesos de ladrillos alivianados o casetones de tecnopor.	8
Tabla 5. Óxidos metálicos para la fabricación del Clinker.	28
Tabla 6. Compuestos del cemento Portland.	31
Tabla 7. Límites de compuestos del cemento Portland.....	31
Tabla 8. Límites permisibles del agua.....	34
Tabla 9. Cantidad de especímenes sometidas al ensayo de resistencia a la compresión a los 21 días.	49
Tabla 10. Cantidad de especímenes sometidas al ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días.	49
Tabla 11. Cantidad de especímenes sometidas al ensayo de resistencia a la compresión a los 35 días.	49
Tabla 12. Cantidad de especímenes sometidas al ensayo de resistencia a la compresión a los 42 días.	50
Tabla 13. Cantidad de especímenes sometidas al ensayo de resistencia a la temperatura.	50
Tabla 14. Cantidad de Ladrillos ecológicos elaborados.	52
Tabla 15. Granulometría del cartón reciclado procesado – Muestra promedio 1, 2 y 3. ...	65
Tabla 16. Granulometría del cartón reciclado procesado – Muestra promedio 4, 5 y 6. ...	67
Tabla 17. Granulometría del cartón reciclado procesado – Muestra promedio 7, 8 y 9. ...	70
Tabla 18. Huso de control superior e inferior.	72
Tabla 19. Estimación de corrección de agua.	78
Tabla 20. Cálculo de cartón para el diseño de 90%.	85
Tabla 21. Cálculo de cartón para el diseño de 80%.	86
Tabla 22. Cálculo de cartón para el diseño de 70%.	86
Tabla 23. Cálculo de agua y cemento para diseño de 90% a/c 0.7.	87
Tabla 24. Cálculo de agua y cemento para diseño de 90% a/c 0.5.	88
Tabla 25. Cálculo de agua y cemento para diseño de 90% a/c 0.3.	89
Tabla 26. Cálculo de agua y cemento para diseño de 80% a/c 0.7.	90
Tabla 27. Cálculo de agua y cemento para diseño de 80% a/c 0.5.	91

Tabla 28. Cálculo de agua y cemento para diseño de 80% a/c 0.3.	91
Tabla 29. Cálculo de agua y cemento para diseño de 70% a/c 0.7.	92
Tabla 30. Cálculo de agua y cemento para diseño de 70% a/c 0.5.	93
Tabla 31. Cálculo de agua y cemento para diseño de 70% a/c 0.3.	94
Tabla 32. Edades de ensayos de especímenes cúbicos.	102
Tabla 33. Edad de rotura de especímenes a los 21 días.	103
Tabla 34. Edad de rotura de especímenes a los 28 días.	104
Tabla 35. Edad de rotura de especímenes a los 35 días.	104
Tabla 36. Edad de rotura de especímenes a los 42 días.	105
Tabla 37. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. edades (días) con curado - 90% de cartón con curado.	107
Tabla 38. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. edades (días) con curado - 90% de cartón sin curado.	107
Tabla 39. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. edades (días) con curado - 80% de cartón con curado.	107
Tabla 40. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. edades (días) con curado - 80% de cartón sin curado.	108
Tabla 41. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. edades (días) con curado - 70% de cartón con curado.	108
Tabla 42. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. edades (días) con curado - 70% de cartón sin curado.	109
Tabla 43. Estimación de especímenes para resistencia a la temperatura.	109
Tabla 44. Resistencia a la temperatura de los especímenes.	112
Tabla 45. Densidad de 90% cartón reciclado – a/c 0.70 con curado.	114
Tabla 46. Densidad de 90% cartón reciclado – a/c 0.70 sin curado.	114
Tabla 47. Densidad de 90% cartón reciclado – a/c 0.50 con curado.	114
Tabla 48. Densidad de 90% cartón reciclado – a/c 0.50 sin curado.	115
Tabla 49. Densidad de 90% cartón reciclado – a/c 0.30 con curado.	115
Tabla 50. Densidad de 90% cartón reciclado – a/c 0.30 sin curado.	115
Tabla 51. Densidad de 80% cartón reciclado – a/c 0.70 con curado.	116
Tabla 52. Densidad de 80% cartón reciclado – a/c 0.70 sin curado.	116
Tabla 53. Densidad de 80% cartón reciclado – a/c 0.50 con curado.	116
Tabla 54. Densidad de 80% cartón reciclado – a/c 0.50 sin curado.	117
Tabla 55. Densidad de 80% cartón reciclado – a/c 0.30 con curado.	117

Tabla 56. Densidad de 80% cartón reciclado – a/c 0.30 sin curado.	117
Tabla 57. Densidad de 70% cartón reciclado – a/c 0.70 con curado.	118
Tabla 58. Densidad de 70% cartón reciclado – a/c 0.70 sin curado.	118
Tabla 59. Densidad de 70% cartón reciclado – a/c 0.50 con curado.	118
Tabla 60. Densidad de 70% cartón reciclado – a/c 0.50 sin curado.	119
Tabla 61. Densidad de 70% cartón reciclado – a/c 0.30 con curado.	119
Tabla 62. Densidad de 70% cartón reciclado – a/c 0.30 sin curado.	119
Tabla 63 Resumen de procesamiento de variables - 90% cartón con curado	122
Tabla 64 Resumen de modelo y estimaciones de parámetro - 90% cartón con curado .	123
Tabla 65 Resumen de procesamiento de variables - 90% cartón sin curado	123
Tabla 66 Resumen de modelo y estimaciones de parámetro - 90% cartón sin curado...	124
Tabla 67 Resumen de procesamiento de variables – 80% cartón con curado	125
Tabla 68 Resumen de modelo y estimaciones de parámetro.....	125
Tabla 69 Resumen de procesamiento de variables – 80% cartón sin curado	126
Tabla 70 Resumen de modelo y estimaciones de parámetro – 80% cartón sin curado..	126
Tabla 71 Resumen de procesamiento de variables – 70% cartón con curado	127
Tabla 72 Resumen de modelo y estimaciones de parámetro – 70% cartón con curado.	127
Tabla 73 Resumen de procesamiento de variables – 70% cartón sin curado	128
Tabla 74 Resumen de modelo y estimaciones de parámetro – 70% cartón sin curado..	128
Tabla 75. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. edades (días) con curado - 90% de cartón con curado.	128
Tabla 76. Porcentaje de resistencia a la compresión en relación al mayor – Cartón 90% con curado.....	132
Tabla 77. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. edades (días) con curado - 90% de cartón sin curado.	133
Tabla 78. Porcentaje de resistencia a la compresión en relación al mayor – Cartón 90% sin curado.	136
Tabla 79. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. edades (días) con curado - 80% de cartón con curado.	137
Tabla 80. Porcentaje de resistencia a la compresión en relación al mayor – Cartón 80% con curado.....	140
Tabla 81. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. edades (días) con curado - 80% de cartón sin curado.	141
Tabla 82. Porcentaje de resistencia a la compresión en relación al mayor – Cartón 80% sin curado.	144

Tabla 83. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. edades (días) con curado - 70% de cartón con curado.	145
Tabla 84. Porcentaje de resistencia a la compresión en relación al mayor – Cartón 70% con curado.....	148
Tabla 85. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. edades (días) con curado - 70% de cartón sin curado.	149
Tabla 86. Porcentaje de resistencia a la compresión en relación al mayor – Cartón 70% sin curado.	152
Tabla 87. Resistencia a la temperatura.....	153
Tabla 88. Densidad de especímenes – cartón 90% a/c 0.70.....	155
Tabla 89. Densidad de especímenes – Cartón 90% a/c 0.50.....	156
Tabla 90. Densidad de especímenes – Cartón 90% a/c 0.30.....	157
Tabla 91. Densidad de especímenes – Cartón 80% a/c 0.70.....	158
Tabla 92. Densidad de especímenes – Cartón 80% a/c 0.50.....	159
Tabla 93. Densidad de especímenes – Cartón 80% a/c 0.30.....	160
Tabla 94. Densidad de especímenes – Cartón 70% a/c 0.70.....	161
Tabla 95. Densidad de especímenes – Cartón 70% a/c 0.50.....	162
Tabla 96. Densidad de especímenes – Cartón 70% a/c 0.30.....	163
Tabla 97. Densidad de especímenes sin curar.	166
Tabla 98. Porcentaje del volumen de la dosificación.....	170
Tabla 99. Densidades de los insumos del espécimen cúbico.....	170
Tabla 100. Volumen de los insumos del espécimen cúbico de diseño.	171
Tabla 101. Pesos de los insumos del espécimen cúbico.	171
Tabla 102. Volumen de los insumos del espécimen cúbico de diseño.	172
Tabla 103. Porcentaje del volumen de la dosificación óptima.	190
Tabla 104. Tabla de volumen de insumos para ladrillo ecológico.....	191
Tabla 105. Densidades de los insumos del ladrillo ecológico de techo.	192
Tabla 106. Pesos de los insumos del ladrillo ecológico de techo.	192
Tabla 107. Pesos y dimensiones de ladrillos ecológicos húmedos.	193
Tabla 108. Densidades de ladrillos ecológicos húmedos.	194
Tabla 109. Pesos y dimensiones de ladrillos ecológicos secos.....	194
Tabla 110. Densidades de ladrillos ecológicos secos.	194
Tabla 111. Diferencias de pesos y dimensiones entre húmedo y seco.	195
Tabla 112. Diferencias de densidades entre húmedo y seco.	195

Tabla 113. Promedio de medidas del ladrillo ecológico.....	197
Tabla 114. Variación dimensional de medidas del ladrillo ecológico.	197
Tabla 115. Toma de pesos y dimensiones del ladrillo ecológico.	198
Tabla 116. Densidades del ladrillo ecológico.	198
Tabla 117. Datos de absorción de ladrillos ecológicos.....	203
Tabla 118. Datos de absorción máxima de ladrillos ecológicos.	206
Tabla 119. Datos de coeficiente de saturación de ladrillos ecológicos.	206
Tabla 120. Datos de Succión de ladrillos ecológicos.....	209
Tabla 121. Datos de área de vacíos de ladrillos ecológicos.	211
Tabla 122. Datos de alabeo de ladrillos ecológicos.....	213
Tabla 123. Datos de resistencia a la compresión de ladrillos ecológicos.	215
Tabla 124. Datos de pesos promedios de ladrillos de techo.	216
Tabla 125. Datos de variación dimensional de largo de ladrillos de techo.....	218
Tabla 126. Datos de variación dimensional de ancho de ladrillos de techo.....	218
Tabla 127. Datos de variación dimensional de alto de ladrillos de techo.....	218
Tabla 128. Porcentaje de absorción de agua de ladrillos de techo.....	218
Tabla 129. Área de vacíos de ladrillos de techo.....	219
Tabla 130. Alabeo de ladrillos de techo.	220
Tabla 131. Densidades promedio de ladrillos de techo.	221
Tabla 132. Resistencia a la compresión de ladrillos ecológicos de techo.....	222
Tabla 133. Propuesta de ficha técnica de ladrillo ecológico de techo.....	223
Tabla 134. Ficha técnica de ladrillo para techo “Pirámide” 8 huecos.....	224
Tabla 135. Tabla comparativa: ladrillo de arcilla vs. ladrillo ecológico.	229
Tabla 136. Cuadrilla para fabricación de ladrillos ecológicos	230
Tabla 137. Formato del análisis de precios unitarios del ladrillo ecológico.....	231
Tabla 138. Herramientas utilizadas para la elaboración del ladrillo ecológico.	234
Tabla 139. Análisis de precios unitarios del ladrillo ecológica – Elaboración mecánica. ...	236
Tabla 140. Costo por unidad de ladrillo ecológico – Elaboración mecánica.	237
Tabla 141. Maquinarias, equipos y herramientas utilizadas para la elaboración del ladrillo ecológico.	239
Tabla 142. Análisis de precios unitarios del ladrillo ecológica – Fabricación industrializada.	240
Tabla 143. Costo por unidad de ladrillo ecológico – Fabricación industrializada.	241

Tabla 144. Metrado y partidas del proyecto – Ladrillo convencional.	242
Tabla 145. Análisis de incidencia de concreto en losas aligeradas $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ – Ladrillo convencional.	243
Tabla 146. Análisis de incidencia de encofrado y desencofrado normal en losas – Ladrillo convencional.	244
Tabla 147. Análisis de incidencia de acero $Fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$, grado 60. – Ladrillo convencional.	245
Tabla 148. Análisis de incidencia de ladrillo hueco de arcilla 15 x 30 x 30 cm para losa. – Ladrillo convencional.	246
Tabla 149. Resumen de incidencia en el proyecto. – Ladrillo convencional.	247
Tabla 150. Metrado y partidas del proyecto – Ladrillo ecológico.	247
Tabla 151. Análisis de incidencia de concreto en losas aligeradas $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ – Ladrillo ecológico.	248
Tabla 152. Análisis de incidencia de encofrado y desencofrado normal en losas – Ladrillo ecológico.	249
Tabla 153. Análisis de incidencia de acero $Fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$, grado 60. – Ladrillo ecológico.	250
Tabla 154. Análisis de incidencia de ladrillo hueco de arcilla 15 x 30 x 30 cm para losa. – Ladrillo ecológico.	251
Tabla 155. Resumen de incidencia en el proyecto. – Ladrillo ecológico.	252

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva granulométrica del cartón procesado - Muestra promedio 1, 2 y 3.	66
Gráfico 2. Curva granulométrica del cartón procesado- Muestra promedio 4, 5 y 6.	68
Gráfico 3. Curva granulométrica del cartón procesado- Muestra promedio 7, 8 y 9.	71
Gráfico 4. Huso de Control de la curva granulométrica del cartón- Muestra promedio 1, 2 y 3.....	73
Gráfico 5. Huso de Control de la curva granulométrica del cartón - Muestra promedio 4, 5 y 6.....	73
Gráfico 6. Huso de Control de la curva granulométrica del cartón - Muestra promedio 7, 8 y 9.....	74
Gráfico 7 Diagrama de dispersión – 90% cartón con curado.....	122
Gráfico 8 Diagrama de dispersión – 90% cartón sin curado.....	123
Gráfico 9 Diagrama de dispersión – 80% cartón con curado.....	124
Gráfico 10 Diagrama de dispersión – 80% cartón sin curado.....	125
Gráfico 11 Diagrama de dispersión – 70% cartón con curado.....	126
Gráfico 12 Diagrama de dispersión – 70% cartón sin curado.....	127
Gráfico 13. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. relación a/c – Cartón 90% con curado.	130
Gráfico 14. Curva de resistencia a la compresión – Cartón 90% con curado.	131
Gráfico 15. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. relación a/c – Cartón 90% sin curado.	134
Gráfico 16. Curva de resistencia a la compresión – Cartón 90% sin curado.	135
Gráfico 17. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. relación a/c – cartón 80% con curado.	138
Gráfico 18. Curva de resistencia a la compresión – Cartón 80% con curado.	139
Gráfico 19. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. relación a/c – cartón 80% sin curado.	142
Gráfico 20. Curva de resistencia a la compresión – cartón 80% sin curado.	143
Gráfico 21. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. relación a/c – Cartón 70% con curado.	146
Gráfico 22. Curva de resistencia a la compresión – Cartón 70% con curado.	147
Gráfico 23. Resistencia a la compresión (kg/cm ²) vs. relación a/c – cartón 70% sin curado.	150
Gráfico 24. Curva de resistencia a la compresión – Cartón 70% sin curado.	151

Gráfico 25. Resistencia alcanzada de las dosificaciones con cartón reciclado.....	153
Gráfico 26. Densidades alcanzadas de las dosificaciones con cartón reciclado – cartón 90% a/c 0.70.....	155
Gráfico 27. Densidades alcanzadas de las dosificaciones con cartón reciclado – Cartón 90% a/c 0.50.....	156
Gráfico 28. Densidades alcanzadas de las dosificaciones con cartón reciclado – Cartón 90% a/c 0.30.....	157
Gráfico 29. Densidades alcanzadas de las dosificaciones con cartón reciclado – Cartón 80% a/c 0.70.....	158
Gráfico 30. Densidades alcanzadas de las dosificaciones con cartón reciclado – Cartón 80% a/c 0.50.....	159
Gráfico 31. Densidades alcanzadas de las dosificaciones con cartón reciclado – Cartón 80% a/c 0.30.....	160
Gráfico 32. Densidades alcanzadas de las dosificaciones con cartón reciclado – Cartón 70% a/c 0.70.....	161
Gráfico 33. Densidades alcanzadas de las dosificaciones con cartón reciclado – Cartón 70% a/c 0.50.....	162
Gráfico 34. Densidades alcanzadas de las dosificaciones con cartón reciclado – Cartón 70% a/c 0.30.....	163
Gráfico 35. Curva de densidades de especímenes sin curar a la edad de 42 días.	165
Gráfico 36. Componentes de la dosificación óptima.	170
Gráfico 37. Dosificación óptima de cartón, cemento y agua.....	190
Gráfico 38. Dosificación óptima de cartón, cemento y agua del ladrillo ecológico de techo.	215
Gráfico 39. Dosificación de ladrillo de arcilla de techo.	215
Gráfico 40. Comparación de pesos promedio entre ladrillo ecológico vs. ladrillo de arcilla.	216
Gráfico 41. Variación dimensional de ladrillo de arcilla.	217
Gráfico 42. Variación dimensional de ladrillo ecológico.....	217
Gráfico 43. Comparación de absorción entre ladrillo ecológico vs. ladrillo de arcilla.	219
Gráfico 44. Comparación de promedio de área de vacíos de ladrillo ecológico vs. ladrillo de arcilla.	220
Gráfico 45. Comparación de Alabeo máximo de ladrillo ecológico vs. ladrillo de arcilla.	220
Gráfico 46. Comparación de densidades de ladrillo ecológico vs. ladrillo de arcilla.	221
Gráfico 47. Resistencia a la compresión de ladrillo ecológico de techo.....	222

RESUMEN

La tesis propone la elaboración de un ladrillo ecológico (bloqueta) de techo elaborado a partir de cartón, cemento y agua; su empleo está destinado al relleno de las losas aligeradas de 0.20 m de espesor, las dimensiones de la unidad son de 0.30 m x 0.30 m x 0.15 m. Esta unidad se diseñó y fabricó con la finalidad de reducir el peso propio de las losas aligeradas; también busca dejar de generar dióxido de carbono "CO₂" por el quemado en el proceso de fabricación de los ladrillos de arcilla; y reducir la basura producida diariamente en nuestro país, convirtiéndose así en una alternativa ecológica de fabricación de ladrillos como un material para la construcción.

Se ha realizado el estudio y análisis del comportamiento del cartón en combinación al cemento Portland tipo I y agua. Para ello se desarrolló diseño de mezclas en proporciones de volumen 70%, 80% y 90% de cartón, con relación agua cemento "a/c" de 0.3, 0.5 y 0.7, con la finalidad de encontrar la mejor dosificación para el comportamiento en losas aligeradas o techos.

La mezcla óptima para losas aligeras es de 90% de cartón con relación agua cemento "a/c" igual a 0.5. A partir de esta dosificación se fabricó un equipo moldeador a compresión manual metálico para la fabricación de los ladrillos ecológicos de techos, cuyas unidades de albañilería ecológica se ensayaron en el laboratorio de la Universidad Continental para encontrar sus propiedades físicas y mecánicas.

Palabras clave: Cartón reciclado para la construcción, ladrillo ecológico para techos, fragua entre cartón y cemento.

ABSTRACT

The thesis proposes the development of an ecological brick (block) of roof made from cardboard, cement and water; Its use is intended to fill lightened slabs of 0.20 m thick, the dimensions of the unit are 0.30 m x 0.30 m x 0.15 m. This unit was designed and manufactured in order to reduce the weight of lightened slabs; also seeks to stop generating carbon dioxide "CO₂" by burning in the clay brick manufacturing process; and reduce the trash produced daily in our country, thus becoming an ecological alternative of brick making as a building material.

The study and analysis of the behavior of cardboard in combination with Portland cement type I and water has been carried out. For this purpose, mix design was developed in 70%, 80% and 90% volume proportions of cardboard, with a cement water ratio "a / c" of 0.3, 0.5 and 0.7, in order to find the best dosage for the behavior in lightened slabs or ceilings.

The optimal mixture for lightweight slabs is 90% cardboard with a cement water ratio "a / c" equal to 0.5. From this dosage, a metal manual compression molding equipment was manufactured for the manufacture of ecological roof bricks, whose ecological masonry units were tested in the Continental University laboratory to find their physical and mechanical properties.

Keywords: Recycled cardboard for construction, ecological roofing brick, forge between cardboard and cement.