

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA - INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION



**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS
MEZCLAS ASFALTICAS CON EL USO DE ARCILLA EXPANDIDA
TÉRMICAMENTE”**

por:

LUIS FERNANDO ARENAS AVILA

PROYECTO DE INVESTIGACION presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de licenciatura en INGENIERIA CIVIL

SEMESTRE II - 2018

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS
MEZCLAS ASFÁLTICAS CON EL USO DE ARCILLA EXPANDIDA
TÉRMICAMENTE”**

Elaborado por:

LUIS FERNANDO ARENAS AVILA

SEMESTRE II - 2018

TARIJA - BOLIVIA

V° B°

.....
M. Sc. Ing. Ernesto R. Alvarez Gozalvez

DECANO

**FACULTAD DE CIÉNCIAS Y
TECNOLOGÍA**

.....
M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

VICEDECANA

**FACULTAD DE CIÉNCIAS Y
TECNOLOGÍA**

APROBADO POR:

TRIBUNAL:

.....
Ing. Trinidad Baldiviezo Montalvo

.....
Ing. Edwin Osvaldo Aguirre

.....
Ing. Pablo Chambi Gareca

ADVERTENCIA

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo ésta responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi padre, a mis hermanos por apoyarme siempre, por haber confiado en mi e inculcarme la perseverancia para cumplir mis metas e ideales.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la fortaleza de poder concluir una etapa más en mi vida. A mi padre por apoyarme incondicionalmente en todo momento sin importar las circunstancias ni las adversidades.

A mis hermanos (as) por darme su apoyo incondicional

Dedicatoria

Agradecimiento

Resumen

INDÍCE GENERAL

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

	Pág.
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.2SITUACIÓN PROBLÉMICA.....	2
1.3DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.4OBJETIVOS.....	3
1.4.1 Objetivo general	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5HIPÓTESIS	4
1.6ALCANCE	4
1.7LIMITACIONES.....	4
1.8DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	4
1.8.1 Variables dependientes.....	4
1.8.2 Variables independientes.....	5
1.8.3 Conceptualización de variables	5
1.8.4 Operacionalidad de variables	6
1.9DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.9.1 Unidad de estudio o muestreo	7
1.9.2 Población y muestra	7

1.9.3 Tamaño de la muestra	7
1.10 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS LÓGICOS	7
1.10.1 Listado de actividades a realizar	7
1.10.2 Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva	9
1.10.3 Productos esperados en correspondencia con el procedimiento de la perspectiva	10
1.10.4 Resultados esperados.....	10
1.10.5 Análisis de resultados.....	10

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

	Pág.
2 MEZCLAS ASFÁLTICAS	12
2.1 GENERALIDADES.....	12
2.1.1 Definición de mezcla asfáltica	12
2.1.2 Clasificación de mezcla asfáltica	12
2.1.3 Características de la mezcla (analizando el método Marshall)	13
2.1.3.1 Densidad.....	13
2.1.3.2 Vacíos de aire	14
2.1.3.3 Vacíos en el agregado mineral (VMA)	14
2.1.3.4 Contenido de asfalto	15
2.1.3.5 Vacíos llenos de asfalto (VFA)	16
2.1.4 Propiedades de las mezclas asfálticas	17
2.1.4.1 Estabilidad o resistencia a las deformaciones plásticas.....	17
2.1.4.2 Durabilidad.....	18

2.1.4.3 Flexibilidad.....	19
2.1.4.4 Resistencia a la fatiga	19
2.1.4.5 Resistencia al fracturamiento por baja temperatura	21
2.1.4.6 Resistencia al daño por humedad o impermeabilidad	21
2.1.4.7 Resistencia al deslizamiento.....	21
2.1.4.8 Trabajabilidad.....	21
2.2 COMPONENTES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	22
2.2.1 Cemento asfáltico.....	22
2.2.1.1 Ensayos realizados al asfalto para determinar sus propiedades	23
2.2.1.1.1 Penetración (ASTM D 5 AASHTO T49-97)	23
2.2.1.1.2 Ductilidad (ASTM D 113 AASHTO T51-00)	23
2.2.1.1.3 Punto de inflamación y combustión en la copa abierta de Cleveland (ASTM D 1310-01 AASHTO T79-96)	23
2.2.1.1.4 Viscosidad (AASHTO T201 ASTM D 2170)	23
2.2.1.1.5 Densidad (ASTM D 71-94 AASHTO T229-97)	23
2.2.1.2 Requisitos del cemento asfáltico clasificado por penetración.....	24
2.2.2 Agregados.....	24
2.2.2.1 Clasificación de los agregados	24
2.2.2.2 Clasificación según su procedencia.....	25
2.2.2.3 Agregados naturales	25
2.2.2.4 Agregados artificiales	25
2.2.2.5 Agregados livianos artificiales	25
2.3 ARCILLAS EXPANDIDAS TÉRMICAMENTE (AET)	26
2.3.1 Características de la arcilla expandida térmicamente.	27
2.3.2 Condiciones de fabricación	28
2.3.3 Propiedades de las arcillas expandidas térmicamente.....	29

2.3.4 Procesos de fabricación de las arcillas expandidas	
Térmicamente.....	32
2.3.4.1 Horno rotatorio	32
2.3.4.2 Proceso seco	33
2.3.4.3 Proceso semihúmedo	34
2.3.4.4 Proceso húmedo.....	34
2.3.5 Ensayos realizados a los agregados.....	36
2.3.5.1 Granulometría (ASTM E 40 AASHTO T27-99).....	36
2.3.5.2 Densidad real, densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos y finos (AASHTO T85, AASHTO T84)	36
2.3.5.3 Equivalente de arena (ASTM D 2419 AASHTO T176-00)	36
2.3.5.4 Desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM E 131 AASHTO T96-99).....	37
2.3.5.5 Desintegración sulfato de sodio (ASTM E 88 AASHTO T104-99)	37
2.3.5.6 Caras fracturadas en los áridos (ASTM D 5821)	37
2.3.6 Especificaciones que deben cumplir los agregados	37
2.3.6.1 Agregado grueso.....	37
2.3.6.2 Agregado fino.....	37
2.3.7 Filler (llenante mineral)	38
2.3.7.1 Influencia del filler en las propiedades de las mezclas asfálticas.....	39
2.3.7.2 Ensayos realizados al filler	39
2.3.7.2.1 Granulometría del filler (ASTM D 246)	39
2.3.7.2.2 Índice de plasticidad (ASTM D 4318 – AASHTO T 90)	39
2.3.7.3 Especificaciones del filler.....	40

2.4DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, MÉTODO MARSHALL	40
2.4.1 Metodología	40
2.4.2 Propósito de la metodología.....	41
2.4.3 Descripción general.....	41
2.4.4 Especificaciones de la metodología	43
2.4.4.1 Granulometría.....	43
2.4.4.2 Golpes de compactación.....	44
2.4.4.3 Parámetros volumétricos de diseño Marshall.....	44
2.4.5 Ensayos realizados a la mezcla asfáltica compactada.....	45
2.4.5.1 Determinación de la gravedad específica bulk.....	45
2.4.5.2 Ensayo de estabilidad y flujo.....	46
2.4.5.3 Análisis de densidad y vacíos.....	46
2.5MEZCLAS ASFÁLTICAS CON AGREGADOS LIVIANOS	47
2.5.1 Características de la arcilla para la fabricación de arcilla expandida térmicamente.....	49
2.5.2 Características de las arcillas de la ciudad de Tarija.....	50

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

	Pág.
3 RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	52
3.1CRITERIOS A UTILIZARSE.....	52
3.1.1 Criterios de selección del agregado arcilla expandida térmicamente (Leca).....	52
3.1.2 Criterios de selección de banco de materiales.....	52
3.1.3 Criterios de Selección de Asfalto.....	53
3.2CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS.....	54

3.2.1 Ensayo de granulometría (AASHTO T-27) (ASTM C-136)	55
3.2.2 Ensayo de desgaste por medio de la máquina de los Ángeles (AASHTO T-96) (ASTM C-131)	59
3.2.3 Ensayo de durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración (AASHTO T-104) (ASTM C-88)	62
3.2.4 Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados gruesos (AASHTO T-85) (ASTM C-127)	66
3.2.5 Ensayo de peso específico y absorción de agua del agregado fino (AASHTO T-84) (ASTM C-128)	69
3.2.6 Ensayo de peso unitario de los agregados (AASHTO T-19) (ASTM C-29)	72
3.2.7 Ensayo de equivalente de arena (AASHTO T-176) (ASTM D-2419)	76
3.3 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO	77
3.3.1 Ensayo de penetración (AASHTO T-49-97) (ASTM D-5)	77
3.3.2 Ensayo punto de inflamación (AASHTO T-48) (ASTM D-92)	79
3.3.3 Ensayo peso específico del asfalto (AASHTO T-43) (ASTM D-70)	80
3.3.4 Ensayo punto de ablandamiento (AASHTO T-53) (ASTM D-36)	81
3.3.5 Ductilidad (AASHTO T-51-00) (ASTM D-113)	83

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Pág.
4 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	85
4.1 RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	85
4.1.1 Caracterización de los agregados	85
4.1.2 Cemento asfáltico.....	86
4.2 COMBINACIÓN DE AGREGADOS.....	87
4.2.1 Combinación de agregados arcilla expandida (Leca) para el diseño 1	89
4.2.2 Combinación de agregado grueso arcilla expandida (Leca) y agregado fino arena triturada (Erika) para el diseño 2	90
4.2.3 Combinación de agregados arcilla expandida (Leca) con su granulometría comercial.....	92
4.2.4 Combinación de agregados pétreos para el diseño 3 (mezcla convencional)	93
4.3 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO AGREGADO GRUESO Y FINO ARCILLA EXPANDIDA (LECA).	95
4.3.1 Dosificación de los especímenes (briquetas)	95
4.3.2 Desarrollo de la elaboración de las briquetas.....	96
4.3.3 Ensayo de Marshall	98
4.3.4 Proceso de cálculo de propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.....	99

4.4 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO AGREGADO GRUESO ARCILLA EXPANDIDA (LECA) Y FINOARENA TRITURADA (ERIKA)	109
4.4.1 Dosificación de los especímenes (briquetas)	109
4.4.2 Resultados de las muestras.....	110
4.5 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON AGREGADO ARCILLA EXPANDIDA (LECA) GRANULOMETRÍA COMERCIAL.....	116
4.5.1 Dosificación de los especímenes (briquetas)	116
4.5.2 Resultados de las muestras.....	117
4.6 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL CON AGREGADOS PÉTREOS	121
4.6.1 Dosificación de los especímenes (briquetas).	121
4.6.2 Resultados de las muestras.....	122
4.7 DISEÑO DE LA MEZCLAS ASFÁLTICAS CON CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO	128
4.7.1 diseño con % óptimo de la mezcla asfáltica utilizando agregado grueso y fino arcilla expandida (Leca).	128
4.7.2 diseño con % óptimo de la mezcla asfáltica utilizando agregado grueso arcilla expandida (Leca) y fino arena triturada (Erika)	131
4.7.3 diseño con % óptimo de la mezcla asfáltica con agregado arcilla expandida (Leca) granulometría comercial.....	133
4.7.4 diseño con % óptimo de la mezcla asfáltica convencionales con agregados pétreos	135
4.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	138

4.9 ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS	
DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO COMO	
AGREGADO ARCILLA EXPANDIDA TÉRMICAMENTE.	139
4.9.1 Estabilidad.....	142
4.9.2 Fluencia	143
4.9.3 % de vacíos	144
4.9.4 Densidad.....	145
4.9.5 VAM	146
4.9.6 RBV	147
4.10 ANÁLISIS DE PRECIOS DE PRODUCCIÓN PARA LAS	
DIFERENTES MEZCLAS ASFÁLTICAS	148
4.10.1 Análisis del precio de producción para la mezcla asfáltica	
convencional.....	148
4.10.2 Análisis del precio de producción para la mezcla asfáltica con	
agregado grueso y fino arcilla expandida (Leca)	150
4.10.3 Análisis del precio de producción para la mezcla asfáltica con	
agregado grueso arcilla expandida (Leca) y agregado fino arena	
triturada (Erika).	152

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES157

5.2. RECOMENDACIONES158

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ANEXO A. PLANILLAS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS PARA LA
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

ANEXO B. PLANILLAS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS PARA LA
CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFALTICO

ANEXO C. DOSIFICACION Y DISEÑO DE MESCLAS ASFLATICAS

ANEXO D. PLANILLAS DE PRECIOS UNITARIOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Operacionalidad de variables dependientes.....	6
Tabla 1.2. Operacionalidad de variables independientes.....	6
Tabla 2.1. Clasificación de las mezclas asfálticas.....	12
Tabla 2.2. Requisitos del cemento asfáltico clasificado por penetración.	24
Tabla 2.3. Serie de tamices utilizados para realizar la granulometría.....	36
Tabla 2.4. Especificaciones que debe cumplir el agregado grueso.....	37
Tabla 2.5. Especificaciones que debe cumplir el agregado fino.....	38
Tabla 2.6. Graduación del agregado fino de acuerdo a AASHTO M 29.....	38
Tabla 2.7. Granulometría que debe cumplir el filler de acuerdo con la norma ASTM. ..	40
Tabla 2.8. Especificaciones que debe cumplir el filler.	40
Tabla 2.9. Granulometrías que deben cumplir los agregados para el diseño Marshall...	44
Tabla 2.10. Número de golpes en cada cara del espécimen de ensayo.....	44
Tabla 2.11. Requisitos para la mezcla asfáltica Marshall (AASHTO T 2459)	45
Tabla 2.12. Porcentajes mínimos de vacíos en el agregado mineral (VMA).....	45
Tabla 2.13 Características de las arcillas de la ciudad de Tarija.....	50
Tabla 2.14 Características de la arcilla para la elaboración de arcilla expandida térmicamente.	51
Tabla 3.1. Especificación técnica del cemento asfáltico convencional 85-100.....	54
Tabla 3.2. Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Leca) del ensayo 1.....	56
Tabla 3.3. Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Leca) del ensayo 2.....	57
Tabla 3.4. Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Leca) del ensayo 3.....	57
Tabla 3.5. Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Erika) del ensayo 1.....	58
Tabla 3.6. Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Erika) del ensayo 2.....	58
Tabla 3.7. Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Erika) del ensayo 3.	59
Tabla 3.8. Datos y resultados del ensayo de desgaste para la gravilla 3/8” (Leca).	60

Tabla 3.9. Datos y resultados del ensayo de desgaste para la grava 3/4" (Erika).	61
Tabla 3.10. Datos del ensayo de desgaste para la gravilla 3/8" (Erika).	61
Tabla 3.11. Datos del ensayo de durabilidad para el agregado grueso (Erika).	63
Tabla 3.12. Resultados del ensayo de durabilidad para agregado grueso (Erika).....	64
Tabla 3.13. Datos del ensayo de durabilidad para agregado fino (Erika).	65
Tabla 3.14. Resultados del ensayo de durabilidad para agregado fino (Erika).....	65
Tabla 3.15. Datos y resultados del ensayo de durabilidad para agregado fino (Leca)....	66
Tabla 3.16. Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso (Erika).	67
Tabla 3.17. Resultados de ensayo de peso específico de la grava 1/2" (Leca).	68
Tabla 3.18. Resultados de ensayo de peso específico de la gravilla 3/8" (Leca).....	69
Tabla 3.19. Datos del ensayo peso específico del agregado fino (Erika).	70
Tabla 3.20. Datos del ensayo peso específico del agregado fino (Leca).	71
Tabla 3.21. Datos y resultados del ensayo de peso unitario de la grava 3/4 (Erika).....	73
Tabla 3.22. Datos y resultados del peso unitario de la gravilla 3/8" (Erika).	74
Tabla 3.23. Datos y resultados del peso unitario de la arena triturada (Erika).	74
Tabla 3.24. Datos y resultados del peso unitario de la grava 1/2" (Leca).....	75
Tabla 3.25. Datos y resultados del peso unitario de la arena (Leca).....	75
Tabla 3.26. Datos y resultados del ensayo de equivalente de arena.	77
Tabla 3.27. Datos y resultados del ensayo de penetración cemento asfáltico 85-100.	78
Tabla 3.28. Datos del ensayo punto de inflamación-cemento asfáltico 85-100.....	80
Tabla 3.29. Datos y resultados del ensayo de peso específico cemento asfáltico 85-100.....	81
Tabla 3.30. Datos y resultados del ensayo punto de ablandamiento cemento asfáltico 85-100.	83
Tabla 3.31. Resultados del ensayo de ductilidad del cemento asfáltico 85-100.	84

Tabla 4.1. Resultados de los ensayos de caracterización de los agregados arcilla expandida (Leca).....	85
Tabla 4.2. Resultados de los ensayos de caracterización de los agregados pétreos.	86
Tabla 4.3. Resultados de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico.	86
Tabla 4.4. Granulometría de grava (Leca) de 1/2”	87
Tabla 4.5. Granulometría de gravilla (Leca) de 3/8”.	87
Tabla 4.6. Granulometría de la arena (Leca).....	87
Tabla 4.7. Granulometría de gravilla (Erika) de 3/4”.	88
Tabla 4.8. Granulometría de gravilla (Erika) de 3/8”.	88
Tabla 4.9. Granulometría de la arena triturada (Erika).	88
Tabla 4.10. Dosificación de agregados arcilla expandida (Leca).	89
Tabla 4.11. Dosificación de agregados pétreos y arcilla expandida (Leca).....	91
Tabla 4.12. Dosificación de agregados arcilla expandida (Leca).	92
Tabla 4.13. Dosificación de agregados pétreos.....	94
Tabla 4.14. Peso de los agregados y cemento asfáltico para la mezcla asfáltica utilizando agregado grueso y fino arcilla expandida (Leca).	95
Tabla 4.15. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con agregado grueso y fino (Leca).	104
Tabla 4.16. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica con agregado grueso y fino arcilla expandida (Leca).....	108
Tabla 4.17. Resultados del diseño óptimo de la mezcla asfáltica con agregado grueso y fino arcilla expandida (Leca).	108
Tabla 4.18. Peso de los agregados y cemento asfáltico para la mezcla asfáltica con agregado grueso (Leca) y agregado fino arena triturada (Erika).....	109
Tabla 4.19. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica con agregado grueso (Leca) y agregado fino arena triturada (Erika).....	111

Tabla 4.20. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica con agregado grueso (Leca) y agregado fino arena triturada (Erika).....	115
Tabla 4.21. Resultados del diseño óptimo de la mezcla asfáltica con agregado grueso (Leca) y agregado fino arena triturada (Erika).	115
Tabla 4.22. Peso de los agregados y cemento asfáltico para la mezcla asfáltica con agregado (Leca) granulometría comercial.....	116
Tabla 4.23. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con arcilla expandida (Leca)	118
Tabla 4.24. Resultados del diseño óptimo de la mezcla asfáltica con arcilla expandida (Leca).	120
Tabla 4.25. Resultados del diseño óptimo de la mezcla asfáltica con arcilla expandida (Leca) granulometría comercial.....	121
Tabla 4.26. Peso de los agregados y cemento asfáltico para la mezcla asfáltica convencional.....	122
Tabla 4.27. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica convencional.....	123
Tabla 4.28. Resultados del diseño óptimo de la mezcla asfáltica convencional.	127
Tabla 4.29. Resultados del diseño óptimo de la mezcla asfáltica convencional.	127
Tabla 4.30. Dosificación con el contenido óptimo de cemento asfáltico 7,57%.	128
Tabla 4.31. Datos obtenidos del ensayo Marshal con el contenido óptimo de cemento asfáltico 7,57%.	129
Tabla 4.32. Resultados de las propiedades mecánicas con el contenido óptimo de cemento asfáltico 7,57%.....	130
Tabla 4.33. Resultados de las propiedades mecánicas con el contenido óptimo de cemento asfáltico 7,57%.	131
Tabla 4.34. Datos obtenidos del ensayo Marshal con el contenido óptimo de cemento asfáltico 7,28%.....	132

Tabla 4.35. Resultados de las propiedades mecánicas con el contenido óptimo de cemento asfáltico 7,28%.....	133
Tabla 4.36. Dosificación con el contenido óptimo de cemento asfáltico 6,17%.	134
Tabla 4.37. Datos obtenidos del ensayo Marshal con el contenido óptimo de cemento asfáltico 6,17%.	134
Tabla 4.38. Resultados de las propiedades mecánicas con el contenido óptimo de cemento asfáltico 6,17%.....	135
Tabla 4.39. Dosificación con el contenido óptimo de cemento asfáltico 5,40%.	135
Tabla 4.40. Datos obtenidos del ensayo Marshal con el contenido óptimo de cemento asfáltico 5,40%.	136
Tabla 4.41. Resultados de las propiedades mecánicas con el contenido óptimo de cemento asfáltico 5,40%.....	137
Tabla 4.42. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con agregado grueso y fino (Leca).	138
Tabla 4.43. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con agregado grueso (Leca) y agregado fino (Erika).	138
Tabla 4.44. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con agregado (Leca) granulometría comercial.	139
Tabla 4.45. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con agregado pétreo convencional (Erika).	139
Tabla 4.46. Resumen de resultados de las características mecánicas de las mezclas con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.	140
Tabla 4.47. Porcentajes en volumen de cemento asfáltico de las diferentes mezclas	140
Tabla 4.48. Dosificación para la mezcla asfáltica convencional.	148
Tabla 4.49. Dosificación para 1 m ³ de la mezcla asfáltica convencional.	148
Tabla 4.50. Precio de producción para 1 m ³ de la mezcla asfáltica convencional.....	149

Tabla 4.51. Dosificación para la mezcla asfáltica con agregado grueso y fino arcilla expandida (Leca).	150
Tabla 4.52. Dosificación para 1 m ³ de la mezcla asfáltica con agregado grueso y fino arcilla expandida (Leca).....	150
Tabla 4.53. Precio de producción para 1 m ³ de la mezcla asfáltica con arcilla expandida (Leca).	151
Tabla 4.54. Dosificación para la mezcla asfáltica con agregado grueso arcilla expandida (Leca) y agregado fino arena triturada (Erika).	152
Tabla 4.55. Dosificación para 1 m ³ de la mezcla asfáltica con agregado grueso arcilla expandida (Leca) y agregado fino arena triturada (Erika).	152
Tabla 4.56. Precio de producción para 1 m ³ de la mezcla asfáltica con agregado grueso arcilla expandida (Leca) y agregado fino arena triturada (Erika)....	153
Tabla 4.57. Resumen de costos.	154

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva.....	9
Figura 2.1. Diagrama de componentes de una mezcla asfáltica.	16
Figura 2.2. Arcillas expandidas térmicamente.	27
Figura 2.3. Horno rotatorio para producir arcilla expandida térmicamente.....	33
Figura 2.4. Horno rotatorio para producir arcilla expandida térmicamente proceso semihúmedo.	34
Figura 2.5. Horno rotatorio para producir arcilla expandida térmicamente proceso húmedo.....	35
Figura 3.1. Arcilla expandida Leca.	52
Figura 3.2. Zona de muestreo Rancho Sud.	53
Figura 3.3. Agregado pétreo.	53
Figura 3.4. Proceso de tamizado agregado grueso.....	55
Figura 3.5. Proceso del ensayo desgaste por medio de la máquina de los Ángeles.	60
Figura 3.6. Colocando las muestras en los recipientes para posteriormente colocar el sulfato de sodio.....	63
Figura 3.7. Proceso del peso sumergido.	67
Figura 3.8. Determinando el peso específico de la arena.....	70
Figura 3.9. Realizando el ensayo de peso unitario del agregado 3/8".	72
Figura 3.10. Mezcla de la arena con la solución para el equivalente de arena.	76
Figura 3.11. Penetración de la muestra	78
Figura 3.12 Punto de inflamación en proceso de ensayo.	79
Figura 3.13. Picnómetro más muestra a 25°C.....	80
Figura 3.14. Muestra calentando a baño María.....	82
Figura 3.15. Muestra calentando a baño María.....	83

Figura 4.1. Curva granulométrica de agregados arcilla expandida (Leca).	90
Figura 4.2. Curva granulométrica de agregados pétreos y arcilla expandida (Leca).	91
Figura 4.3. Curva granulométrica de agregados arcilla expandida (Leca).	93
Figura 4.4. Curva granulométrica de agregados pétreos.....	94
Figura 4.5. Colocación de la mezcla en los moldes para el compactado.	97
Figura 4.6. Ensayo Marshall de estabilidad y fluencia.	99
Figura 4.7. % de asfalto vs densidad del diseño de la mezcla con agregados (Leca). ..	105
Figura 4.8. % de asfalto vs % de vacíos del diseño de la mezcla con agregados (Leca).	105
Figura 4.9. % de asfalto vs % VAM del diseño de la mezcla asfáltica con agregados (Leca).	106
Figura 4.10. % de asfalto vs % RBV del diseño de la mezcla asfáltica con agregados (Leca).	106
Figura 4.11. % de asfalto vs estabilidad del diseño de la mezcla asfáltica con agregados (Leca)	107
Figura 4.12. % de asfalto vs flujo del diseño de la mezcla asfáltica con agregados (Leca).	107
Figura 4.13. % de asfalto vs densidad.....	112
Figura 4.14. % de asfalto vs % de vacíos.....	112
Figura 4.15. % de asfalto vs % VAM.	113
Figura 4.16. % de asfalto vs % RBV.	113
Figura 4.17. % de asfalto vs estabilidad.....	114
Figura 4.18. % de asfalto vs flujo.	114
Figura 4.19. % de asfalto vs densidad.....	119
Figura 4.20. % de asfalto vs % de vacíos.....	119

Figura 4.21. % de asfalto vs estabilidad.....	120
Figura 4.22. % de asfalto vs densidad.....	124
Figura 4.23. % de asfalto vs % de vacíos.....	124
Figura 4.24. % de asfalto vs % de vacíos.....	125
Figura 4.25. % de asfalto vs % VAM.	125
Figura 4.26. % de asfalto vs estabilidad.....	126
Figura 4.27. % de asfalto vs fluencia.	126
Figura 4.28. Comparación de % óptimos de cemento asfáltico en volumen.	141
Figura 4.29. Comparación de estabilidades.	142
Figura 4.30. Comparación de fluencias.....	143
Figura 4.31. comparación del % de vacíos.	144
Figura 4.32. comparación de las densidades.	145
Figura 4.33. % comparación de VAM.	146
Figura 4.34. Comparación de RBV.....	147
Figura 4.35. Comparación de costos.	154