

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



**“ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO
ASFÁLTICO PETROPERÚ 85/100 Y SU COMPORTAMIENTO
EN MEZCLAS ASFÁLTICAS”**

Por:

IVAN EDUARDO AGUILERA TÉLLEZ

Modalidad de graduación Proyecto de Grado presentada a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Semestre I- 2018

TARIJA – BOLIVIA

VºBº

.....
M.sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez
DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

.....
M.sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa
VICEDECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

.....
M.sc. Ing. Luis Alberto Yurquina Flores

.....
Ing. Marcelo Sosa Castellanos

.....
Ing. Julio Neil Urzagaste Gutiérrez

El Tribunal Calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

DEDICATORIA:

A mis padres, mi esposa y mi hijo

AGRADECIMIENTOS:

A mi padre, por haberme incentivado a seguir este camino, por su apoyo incondicional para llegar a la culminación del mismo, a mi madre por ser mi fuente de fe y fortaleza, a mi esposa por su apoyo y paciencia en este largo camino.

PENSAMIENTO:

Los días buenos te dan felicidad, los días malos te dan experiencia, los intentos te mantienen fuerte, las caídas te mantienen humilde, pero sólo Dios te mantiene de pie.

Juan Pablo II

ÍNDICE GENERAL

Página

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. DISEÑO TEÓRICO	3
1.3.1. Planteamiento del problema.....	3
1.3.1.1. Situación problemática.....	3
1.3.1.2 Determinación del problema.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	5
1.5.1. Hipótesis.....	5
1.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	6
1.6.1. Variable independiente.....	6
1.6.2. Variable dependiente.....	6
1.6.3. Conceptualización y operacionalización de las variables.....	6
1.7. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.7.1. Identificación del tipo del diseño de Investigación.....	7
1.7.2. Unidad de estudio o muestreo.....	7
1.7.3. Muestreo.....	7
1.7.4. Resultados de cantidad de ensayos.....	10
1.7.5. Descripción de equipos e instrumentos.....	11
1.8. Selección de las técnicas de muestreo.....	12
1.9. Factibilidad recursos insumos y medios utilizados.....	12
1.10. Métodos y procedimientos lógicos.....	13
1.10.1. Listado de actividades a realizar.....	13
1.11. Esquema de actividades en función a la perspectiva.....	

1.11.1. Productos esperados con el procedimiento de la perspectiva.....	17
1.11.2. Resultados esperados.....	17
1.12. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	18
1.12.1. Selección de programas a utilizar.....	18
1.12.2. Estadística descriptiva.....	18
1.12.3. Estadística inferencial para comprobar la hipótesis formulada.....	19
1.13. ALCANCE DEL ESTUDIO.....	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	21
2.1. GENERALIDADES.....	21
2.1.1. Mezclas asfálticas en la construcción de firmes.....	22
2.1.2. Funcionalidad de las mezclas asfálticas en los firmes.....	23
2.1.3. Definición de mezcla asfáltica.....	27
2.1.4. Clasificación de mezclas asfálticas.....	27
2.1.5. Tipología de las mezclas asfálticas.....	31
2.1.5.1. Mezclas asfálticas en caliente.....	31
2.1.5.2. Mezclas asfálticas en frío.....	31
2.1.5.3. Mezcla porosa o drenante.....	32
2.1.5.4. Micro aglomerado.....	32
2.1.5.5. Masillas.....	32
2.1.5.6. Mezclas de alto módulo.....	33
2.2. MATERIALES BÁSICOS.....	33
2.2.1. AGREGADOS PÉTREOS.....	33
2.2.1.1. Tipos de agregados pétreos.....	34
2.2.1.2. Propiedades de los agregados pétreos.....	34
2.2.1.3. Clasificación del agregado pétreo de acuerdo a su tamaño.....	35
2.2.1.3.1. Agregado grueso.....	35
2.2.1.3.2. Agregado fino.....	39
2.2.1.3.3. Polvo mineral (filler).....	40
2.2.1.4. Ensayos para caracterizar los agregados pétreos.....	42

a) Esqueleto mineral.....	42
b) Agregados gruesos.....	42
c) Agregados finos.....	47
d) Polvo mineral (filler).....	49
2.2.2. ASFALTO.....	49
2.2.2.1. Antecedentes.....	49
2.2.2.2. Definición.....	51
2.2.2.3. Producción de asfalto.....	51
2.2.2.4. Composición del asfalto.....	52
2.2.2.5. Propiedades físicas del asfalto de pavimentación.....	53
2.2.2.5.1. Durabilidad.....	53
2.2.2.5.2. Adhesión y cohesión.....	54
2.2.2.5.3. Susceptibilidad a la temperatura.....	54
2.2.2.5.4. Endurecimiento y envejecimiento.....	55
2.2.2.5.5. Pureza.....	56
2.2.2.6. Clasificación de los asfaltos de pavimentación.....	56
2.2.2.6.1. Cementos asfálticos.....	57
a) Caracterización por penetración.....	57
b) Caracterización por viscosidad.....	57
c) Caracterización por comportamiento.....	58
2.2.2.6.2. Asfaltos rebajados.....	58
a) Asfalto de curado rápido (RC).....	58
b) Asfalto de curado medio (MC).....	58
c) Asfalto de curado lento (SC).....	59
2.2.2.6.3. Asfaltos emulsionados.....	59
a) Emulsión aniónica.....	59
b) Emulsión catiónica.....	59
2.2.2.7. Especificaciones sobre cementos asfálticos.....	59
2.2.2.7.1. Normas.....	60
2.2.2.7.2. Ensayos.....	60

2.3. DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	65
2.3.1. Método de Marshall.....	67
2.4. PROBLEMAS QUE SE DEBER EVITAR EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	71
2.4.1. Agrietamiento.....	72
2.4.2. Ahuellamiento.....	77
2.4.3. Desprendimiento.....	77
2.5. CONTROL DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	77

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1. INTRODUCCIÓN.....	83
Criterios.....	83
3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	84
3.2.1. Caracterización del agregado pétreo (identificación).....	84
3.2.1.1. Granulometría agregado grueso.....	86
3.2.1.2. Granulometría agregado fino.....	86
3.2.1.3. Granulometría agregado combinado.....	87
3.2.1.4. Densidad real, la densidad neta y absorción árido grueso.....	87
3.2.1.5. Densidad real, la densidad neta y absorción árido fino... ..	89
3.2.1.6. Resistencia a los sulfatos.....	90
3.2.1.7. Método para determinar la cubicidad de las partículas... ..	91
3.2.1.8. Desgaste de los ángeles.....	92
3.2.1.9. Equivalente de arena.....	93
3.2.2. Caracterización de los C.A. Petroperú 85/100 y Stratura 85/100... ..	94
3.2.2.1. Densidad.....	94
3.2.2.2. Viscosidad.....	94
3.2.2.3. Índice de penetración.....	95
3.2.2.4. Punto de ablandamiento.....	96

3.2.2.5. Punto de inflamación.....	97
3.2.2.6. Adherencia.....	97
3.2.2.7 Ductilidad.....	98
3.2.2.8. Película delgada.....	98

CAPÍTULO IV

CÁLCULOS, DISEÑOS Y PRUEBAS

4.1. ELABORACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	101
4.1.1 Granulometría.....	101
4.1.2 Parámetros de la mezcla asfáltica.....	105
4.1.2.1. Dosificación.....	105
4.1.2.2. Compactación.....	105
4.1.2.3. Especificaciones de la metodología.....	105
4.2 PRUEBAS A LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	107
4.2.1. Pruebas de volumetría.....	107
4.2.2. Pruebas mecánicas.....	107
4.3 RESULTADOS.....	108
4.3.1. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica utilizando el C.A. Petroperú como ligante	108
4.3.2 Resultados del diseño de la mezcla asfáltica utilizando el C.A. Stratura como ligante.....	110
4.3.3 Determinación del contenido óptimo de asfalto.....	111
4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	126
4.4.1. Agregados.....	126
4.4.2. Cementos asfálticos.....	127
4.4.3. Mezcla asfáltica.....	129

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
5.1. Conclusiones.....	135
5.2. Recomendaciones.....	137
BIBLIOGRAFÍA	139
ANEXOS	140

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro N° 1.1 Conceptualización de variable independiente.....	6
Cuadro N° 1.2 Operacionalidad de variable dependiente.....	6
Cuadro N° 1.3 Operacionalidad de variable dependiente.....	7
Cuadro N° 1.4 Nivel de confianza.....	8
Cuadro N° 1.5 Tamaño de población y muestra.....	8
Cuadro N° 1.6 Resumen de ensayos a realizar.....	10
Cuadro N° 2.1 Propiedades funcionales de las mezclas.....	25
Cuadro N° 2.2 Propiedades técnicas de las mezclas asfálticas.....	26
Cuadro N° 2.3 Clasificaciones de las mezclas asfálticas.....	30
Cuadro N° 2.4 Historia del asfalto.....	50
Cuadro N° 2.5 Composición química del asfalto.....	52
Cuadro N° 2.6 Normas AASHTO y ASTM aplicables a asfaltos.....	60
Cuadro N° 3.1 Requisitos de granulometría del material pétreo (DNIT).....	85
Cuadro N° 3.2 Densidades del agregado grueso.....	89
Cuadro N° 3.3 Densidades del agregado fino (mezcla “1”).....	89
Cuadro N° 3.4 Densidades del agregado fino (mezcla “2”).....	90
Cuadro N° 3.5 Densidades del agregado fino (mezcla “3”).....	90
Cuadro N° 3.6 Pérdida en % de los agregados en sulfato de sodio.....	90
Cuadro N° 3.7 Cubicidad de partículas gravilla (3/8”).....	91
Cuadro N° 3.8 Cubicidad de partículas grava (3/4”).....	92
Cuadro N° 3.9 Grados de ensaye (definidos por sus rangos de tamaño, en mm).....	92
Cuadro N° 3.10 Resultados prueba de desgaste en la Máquina de Los Ángeles.....	93
Cuadro N° 3.11 Resultado del ensayo de equivalente de arena.....	93
Cuadro N° 3.12 Densidades de los C.A. en estudio.....	94
Cuadro N° 3.13 Temperaturas óptimas de mezclado y compactación.....	95
Cuadro N° 3.14 Resultados del ensayo de penetración de los C.A. en estudio	95

Cuadro N° 3.15 Resultados ensayo de punto de ablandamiento.....	96
Cuadro N° 3.16 Resultados ensayo de punto de inflamación.....	97
Cuadro N° 3.17 Resultados ensayo de adherencia árido-ligante.....	97
Cuadro N° 3.18 Resultados ensayo de ductilidad.....	98
Cuadro N° 3.19 Pérdida de masa por calentamiento.....	99
Cuadro N° 3.20 Penetración después de la pérdida de masa por calentamiento.....	99
Cuadro N° 3.21 Ductilidad después de la pérdida de masa por calentamiento.....	100
Cuadro N° 4.1 Granulometría “1” y faja utilizada	102
Cuadro N° 4.2 Granulometría “2” y faja utilizada	103
Cuadro N° 4.3 Granulometría “3” y faja utilizada	104
Cuadro N° 4.4 Requisitos de calidad para mezclas de granulometría densa, diseñadas mediante el método Marshall (DNIT).....	106
Cuadro N° 4.5 Vacíos en el agregado mineral (VAM) para mezclas asfálticas de granulometría densa, diseñadas mediante el método Marshall.....	106
Cuadro N° 4.6 Diseño mezcla asfáltica en caliente/ Método Marshall (ligante C.A. Petroperú 85/100) utilizando la granulometría “1”	108
Cuadro N° 4.7 Diseño mezcla asfáltica en caliente/ Método Marshall (ligante C.A. Petroperú 85/100) utilizando la granulometría “2”	109
Cuadro N° 4.8 Diseño mezcla asfáltica en caliente/ Método Marshall (ligante C.A. Petroperú 85/100) utilizando la granulometría “3”	109
Cuadro N° 4.9 Diseño mezcla asfáltica en caliente/ Método Marshall (ligante C.A. Stratura 85/100) utilizando la granulometría “1”	110
Cuadro N° 4.10 Diseño mezcla asfáltica en caliente/ Método Marshall (ligante C.A. Stratura 85/100) utilizando la granulometría “2”	110
Cuadro N° 4.11 Diseño mezcla asfáltica en caliente/ Método Marshall (ligante C.A. Stratura 85/100) utilizando la granulometría “3”	111
Cuadro N° 4.12 Determinación % óptimo de asfalto (C.A Petroperú.) utilizando la granulometría “1”.....	112
Cuadro N° 4.13 Verificación para el % de asfalto óptimo obtenido utilizando la granulometría “1”.....	112

Cuadro N° 4.14 Determinación % óptimo de asfalto (C.A Petroperú.) utilizando la granulometría “2”	113
Cuadro N° 4.15 Verificación para el % de asfalto óptimo obtenido utilizando la granulometría “2”	113
Cuadro N° 4.16 Determinación % óptimo de asfalto (C.A Petroperú.) utilizando la granulometría “3”	114
Cuadro N° 4.17 Verificación para el % de asfalto óptimo obtenido utilizando la granulometría “3”	114
Cuadro N° 4.18 Resultados de estabilidad.....	115
Cuadro N° 4.19 Resumen estadístico para estabilidad Petroperú.....	116
Cuadro N° 4.20 Resultados de fluencia.....	117
Cuadro N° 4.21 Resumen estadístico para fluencia Petroperú.....	118
Cuadro N° 4.22 Determinación % óptimo de asfalto (C.A. Stratura) utilizando la granulometría “1”.....	119
Cuadro N° 4.23 Verificación para el % de asfalto óptimo obtenido utilizando la granulometría “1”	119
Cuadro N° 4.24 Determinación % óptimo de asfalto (C.A. Stratura) utilizando la granulometría “2”	120
Cuadro N° 4.25 Verificación para el % de asfalto óptimo obtenido utilizando la granulometría “2”	120
Cuadro N° 4.26 Determinación % óptimo de asfalto (C.A. Stratura) utilizando la granulometría “3”	121
Cuadro N° 4.27 Verificación para el % de asfalto óptimo obtenido utilizando la granulometría “3”	121
Cuadro N° 4.28 Resultados de estabilidad.....	122
Cuadro N° 4.29 Resumen estadístico para estabilidad Stratura.....	123
Cuadro N° 4.30 Resultados de fluencia.....	124
Cuadro N° 4.31 Resumen estadístico para fluencia Stratura.....	125
Cuadro N° 4.32 Resultados de pruebas a los agregados.....	126
Cuadro N° 4.33 Comparación de resultados obtenidos en la caracterización de los cementos asfálticos.....	127

Cuadro N° 4.34 Resultados del diseño mezcla asfáltica en caliente/ Método Marshall.....	129
Cuadro N° 4.35 Resultados del diseño mezcla asfáltica en caliente/ Método Marshall.....	130
Cuadro N° 4.36 Comparación resultados obtenidos en la elaboración de la mezcla asfáltica con la granulometría “1”.....	131
Cuadro N° 4.37 Comparación resultados obtenidos en la elaboración de la mezcla asfáltica con la granulometría “2”.....	131
Cuadro N° 4.38 Comparación resultados obtenidos en la elaboración de la mezcla asfáltica con la granulometría “3”.....	132

subrasante.....	78
Figura N°2.25(a) Ahuellamiento.....	79
Figura N°2.25(b) Deslizamiento en masa.....	79
Figura N°2.26 Desprendimiento por problemas de adhesividad asfalto/agregado.....	80
Figura N°3.1 Planta de áridos del SEDECA Charaja.....	84
Figura N°3.2 Curva granulométrica del agregado grueso.....	86
Figura N°3.3 Curva granulométrica del agregado fino.....	86
Figura N°3.4 Curva Granulométrica del agregado combinado (1) y fajas de tolerancia..	87
Figura N°3.5 Curva Granulométrica del agregado combinado (2) y fajas de tolerancia..	88
Figura N°3.6 Curva Granulométrica del agregado combinado (3) y fajas de tolerancia..	88
Figura N°4.1 Curva Granulométrica del agregado combinado (1) y fajas de tolerancia.....	102
Figura N°4.2 Curva Granulométrica del agregado combinado (2) y fajas de tolerancia.....	103
Figura N°4.3 Curva Granulométrica del agregado combinado (3) y fajas de tolerancia.....	104
Figura N°4.4 Briquetas elaboradas con el contenido óptimo de C.A. (5.75%).....	129
Figura N°4.5 Briquetas elaboradas con el contenido óptimo de C.A. (5.69%).....	130

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Caracterización de los agregados	141
Anexo 2. Caracterización de los cementos asfálticos.....	153
Anexo 3. Diseño y elaboración de las mezclas asfálticas.....	163
Anexo 4. Rendimientos y costos.....	199