

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



**“COMPARACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DENSA TIBIA Y CALIENTE,
BUSCANDO LA OPTIMIZACIÓN MEDIANTE LA METODOLOGÍA
MARSHALL”**

Por:

MARCO ANTONIO RUEDA LOPEZ

Proyecto de Ingeniería Civil presentado a consideración de la “**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**” como requisito para optar al grado académico de licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II - 2023
TARIJA-BOLIVIA

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

Dedicatoria

Dedicado a mis padres por su apoyo incondicional, dedicatoria y esfuerzo en todos estos años para ayudarme a lograr un objetivo tan anhelado en mi vida.

A mi hermana por apoyarme moralmente y aconsejarme a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mis abuelos, a mis tíos y a toda mi familia por sus manifestaciones de apoyo y confianza en mí.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por brindarme la oportunidad de lograr una meta tan esperada en mi vida.

Agradecer hoy y siempre a mi familia, por todo su apoyo y confianza brindados.

Agradezco a mi padre Abraham Rueda Fernández por darme la oportunidad de cumplir esta meta y enseñarme a nunca darse por vencido a pesar de las dificultades.

Agradezco a mi madre Carmen Rosa Lopez por enseñarme los valores, principios que me ayudaron a formarme para ser una mejor persona y a mantener firme mi confianza en Dios.

Agradezco al Ing. Luis Alberto Yurquina, tutor del proyecto de investigación, por haberme guiado y aportado sus conocimientos.

Agradezco al Ing. Oscar Ricaldi Torrez por haberme brindado su apoyo, su ayuda y su confianza, muy importantes para mí.

Agradezco a la Ing. Seila Ávila y Don Carlitos Subía por haberme brindado su confianza y su apoyo para poder encaminar el presente proyecto.

Pensamiento

“Nuestra mayor debilidad radica en renunciar. La forma más segura de tener éxito es siempre intentarlo una vez más”

Thomas Edison

ÍNDICE GENERAL
CAPÍTULO I
DISEÑO TEÓRICO

	Página
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Justificación.....	3
1.3.1 Justificación académica.....	3
1.3.2 Justificación técnica.....	3
1.3.3 Justificación social.....	3
1.4 Planteamiento del problema.....	4
1.4.1 Situación problemática.....	4
1.4.2 Delimitación del tiempo.....	5
1.4.3 Delimitación del espacio.....	5
1.4.4 Formulación del problema.....	5
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo general.....	5
1.5.2 Objetivos específicos.....	5
1.6 Hipótesis.....	5
1.7 Identificación y conceptualización de las variables.....	6
1.7.1 Identificación de las variables.....	6
1.7.2 Conceptualización de las variables.....	6
1.8 Alcance.....	6

CAPÍTULO II
ESTADO DE CONOCIMIENTO

	Página
2.1 Mezclas asfálticas.....	7
2.1.1 Clasificación de las mezclas asfálticas.....	7
2.2 Parámetros volumétricos dentro de la mezcla asfáltica.....	9
2.2.1 Gravedad específica neta del agregado (G_{sb}).....	9
2.2.2 Gravedad específica aparente del agregado (G_{sa}).....	10
2.2.3 Gravedad específica efectiva del agregado (G_{se}).....	10

2.2.4 Gravedad específica máxima de las mezclas del agregado (Gmm).....	11
2.2.5 Asfalto absorbido (Pba).....	11
2.2.6 Contenido de asfalto efectivo en la mezcla (Pbe).....	12
2.2.7 Porcentaje de vacíos en el agregado mineral de la mezcla (VAM).....	12
2.2.8 Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada (Va).....	12
2.2.9 Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto de la mezcla compactada (VFA) .	13
2.2.10 Porcentaje de polvo (relación filler-asfalto) (DP).....	14
2.3 Propiedades consideradas en las mezclas	14
2.3.1 Estabilidad.....	15
2.3.2 Resistencia al deslizamiento	15
2.3.3 Impermeabilidad	15
2.3.4 Flexibilidad	15
2.3.5 Resistencia a la fatiga.....	15
2.3.6 Durabilidad	15
2.3.7 Trabajabilidad	15
2.4 Factores a controlar en las mezclas asfálticas.....	16
2.4.1 Granulometría	16
2.4.2 Contenido de asfalto	16
2.4.3 Consistencia y calidad del cemento asfáltico.....	16
2.5 Influencia relativa del asfalto y del agregado en el cemento asfáltico	17
2.5.1 Ligante asfáltico.....	17
2.5.2 Agregado mineral.....	17
2.6 Efecto del asfalto en la estabilidad	17
2.6.1 Características del asfalto.....	18
2.7 Efecto del agregado mineral en la estabilidad.....	18
2.7.1 Tamaño máximo de los agregados	18
2.7.2 Tipo de agregado.....	18
2.7.3 Gradación.....	18
2.7.4 Llenante mineral (filler).....	19
2.7.5 Porcentaje de vacíos.....	19
2.8 Efecto de la densidad de la mezcla en la estabilidad.....	20
2.9 Efecto del asfalto en la durabilidad	20

2.10 Efecto del agregado mineral en la durabilidad	20
2.11 Cantidad de asfalto en la mezcla	20
2.12 Mezclas asfálticas tibias	21
2.13 Viscosidad	21
2.14 Aditivos	21
2.14.1 Aditivos orgánicos	21
2.14.2 Aditivos químicos	22
2.14.3 Zycotherm	22
2.15 Beneficios del uso de aditivos	25
2.15.1 Reducción del uso de combustible	25
2.15.2 Beneficios hacia los trabajadores	25
2.15.3 Mayores distancias de transporte	25
2.15.4 Mejor limpieza de equipos	25
2.16 Propiedades que se benefician de una mezcla combinada	26
2.16.1 Consumo de energía	26
2.17 Método Marshall	27
2.18 Criterios a considerar en una mezcla asfáltica	27
2.19 Procedimiento del ensayo	28
2.19.1 Determinación de la gravedad específica total	28
2.19.2 Análisis de la densidad y el contenido de vacíos	28
2.19.3 Determinación de la estabilidad y flujo Marshall	29
2.20 Marco normativo	30
2.21 Marco referencial	31
2.22 Análisis del aporte teórico	32

CAPÍTULO III

CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

	Página
3.1 Criterios de diseño metodológico	33
3.1.1 Unidad de muestra	33
3.1.2 Población	33
3.1.3 Muestra	33
3.2 Tamaño de la muestra	34

3.2.1 Nivel de confianza	34
3.2.2 Tamaño de muestra	34
3.3 Localización de obtención de agregados	36
3.4 Localización de obtención del cemento asfáltico	36
3.5 Caracterización de los agregados pétreos	37
3.5.1 Ensayo de granulometría (ASTM C-136).....	37
3.5.2 Ensayo de peso específico en agregados gruesos (ASTM C-127).....	41
3.5.3 Ensayo de peso específico en agregados finos (ASTM C-128).....	44
3.5.4 Ensayo desgaste de la máquina de los ángeles (ASTM C-131).....	47
3.5.5 Ensayo porcentaje de caras fracturadas (ASTM D-5821)	50
3.5.6 Ensayo partículas planas y alargadas (ASTM D-4791).....	52
3.5.7 Ensayo equivalente de arena en agregado fino (ASTM D-2419).....	55
3.6 Caracterización del cemento asfáltico	56
3.6.1 Ensayo de ductilidad (ASTM D-113) (AASHTO T-51)	56
3.6.2 Ensayo punto de ablandamiento (ASTM D-36) (AASHTO T-53)	57
3.6.3 Ensayo de penetración (ASTM D-5) (AASHTO T-49)	58
3.6.4 Ensayo densidad del asfalto (ASTM D-71) (AASHTO T-229).....	60
3.6.5 Ensayo punto de inflamación (ASTM D-1310) (AASHTO T-79).....	62
3.7 Resultados del levantamiento de la información	64
3.7.1 Resultados de la caracterización de agregados pétreos.....	64
3.7.2 Resultados de la caracterización del cemento asfáltico	65
3.8 Diseño de mezclas	65
3.8.1 Diseño por método Marshall para contenido óptimo de C.A	65
3.9 Dosificación de mezcla asfáltica densa caliente	67
3.9.1 Identificación	70
3.9.2 Altura de las briquetas.....	71
3.9.3 Porcentaje de asfalto	71
3.9.4 Peso de briqueta en el aire	71
3.9.5 Peso de la briqueta saturada superficialmente seco (S.S.S).....	72
3.9.6 Peso de la briqueta sumergida en agua	72
3.9.7 Volumen de la briqueta.....	72
3.9.8 Densidad de la briqueta.....	72

3.9.9 Densidad máxima teórica de la briqueta.....	73
3.9.10 Porcentaje de vacíos.....	73
3.9.11 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.A.M).....	73
3.9.12 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (R.B.V).....	74
3.9.13 Resultados de Estabilidad y fluencia.....	74
3.10 Resultado del diseño de la mezcla asfáltica densa caliente.....	74
3.11 Elaboración de briquetas con el óptimo de cemento asfáltico.....	78
3.12 Briquetas con diseño de mezcla asfáltica densa caliente.....	78
3.13 Análisis de las propiedades de la mezcla asfáltica densa caliente.....	80
3.14 Briquetas con diseño de mezcla asfáltica densa tibia.....	84
3.15 Análisis de las propiedades de la mezcla asfáltica densa tibia.....	86
3.16 Análisis de temperatura en mezclas densa tibia y caliente.....	89
3.17 Análisis en extremos de temperatura en mezclas densa tibia y caliente.....	92

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

	Página
4.1 Organización de resultados.....	98
4.2 Estadística descriptiva.....	98
4.2.1 Cálculo de curva de frecuencias, relativa y acumulada.....	98
4.2.2 Cálculos de medida de tendencia central.....	106
4.2.3 Cálculos de medidas de dispersión.....	107
4.3 Estadística inferencial.....	108
4.3.1 Prueba de hipótesis para la estabilidad.....	109
4.3.2 Comprobación de la hipótesis para la estabilidad.....	110
4.3.3 Prueba de hipótesis para la fluencia.....	111
4.3.4 Comprobación de la hipótesis para la fluencia.....	111
4.4 Especificaciones técnicas.....	112
4.4.1 Especificación técnica de la carpeta asfáltica en mezclas calientes.....	112
4.4.2 Especificación técnica de la carpeta asfáltica en mezclas tibias.....	120
4.5 Costos de las mezclas asfálticas.....	128
4.5.1 Precio unitario de la mezcla densa caliente.....	128
4.5.2 Precio unitario de la mezcla densa tibia.....	129

4.5.3 Análisis de los costos de las mezclas densa tibia y caliente.....	130
4.5.4 Análisis técnico de las mezclas asfálticas	130
4.5.5 Análisis económico de las mezclas asfálticas	130
4.5.6 Análisis técnico – económico de las mezclas asfálticas.....	131
4.6 Aplicabilidad de las mezclas asfálticas.....	131
4.7 Ventajas y desventajas de las mezclas densa tibia y caliente.....	131

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1 Conclusiones.....	132
5.2 Recomendaciones	133

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO I	CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS
ANEXO II	CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO
ANEXO III	DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
ANEXO IV	FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO ASFÁLTICO
ANEXO V	FICHA TÉCNICA DEL ADITIVO