

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DE LA INCORPORACIÓN DE LA MASILLA PLÁSTICA COMO
FILLER EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL CON
AGREGADOS TRITURADOS”**

POR:

NEVER GARECA MARAZ

PROYECTO DE APLICACIÓN presentado a consideración de la **“UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el grado
académico de licenciatura en **INGENIERÍA CIVIL**

SEMESTRE I - 2025

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA

A DIOS quien ha guiado mis pasos con amor y fortaleza y fe para cumplir uno de mis más anhelados sueños.

A mis padres Víctor Gareca e Isidra Maraz, por ser la razón de mi existencia, gracias a sus consejos, cariño, esfuerzo a diario y apoyo incondicional, que con esfuerzo hicieron posible que culminara con éxito una etapa más de mi vida.

Valentina y Milán la razón de mi vida y de salir adelante.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañarme y por el apoyo moral que siempre me brindaron a lo largo de esta etapa.

ÍNDICE GENERAL
CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN AL TEMA

	Página
1.1	Introducción. 1
1.2	Justificación..... 2
1.3	Diseño teórico 4
1.3.1	Planteamiento al problema 4
1.3.1.1	Situación problemática 4
1.3.1.2	Planteamiento al problema 4
1.3.2	Objetivos 4
1.3.2.1	Objetivo general 4
1.3.2.2	Objetivos específicos..... 5
1.3.3	Hipótesis..... 5
1.3.4	Definición de variables independientes y dependientes..... 5
1.3.4.1	Variables independientes 6
1.3.4.2	Variables dependientes 6
1.4	Conceptualización y operacionalización de las variables 6
1.4.1	Variable dependiente 6
1.4.2	Variable independiente 6
1.5	Diseño metodológico..... 7
1.5.1	Unidad de estudio y decisión muestral..... 7
1.5.1.1	Unidad de estudio 7
1.5.1.2	Unidad de observación (UO)..... 7
1.5.1.3	Población..... 7
1.5.1.4	Muestra..... 7
1.5.2	Técnicas de muestreo 9
1.5.2.1	Selección de las técnicas de muestreo..... 9
1.6	Procedimiento para el análisis y resultados..... 9
1.6.1	Tratamiento estadístico..... 9
1.6.1.1	Estadística descriptiva 9

1.6.1.2	Estadística inferencial seleccionada para comprobar la hipótesis formulada.	10
1.7	Resultados esperados con el procedimiento de la perspectiva	10
1.7.1	Resultados esperados	11
1.8	Alcance de la investigación	11

CAPÍTULO II

GENERALIDADES Y DEFINICIONES DE MEZCLAS

2.1	Mezcla asfáltica convencional	12
2.1.1	Definición	12
2.2	Materiales utilizados para mezclas asfálticas en caliente	12
2.2.1	Asfalto	12
2.2.1.1	Propiedades físicas del asfalto	12
2.2.2	Agregados	14
2.2.2.1	Propiedades de los agregados	14
2.2.3	Agregados utilizados en mezclas asfálticas	16
2.2.3.1	Agregado grueso	16
2.2.3.2	Piedra triturada	16
2.2.3.3	Grava triturada	16
2.2.3.4	Agregado fino	16
2.3	Filler	17
2.3.1	Importancia y efecto del relleno o polvo mineral	18
2.3.2	Propiedades	18
2.3.2.1	Iteración filler-asfalto	19
2.3.3	Requisitos que debe cumplir el filler	19
2.3.4	Influencia del filler en las propiedades de las mezclas asfálticas	20
2.3.5	Características y comportamiento de mezclas asfálticas	20
2.3.5.1	Peso específico de los agregados	20
2.3.5.2	Densidad máxima real de la mezcla (gr/cm ³)	21
2.3.5.3	Vacíos de aire (VA) (%)	22
2.3.5.4	Vacíos en el agregado mineral (VAM) (%)	23
2.3.5.5	Relación betumen vacíos (%)	24

2.3.5.6	Contenido de asfalto.....	24
2.3.6	Propiedades de mezclas asfálticas.....	25
2.4	Diseño de mezclas por el método Marshall	25
2.4.1	Granulometría.....	26
2.5	Descripción del método Marshall	28
2.5.1	Procedimiento del método Marshall	28
2.6	Temperatura de mezclas asfálticas	30
2.6.1	Temperatura en el transporte	30
2.6.1.1	Temperatura en plataforma.....	31
2.7	Normativa a utilizar en el proyecto de experimentación.....	31

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

3.1	Relevamiento de la información	33
3.1.1	Selección de agregados pétreos.....	33
1.1.1	Cemento asfáltico	33
3.1.1.1	Ficha técnica del cemento asfáltico.....	35
1.1.2	Elección de filler de masilla plástica.....	36
3.1.1.2	Especificaciones técnicas de la masilla plástica.....	37
3.2	Caracterización de los materiales.	38
3.2.1	Granulometría de agregados (Norma ASTM E-40 AASHTO T27-99).	38
3.2.2	Ensayo peso específico agregado grueso ASTM C-127 (grava, gravilla).....	42
3.2.3	Ensayo peso específico del agregado fino (ASTM C-128).....	44
3.2.4	Peso unitario de los agregados grueso y fino (ASTM C 29M-97, AASHTO T-27).....	46
3.2.5	Ensayo de equivalente de arena (AASHTO T-176)	49
3.2.6	Desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM E-131 AASHTO T96-99).....	52
3.2.7	Ensayo de porcentaje de caras fracturadas ASTM D-821	56
3.3	Caracterización del cemento asfáltico.....	58
3.3.1	Ensayo de penetración (ASTM D 5 AASHTO T-49-97)	58
3.3.2	Ensayo de ductilidad (ASTM D 113 AASHTO T51-00)	59

3.3.3	Punto de inflamación mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO 79-96).	61
3.3.4	Punto de ablandamiento con el aparato anillo y bola (ASTM D-36 AASHTO T53-96).....	63
3.3.5	Peso específico (ASTM D71-94 AASHTO T229-97)	65
3.3.6	Viscosidad Saybolt	67
3.4	Caracterización del filler.	68
3.4.1	Granulometría del filler.....	68
3.4.2	Peso específico del filler natural (ASTM D-854 AASHTO T-100).	71
3.4.3	Peso específico y absorción filler natural.....	73
3.5	Resultados de levantamiento de información.....	76
3.5.1	Agregados pétreos	76
3.5.2	Filler	76
3.5.3	Cemento Asfaltico	77
3.6	Diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall para determinar el contenido óptimo de cemento asfaltico.	78
3.7	Dosificación de mezcla asfáltica	82
3.8	Determinación de la densidad, estabilidad y fluencia Marshall.	84
3.8.1	Desarrollo de la planilla previa a la rotura de briquetas.....	87

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DEL DISEÑO

4.1	Resultado del diseño de la mezcla asfáltica densa caliente convencional 85-100	92
4.2	Elaboración de briquetas con el contenido óptimo de cemento asfaltico	96
4.3	Briquetas variando el porcentaje de filler natural por el filler de la masilla.	96
4.4	Preparación de briquetas con el porcentaje óptimo de filler de la masilla plástica.....	97
4.4.1	Curvas método Marshall	98
4.4.2	Dosificación para validación de hipótesis	100
4.5	Tratamiento estadístico de los resultados	104
4.6	Análisis del tratamiento estadístico de los resultados	106

4.7	Evaluación de las propiedades de las mezclas asfálticas con el contenido óptimo de filler de masilla plástica.	108
4.7.1	Análisis de estabilidad con contenido asfáltico.....	109
4.8	Análisis técnico comparativo	110
4.9	Estadística inferencial	110
4.10	Prueba de hipótesis.....	111
4.11	Presupuesto de mezclas asfálticas con filler natural y filler de masilla plástica.	112

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	116
5.2	Recomendaciones.....	117

Bibliografía

ANEXOS

ANEXO I	Permisos y solicitudes
ANEXO II	Caracterización de los agregados
ANEXO III	Caracterización del cemento asfáltico
ANEXO IV	Caracterización del filler
ANEXO V	Diseño Marshall

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla N° 1.1 Variables dependientes.....	6
Tabla N° 1.2 Variables independientes.....	6
Tabla N° 1.3 Nivel de confianza	7
Tabla N° 1.4 Muestra estratificada por afijación proporcional	8
Tabla N° 1.5 Productos esperados.....	10
Tabla N° 2.1 Requisito de graduación para el material de relleno (filler)	19
Tabla N° 2.2 Tamaños máximos nominales más utilizados de acuerdo con la ASTM D3515	27
Tabla N° 3.1 Especificaciones técnicas.....	35
Tabla N° 3.2 Granulometría del agregado grueso (grava)	39
Tabla N° 3.3 Granulometría del agregado medio (gravilla).....	40
Tabla N° 3.4 Granulometría agregado fino (arena).....	41
Tabla N° 3.5 Datos y resultados de peso específico (grava 3/4).....	44
Tabla N° 3.6 Datos y resultados de peso específico (gravilla).....	44
Tabla N° 3.7 Resultados del peso específico (Arena)	46
Tabla N° 3.8 Datos y resultados peso unitario (grava).....	47
Tabla N° 3.9 Peso unitario compactado (grava).....	47
Tabla N° 3.10 Datos y resultados peso unitario (gravilla)	48
Tabla N° 3.11 Peso unitario compactado (gravilla)	48
Tabla N° 3.12 Datos y resultados peso unitario (arena).....	49
Tabla N° 3.13 Peso unitario compactado (gravilla)	49
Tabla N° 3.14 Datos y resultados de la práctica equivalente de arena.....	51
Tabla N° 3.15 Pesos de los agregados gruesos y N° de esferas	52
Tabla N° 3.16 Especificaciones que debe cumplir cada gradación.....	52
Tabla N° 3.17 Datos de desgaste de los ángeles (grava).....	55
Tabla N° 3.18 Resultados de desgaste de los ángeles (grava).....	56
Tabla N° 3.19 Datos desgaste de los Ángeles gravilla.....	56
Tabla N° 3.20 Resultados desgasté de los de Ángeles (gravilla)	56
Tabla N° 3.21 Datos y resultados cara fracturadas (gravilla 3/4)	56

Tabla N° 3.22 Datos y resultados caras fracturada (grava ¾).	57
Tabla N° 3.23 Datos y resultados de la práctica penetración del cemento asfáltico.	59
Tabla N° 3.24 Datos y resultados del ensayo de ductilidad.	61
Tabla N° 3.25 Datos y resultados de la práctica punto de inflamación.	63
Tabla N° 3.26 Datos y resultados de la práctica punto de ablandamiento.	65
Tabla N° 3.27 Datos y resultados del peso específico del asfalto.	67
Tabla N° 3.28 Datos y resultados de viscosidad Saybolt.	67
Tabla N° 3.29 Datos y resultados granulometría filler natural.	69
Tabla N° 3.30 Datos y resultados granulometría filler masilla plástica.	70
Tabla N° 3.31 Resultados de la calibración del frasco.	72
Tabla N° 3.32 Datos y resultados del ensayo de peso específico del filler natural.	75
Tabla N° 3.33 Datos y Resultados peso específico de la Masilla Plástica.	75
Tabla N° 3.34 Resumen y promedio de peso específico del filler.	75
Tabla N° 3.35 Resultados de caracterización de los agregados pétreos.	76
Tabla N° 3.36 Resultados de la caracterización del filler.	76
Tabla N° 3.37 Resumen de la caracterización del cemento asfáltico.	77
Tabla N° 3.38 Datos de la curva granulométrica de dosificación.	82
Tabla N° 3.39 Mezcla asfáltica densa en caliente.	84
Tabla N° 3.40 Granulometría elaborada.	84
Tabla N° 3.41 Altura de briqueta.	87
Tabla N° 3.42 Peso de briqueta en el aire.	88
Tabla N° 3.43 Peso de la briqueta en el aire saturado.	88
Tabla N° 3.44 Peso de la briqueta sumergida.	88
Tabla N° 3.45 Estabilidad y fluencia.	90
Tabla N° 3.46 Resumen de la corrección de la fluencia.	90
Tabla N° 3.47 Parámetros realizados a las briquetas.	91
Tabla N° 4.1 Resultados del ensayo Marshall para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico.	92
Tabla N° 4.2 Resultado de contenido óptimo de cemento asfáltico.	96
Tabla N° 4.3 Datos de dosificación óptima.	96
Tabla N° 4.4 Dosificación con el porcentaje óptimo de filler de masilla plástica.	97

Tabla N° 4.5 Datos para briquetas con el óptimo filler combinado	97
Tabla N° 4.6 Promedios de los resultados.....	99
Tabla N° 4.7 Dosificación validación de hipótesis	100
Tabla N° 4.8 Dosificación con filler	101
Tabla N° 4.9 Resultados de estabilidad fluencia Marshall óptimo de filler variado	102
Tabla N° 4.10 Resultado estabilidad y fluencia	103
Tabla N° 4.11 Estadística de los resultados.....	104
Tabla N° 4.12 Tratamiento estadístico	106
Tabla N° 4.13 Análisis técnico comparativo	110
Tabla N° 4.14 Peso de mezcla asfáltica para un metro cubico.....	112
Tabla N° 4.15 Costo de mezcla convencional.....	113
Tabla N° 4.16 Costo de mezcla con filler de masilla plástica.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Definición de variables	5
Figura 2.1 Esquema de los vacíos en el agregado mineral	23
Figura 2.2 Medidor de estabilidad	29
Figura 2.3 Medidor de fluencia.....	30
Figura 3.1 Ubicación y recolección de agregados pétreos	33
Figura 3.2 Cemento asfaltico (85-100)	34
Figura 3.3 Resina de poliéster más catalizador	36
Figura 3.4 Una vez seco el material procedemos a pasar con el rodillo	37
Figura 3.5 Tamizado mediante el equipo de ROP-TAP	38
Figura 3.6 Gráfica Curva Granulométrica del agregado grueso (grava).....	39
Figura 3.7 Gráfica Curva granulométrica del agregado medio (gravilla).....	40
Figura 3.8 Gráfica Curva granulométrica del agregado fino (arena).....	41
Figura 3.9 Lavar y dejar saturar con agua por 24 horas el agregado retenido en el tamiz N° 4	42
Figura 3.10 Peso del material superficialmente seco	42
Figura 3.11 Obtención del peso sumergido.....	43
Figura 3.12 Lavar y dejar saturar en agua por 24 horas.....	44
Figura 3.13 Secado superficial con secadora	45
Figura 3.14 Colocar en un matraz de 500 gr de material y llenar agua y pesar	45
Figura 3.15 Sacar la muestra del matraz y dejar secar en el horno para posteriormente pesar.....	45
Figura 3.16 Material y equipo necesario para el ensayo	50
Figura 3.17 Colocar el material y golpear en la parte baja del cilindro para evitar burbujas de aire y dejar reposar por 10 minutos	50
Figura 3.18 Una vez transcurrido el tiempo los 20 minutos, lecturar y obtener datos.....	51
Figura 3.19 Lavar y secar en el horno a una temperatura de 105-100°C el material antes de introducir en la máquina de los ángeles.....	53
Figura 3.20 Pesar los materiales retenidos en las cantidades del método que	53
Figura 3.21 Introducir la muestra y las cargas abrasivas en la máquina de los Ángeles.	54
Figura 3.22 Sacar el material y las cargas abrasivas.	54

Figura 3.23 Tamizar la muestra por el tamiz N° 12 luego lavar y dejar al horno a secar y pesar.....	55
Figura 3.24 Colocamos el betún en las taras.....	58
Figura 3.25 Colocamos las muestras en baño maría por 25° C por 30 min.	58
Figura 3.26 Realizamos el ensayo teniendo en cuenta que este limpia la aguja.	59
Figura 3.27 Armado engrasado de los platos de base y los moldes	60
Figura 3.28 Verter el cemento asfáltico en los moldes y dejar enfriar después poner en baño María.....	60
Figura 3.29 Con una espátula enraizar los moldes para luego realizar el ensayo	61
Figura 3.30 Muestra en la copa Cleveland.....	62
Figura 3.31 Muestra en ensayo pasando la llama de fuego.....	62
Figura 3.32 Verter el cemento asfáltico en los anillos y dejar enfriar	63
Figura 3.33 Poner los anillos en el poseedor y colocar hielo alrededor del vaso para poder bajar la temperatura hasta las 5°C	64
Figura 3.34 Alcanzada la temperatura de 5°C colocar las guías centradoras y las bolas de acero y calentar.....	64
Figura 3.35 Pesamos y calibramos los picnómetros	65
Figura 3.36 Verter el cemento asfáltico en los picnómetros	66
Figura 3.37 Llenar con agua destilada cada uno de los picnómetros y dejar en baño maría por 30 min sacar y pesar.....	66
Figura 3.38 Pesamos el filler natural y de masilla plástica para realizar la practica.....	68
Figura 3.39 Vaciar el material en los tamices	68
Figura 3.42 Materiales a ser utilizados para la calibración del frasco volumétrica	71
Figura 3.43 Gráfica Curva de calibración	72
Figura 3.44 Pesamos 80 gramos de filler natural y de masilla plástica para realizar la practica	73
Figura 3.45 Introducimos el agua destilada luego procedemos a introducir el filler.....	73
Figura 3.46 Poner en baño maria la muestra del filler introducida en el matraz luego pesar y hacer variar las temperaturas de 30 a 15°C	74
Figura 3.47 Luego procedemos a tomar su peso respectivamente.....	74
Figura 3.48 Separación de los agregados por tamaño para armar la granulometría	79

Figura 3.49 Pesar los agregados en cantidades necesarias.....	80
Figura 3.50 Una vez calientes a las temperaturas determinadas mezclar	80
Figura 3.51 Compactamos con 75 golpes cada lado, desmoldar y dejar enfriar.....	81
Figura 3.53 Medir sus alturas y pesar en estado seco al aire libre	85
Figura 3.54 Sumergir las briquetas en agua durante 5 min a 25° C y después determinar el peso sumergido en agua.....	85
Figura 3.55 Pesar las briquetas saturadas con superficie seca	86
Figura 3.56 Poner en baño María a 60°C por 35 min para cada una.....	86
Figura 3.57 Colocar las briquetas en la mordaza y lectura del dial de estabilidad (dentro del anillo Marshall) y el dial de deformación para el flujo	87
Figura 4.1 Gráfica Estabilidad vs % Cemento asfáltico	93
Figura 4.2 Gráfica Fluencia vs % C.A.	93
Figura 4.3 Gráfica Densidad vs C.A.	94
Figura 4.4 Gráfica 1% de vacíos vs % de C.A.....	94
Figura 4.5 Gráfica V.A.M vs C.A.	95
Figura 4.6 Gráfica R.B.V vs % de C.A.	95
Figura 4.7 Gráfica Porcentaje de filler natural vs filler masilla plástica.....	98
Figura 4.8 Gráfica Porcentaje de filler natural vs filler masilla plástica.....	99