

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TALCO INDUSTRIAL UTILIZADO
COMO FILLER EN LA RESISTENCIA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS”**

POR:

CRISTIAN ROCHA URZAGASTE

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

SEMESTRE II -2024

TARIJA - BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TALCO INDUSTRIAL UTILIZADO
COMO FILLER EN LA RESISTENCIA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS”**

POR:

CRISTIAN ROCHA URZAGASTE

Proyecto elaborado en la asignatura:

CIV – 502 PROYECTO DE INGENIERIA CIVIL II

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

SEMESTRE II -2024

TARIJA – BOLIVIA

Dedicatoria:

A mi querida hija Zoe Mahelet, quien ha sido mi fuente inagotable de inspiración y motivación. Tu amor, tu curiosidad y tu alegría han iluminado cada paso de este viaje académico. También quiero dedicar este trabajo a mis queridos padres, Rene Rocha y Paola Urzagaste, cuyo amor, apoyo y sacrificio han sido la base de todo lo que he logrado. A ustedes, que me han enseñado el valor del trabajo arduo y la perseverancia, les dedico este logro con profundo agradecimiento.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

	Página
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Justificación.....	3
1.3.1 Justificación académica.....	3
1.3.2 Justificación sobre la aplicación técnica - practica	3
1.3.3 Justificación e importancia social	3
1.4 Planteamiento del problema	4
1.4.1 Situación problemática.....	4
1.4.2 Delimitación del espacio.....	4
1.4.3 Delimitación temporal.....	4
1.4.4 Formulación del problema	5
1.5 Objetivos de la investigación	6
1.5.1 Objetivo General	6
1.5.2 Objetivos Específicos.....	6
1.6 Hipótesis.....	6
1.7 Conceptualización y operacionalización de variables	6
1.8 Alcance y tipo de la investigación.....	7

CAPÍTULO II
ESTADO DE CONOCIMIENTO

	Página
2.1 Marco conceptual	8
2.1.2 Pavimentos flexibles	9
2.1.3 Componentes de un pavimento asfáltico	9
2.1.4 Capa de rodadura	10
2.1.5 Componentes de una mezcla asfáltica	11
2.1.5.1 Agregados.....	11
2.1.5.2 Asfalto	12
2.1.6 Características de la mezcla	12
2.1.6.1 Densidad.....	12
2.1.6.2 Vacíos de aire (o simplemente vacíos).....	13
2.1.6.3 Vacíos en el agregado mineral.....	13
2.1.6.4 Contenido de asfalto.....	14
2.1.7 Propiedades consideradas en el diseño de mezclas.....	15
2.1.7.1 Estabilidad.....	16
2.1.7.2 Durabilidad.....	17
2.1.7.3 Impermeabilidad	18
2.1.7.4 Trabajabilidad.....	19
2.1.7.5 Flexibilidad	20
2.1.7.6 Resistencia a la fatiga.....	21
2.1.7.7 Resistencia al deslizamiento	21
2.1.8 Uso de aditivos en el asfalto	23

2.1.8.1 Caucho en asfalto	23
2.1.8.2 Siliconas	23
2.1.8.3 Cal hidratada	24
2.1.8.4 Talco industrial.....	24
2.1.9 Método Marshall de diseño de mezclas - descripción	27
2.1.9.1 Preparación para efectuar los procedimientos Marshall	27
2.1.9.2 Selección de las muestras de material.....	27
2.1.9.3 Preparación del agregado	28
2.1.9.4 Secado del Agregado.....	28
2.1.9.5 Análisis granulométrico por vía húmeda	28
2.1.9.6 Determinación del peso específico.....	29
2.1.9.7 Preparación de las muestras (probetas) de ensayo	29
2.1.10 Procedimiento de ensayo Marshall	30
2.1.10.1 Determinación del peso específico total	30
2.1.10.2 Ensayo de estabilidad y fluencia.....	31
2.1.10.3 Valor de estabilidad Marshall.....	31
2.1.10.4 Valor de fluencia Marshall	32
2.1.10.5 Análisis de densidad y vacíos.....	32
2.1.10.6 Análisis de vacíos.....	32
2.1.10.7 Análisis de peso unitario	32
2.1.10.8 Análisis de V.A.M.	33
2.1.10.9 Análisis de R.B.V.	33
2.2 Marco Normativo.....	33
2.2.1 Normativa sobre mezclas asfálticas vigente (ABC)	33

2.2.2. Norma ASTM.....	34
2.3 Marco referencial	35
2.4 Análisis del aporte teórico.....	37

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

	Página
3.1 Criterios del diseño metodológico	38
3.1.1 Unidad de muestra	38
3.1.2 Población.....	38
3.1.3 Muestra.....	38
3.1.4 Tamaño de la muestra.....	38
3.1.5 Control y validación interna.....	40
3.1.6 Caracterización de los materiales.....	40
3.1.6.1 Criterios de extracción	40
3.2 Características de los materiales de investigación	44
3.2.1 Ficha técnica del talco industrial.....	44
3.2.2 Ficha técnica del cemento asfáltico Multinsa 85-100	45
3.3 Caracterización de los materiales.....	46
3.3.1 Ensayo de granulometría (AASHTO T-27) (ASTM C-136).....	46
3.3.2 Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados gruesos (ASTM C 127 AASHTO T85).	51
3.3.3 Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados finos (ASTM C 128 AASHTO T84).....	52
3.3.4 Ensayo para determinar el desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM C 131 AASHTO T96).	53

3.3.5 Ensayo de porcentaje de caras fracturadas (ASTM D-5821).....	56
3.3.6 Determinación del peso específico de los suelos (ASTM D-854 AASHTO T-100).....	56
3.3.7 Ensayo de equivalente de arena (ASTM D-2419 AASHTO T-176).	59
3.3.8 Método de ensayo de penetración (ASTM D 5 AASHTO T49-97).....	60
3.3.9 Método para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO T79-96).	60
3.3.10 Método de ensayo para determinar la viscosidad Saybolt-Furol (ASTM E 102 AASHTO T 72).	61
3.3.11 Método para determinar la densidad (ASTM D71 AASHTO T229-97).....	62
3.3.12 Método para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D 36 AASHTO T53-96).....	63
3.3.13 Método para determinar la ductilidad (ASTM D 113 AASHTO T51-00).....	64
3.4.1 Resultados del levantamiento de información	64
3.4.1.1 Agregados Pétreos.....	64
3.4.1.2 Cemento asfáltico.....	65
3.4.2 Combinación de agregados	66
3.4.3 Dosificación para tres agregados: método analítico	66
3.5 Contenido mínimo del cemento asfáltico.....	72
3.5.1 Método del área superficial.....	72
3.6 Contenido óptimo de cemento asfáltico.....	74
3.6.1 Dosificación de la mezcla asfáltica.....	75
3.6.2 Dosificación con variación del porcentaje de cemento asfáltico	76
3.6.3 Desarrollo de la elaboración de briquetas	76

3.7 Procedimiento de ensayo Marshall	80
3.7.1 Método de prueba estándar para espesor o altura de la briqueta de ensayo (ASTM D-3549).....	80
3.7.2 Método de prueba estándar del peso específico total (ASTM D-2726).....	81
3.7.3 Método de prueba estándar para estabilidad Marshall y flujo de mezclas asfálticas (ASTM D-6927).....	82
3.8 Proceso de cálculo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional.....	83
3.8.1 Identificación de briquetas.	83
3.8.2 Espesor o altura de las briquetas.	83
3.8.3 Base de mezcla y agregado.	84
3.8.4 Peso de la briqueta	85
3.8.4.1 Peso de la briqueta en estado seco.	85
3.8.4.2 Peso de la briqueta en estado saturado superficialmente seco.	85
3.8.4.3 Peso de la briqueta sumergida en el agua.	85
3.8.5 Volumen de la briqueta.....	86
3.8.6 Densidad de la briqueta.....	86
3.8.6.1 Densidad real de la briqueta.....	86
3.8.6.2 Densidad máxima teórica de la briqueta.	87
3.8.7 Porcentaje de vacíos.....	87
3.8.7.1 Porcentaje de vacíos de la mezcla (V_v).	87
3.8.7.2 Porcentaje de vacíos de los agregados minerales (V.A.M.).	87
3.8.8 Estabilidad y fluencia.....	88
3.9 Resultados del diseño de la mezcla asfáltica convencional para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico.	89

3.10 Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico.....	90
3.11 Elaboración de briquetas con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico y reemplazando el filler convencional por talco industrial.....	92
3.12 Elaboración de briquetas con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico añadiendo el filler convencional.....	98

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE DATOS OBSERVADOS

	Página
4.1 Análisis y resultados de una mezcla asfáltica convencional y una modificada	104
4.1.1 Densidad vs filler	104
4.1.2 Estabilidad vs filler	105
4.1.3 Fluencia	106
4.1.4 Vacíos de agregado mineral (V.A.M.) vs % filler	107
4.1.5 Relación betumen vacíos R.B.V. (%) vs % filler	108
4.1.6 Porcentaje de vacíos % vs % filler.....	109
4.2 Organización de resultados	110
4.3 Estadística descriptiva del ensayo de estabilidad.....	114
4.4 Estadística inferencial	117
4.5 Estadística descriptiva del ensayo de fluencia	119
4.6 Estadística inferencial	122
4.7 Especificación técnica.....	124
4.7.1 Concepto de objeto de investigación	124
4.7.2 Materiales y equipo	124
4.7.2.1 Materiales utilizados en la investigación	124
4.7.2.2 Equipo utilizado para la investigación	125

4.7.3 Procedimiento y rango de medición.....	126
4.7.4 Medición de la variable.....	127
4.7.5 Forma de cubicación	127
4.7.6 Costo de aplicación	127
4.6 Análisis de precios unitarios de una carpeta asfáltica convencional.....	129
4.7 Comparación de precios unitarios entre una carpeta asfáltica modificada y una convencional.....	130

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1 Conclusiones	131
5.2 Recomendaciones.....	132

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.

ANEXO II CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO.

ANEXO III DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

ANEXO IV CARTAS DE SOLICITUD.

ANEXO V REPORTE FOTOGRÁFICO.

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1: Línea del tiempo del proyecto desarrollado.	4
Tabla 1.2: Operacionalización de variables.	7
Tabla 2.1: Causas y efecto de la inestabilidad en el pavimento.	17
Tabla 2.2: Causas y efecto de un poco durabilidad.	18
Tabla 2.3: Causas y efecto de la permeabilidad.	19
Tabla 2.4: Causas y efecto de problemas en la estabilidad.	20
Tabla 2.5: Causas y efecto de una mala resistencia a la fatiga.	21
Tabla 2.6: Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento.	22
Tabla 2.7: Normas aplicadas para la caracterización del agregado pétreo.	34
Tabla 2.8: Normas aplicadas para la caracterización del cemento asfáltico.	34
Tabla 2.9: Criterio de diseño de mezclas Marshall.	35
Tabla 3.1: Cálculo de muestra estratificada.	39
Tabla 3.2: Datos de los ensayos realizados de la grava 3/4".	46
Tabla 3.3: Datos de los ensayos realizados de la gravilla 3/8".	47
Tabla 3.4: Datos de los ensayos realizados de la arena.	47
Tabla 3.5: Granulometría – agregado grueso (grava 3/4").	48
Tabla 3.6 Granulometría – agregado grueso (gravilla 3/8").	49
Tabla 3.7: Granulometría – agregado fino (arena).	50
Tabla 3.8: Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso grava 3/4".	51
Tabla 3.9: Resultados del ensayo de peso específico para grava 3/4".	52
Tabla 3.10: Datos del ensayo de peso específico de agregado grueso gravilla 3/8".	52
Tabla 3.11: Resultados del ensayo peso específico de agregado grueso gravilla 3/8".	52

Tabla 3.12: Datos obtenidos del ensayo peso específico para agregado fino.	53
Tabla 3.13: Resultados del ensayo de peso específico para agregado fino.	53
Tabla 3.14: Tabla ASTM C-131 según el tamaño de material que se tenga.	53
Tabla 3.15: Datos del ensayo de desgaste para la grava 3/4".....	54
Tabla 3.16: Datos del ensayo de desgaste para la gravilla 3/8".	55
Tabla 3.17: Datos del ensayo de caras fracturadas.....	56
Tabla 3.18: Resultados del ensayo de caras fracturadas.	56
Tabla 3.19: Datos de la calibración de frasco volumétrico.	57
Tabla 3.20: Datos y resultados del ensayo de peso específico de filler convencional.	58
Tabla 3.21: Datos y resultados del ensayo de peso específico de filler talco industrial. .	58
Tabla 3.22: Datos del ensayo equivalente de arena.....	59
Tabla 3.23: Resultados del ensayo equivalente de arena.	59
Tabla 3.24: Datos del ensayo de penetración del cemento asfáltico 85-100.....	60
Tabla 3.25: Datos del ensayo punto de inflamación.	61
Tabla 3.26: Datos del ensayo viscosidad Saybolt-furol.	61
Tabla 3.27: Datos del ensayo peso específico.	62
Tabla 3.28: Resultados del ensayo peso específico.....	63
Tabla 3.29: Datos del ensayo punto de ablandamiento.	63
Tabla 3.30: Datos del ensayo de ductilidad.....	64
Tabla 3.31: Resultados de la caracterización de los agregados pétreos.	64
Tabla 3.32: Resultados de la caracterización del cemento asfáltico.	65
Tabla 3.33: Promedio de granulometría de agregados pétreos.	66
Tabla 3.34: Combinación granulométrica del agregado grueso.....	67
Tabla 3.35: Granulometría del agregado fino (arena).	68

Tabla 3.56: Datos obtenidos del ensayo Marshall de mezclas asfálticas con filler convencional.....	99
Tabla 3.57: Resultados del ensayo Marshall las mezclas asfálticas con porcentaje de filler convencional.....	100
Tabla 3.58: Resultados de las gráficas del ensayo Marshall para el contenido óptimo de filler convencional.	102
Tabla 4.1: Resultado del contenido óptimo de filler talco industrial.	110
Tabla 4.2: Resultado del contenido óptimo de filler convencional.....	110
Tabla 4.3: Resultados del ensayo de estabilidad con un porcentaje de 4.12% de filler talco industrial.....	112
Tabla 4.4: Resultados del ensayo de fluencia con un porcentaje de 4.12% de filler talco industrial.....	113
Tabla 4.5: Datos del ensayo de estabilidad al 4.12% de filler talco industrial.....	114
Tabla 4.6: Cálculo de frecuencia absoluta y relativa.....	115
Tabla 4.7: Resultados de cálculos de medias de tendencia central de los ensayos de estabilidad al 4.12% de filler talco industrial.	116
Tabla 4.8: Cálculo de error medido de la media.	117
Tabla 4.9: Cálculo del rango de confianza.	117
Tabla 4.10: Prueba de hipótesis por el método T de Student.	118
Tabla 4.11: Datos del ensayo de estabilidad al 4.12% de filler talco industrial.....	119
Tabla 4.12: Cálculo de frecuencia absoluta y relativa.....	120
Tabla 4.13: Resultados de cálculos de medias de tendencia central de los ensayos de estabilidad al 4.12% de filler talco industrial.	121
Tabla 4.14: Cálculo de error medido de la media.	122
Tabla 4.15: Cálculo del rango de confianza.	122
Tabla 4.16: Prueba de hipótesis por el método T de Student.	123

Tabla 4.17: Análisis de precios unitarios de una carpeta asfáltica modificada. 128

Tabla 4.18: Análisis de precios unitarios de una carpeta asfáltica convencional. 129

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1: Componentes principales de pavimento asfáltico.	10
Figura 3.1: Ubicación de la comunidad San Mateo.	41
Figura 3.2: Ubicación de la Chancadora Garzon.	41
Figura 3.3: Ubicación de Fibra Center Moreno.	42
Figura 3.4: Ubicación de la posta municipal.....	43
Figura 3.5: Ficha técnica del talco industrial.	44
Figura 3.6: Ficha técnica del cemento asfáltico Multinsa 85-100.	45
Figura 3.7: Mezclado del agregado con cemento asfáltico y lectura de la temperatura. .	78
Figura 3.8: Compactación de la briqueta con el martillo Marshall mecánico.	78
Figura 3.9: Proceso de desmolde de la briqueta.....	79
Figura 3.10: Reposo de briquetas según su porcentaje de cemento asfáltico.	79
Figura 3.11: Marcado y medición de altura de la briqueta.....	80
Figura 3.12: Determinación del peso seco y sumergido en agua.	81
Figura 3.13 Colocación de briqueta al equipo Marshall y ruptura.....	83
Figura 3.14: Pesaje del cemento asfáltico y del agregado para realizar briquetas.	94
Figura 3.15: Ruptura de briquetas.	99
Figura 4.1: Área de rechazo de la hipótesis.	118
Figura 4.2: Área de rechazo de la hipótesis	123

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 3.1: Curva granulométrica – grava.....	49
Gráfico 3.2: Curva granulométrica – gravilla.	50
Gráfico 3.3: Curva granulométrica – arena.....	51
Gráfico 3.4: Curva de calibración del frasco volumétrico.	57
Gráfico 3.5: Curva granulométrica formada.	72
Gráfico 3.6: Porcentaje de cemento asfáltico vs densidad.....	90
Gráfico 3.7: Porcentaje de cemento asfáltico vs estabilidad corregida.....	90
Gráfico 3.8: Porcentaje de cemento asfáltico vs % de vacíos respecto a la mezcla total.	90
Gráfico 3.9: Porcentaje de cemento asfáltico vs fluencia.	91
Gráfico 3.10: Porcentaje de cemento asfáltico vs relación betumen vacíos (R.B.V.).....	92
Gráfico 3.11: Porcentaje de cemento asfáltico vs vacíos del agregado mineral (V.A.M.).....	92
Gráfico 3.12: Densidad vs filler.	96
Gráfico 3.13: Estabilidad vs filler.	96
Gráfico 3.14: Porcentaje de vacíos de mezcla vs filler.	96
Gráfico 3.15: Fluencia vs filler.....	97
Gráfico 3.16: R.B.V. vs filler.....	98
Gráfico 3.17: V.A.M. vs filler.....	98
Gráfico 3.18: Densidad vs filler.	101
Gráfico 3.19: Estabilidad corregida vs filler.	101
Gráfico 3.20: Porcentaje de vacíos de mezcla vs filler.	101
Gráfico 3.21: Fluencia vs filler.....	102

Gráfico 3.22: Relación betumen vacíos (R.B.V.) vs filler.....	103
Gráfico 3.23: Vacíos de agregado mineral (V.A.M.) vs filler.....	103
Gráfico 4.1: Densidad vs filler.	104
Gráfico 4.2: Estabilidad vs filler.	105
Gráfico 4.3: Fluencia vs filler.....	106
Gráfico 4.4: V.A.M. vs % filler.	107
Gráfica 4.5: R.B.V. vs % filler.	108
Gráfico 4.6: Porcentaje de vacíos vs % filler.....	109
Gráfico 4.7: Propiedades de las mezclas asfálticas: filler optimo convencional vs filler optimo talco industrial.....	111
Gráfico 4.8: Determinación del histograma y polígono de frecuencias.....	115
Gráfico 4.9: Determinación de la curva de frecuencia acumulada.	116
Gráfico 4.10: Determinación del histograma y polígono de frecuencias.....	120
Gráfico 4.11: Determinación de la curva de frecuencia acumulada.	121
Gráfico 4.12: Comparación de precio de carpeta asfáltica	130