

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



**“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LA VISCOSIDAD DE LOS  
ASFALTOS DILUIDOS DISPUESTOS EN PAVIMENTOS  
FLEXIBLES”**

**Por:**

**IVÁN ÁLVARO CHÁVEZ VILLCA**

Proyecto de grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar por el grado académico de licenciatura en INGENIERÍA CIVIL.

**SEMESTRE II-2023**

**TARIJA-BOLIVIA**

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

**“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LA VISCOSIDAD DE LOS  
ASFALTOS DILUIDOS DISPUESTOS EN PAVIMENTOS  
FLEXIBLES”**

**Por:**

**IVÁN ÁLVARO CHÁVEZ VILLCA**

Proyecto de grado presentado a consideración de la **“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”** como requisito para optar por el grado académico de licenciatura en INGENIERÍA CIVIL.

**PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV-502  
PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL II**

**SEMESTRE II-2023  
TARIJA-BOLIVIA**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo se le dedico a mi familia y a todas aquellas personas que han creído en mí siempre dándome ejemplo de superación humildad y sacrificio, enseñándome a valorar todo lo que tengo. Espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo.

También le dedico a mi hija Avril quien ha sido mayor motivación y orgullo para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo para ella.

**ÍNDICE GENERAL**  
**CAPITULO I**  
**GENERALIDADES**

	<b>Página</b>
1.1 INTRODUCCION .....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1 Situación problemática.....	2
1.2.2 Formulación del problema .....	2
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.3.1 Objetivo General. ....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y SUS VARIABLES.....	3
1.4.1 Formulación de la Hipótesis.....	3
1.5 IDENTIFICACIÓN Y CONCEPTUALIZACIÓN DE VARIABLES. ....	3
1.5.1 Variable independiente.....	3
1.5.2 Variable dependiente.....	3
1.5.3 Operacionalización de las variables. ....	3
1.6 ALCANCE DE LA INVESTIGACION .....	5
1.7 DISEÑO METODOLOGICO DE LA INVESTIGACION .....	5
1.8 CRITERIOS DE DISEÑO METODOLÓGICO .....	6
1.8.1 Unidad de muestra, población y muestra: .....	6
1.9 TAMAÑO DE MUESTRA.....	6

**CAPITULO II**  
**LA VISCOSIDAD DE LOS ASFALTOS DILUIDOS DISPUESTOS EN LOS**  
**TRATAMIENTOS SUPERFICIALES**

	<b>Página</b>
2.1 PAVIMENTOS .....	8
2.2 Pavimentos flexibles .....	8
2.2.1 Funciones de las capas de un pavimento flexible .....	9
2.3 MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	12
2.3.1 Ensayos de diseño preliminar.....	13
2.3.2 Ensayos de aceptación de materiales.....	13
2.3.3 Ensayos de producción de la mezcla.....	14
2.3.4 Ensayos de rutina para control de la construcción .....	14
2.4 TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POR SU MÉTODO DE ELABORACIÓN .....	14
2.4.1 Mezclas asfálticas en Frío: .....	15
2.4.1.1 Tratamientos asfálticos superficiales.....	17
2.4.1.1.1 Tipos de tratamientos superficiales .....	17
2.4.1.1.2 Usos de los tratamientos superficiales.....	18
2.4.2 Materiales .....	19
2.4.2.1 Asfaltos.....	19
2.4.2.1.1 Obtención y tipos.....	20
2.4.2.1.2 Asfaltos derivados del petróleo .....	20
2.4.2.2 Propiedades del asfalto.....	22
A. Propiedades químicas.....	22
B. Propiedades físicas .....	23

2.4.2.3	Clasificación de los asfaltos .....	26
2.4.2.3.1	Cemento asfáltico .....	27
2.4.2.3.2	Asfaltos diluidos.....	27
2.4.2.3.3	Asfaltos emulsificado .....	34
2.4.2.3.4	Asfaltos oxidados .....	35
2.4.2.4	Función del asfalto en los pavimentos .....	35
2.4.3	Agregados.....	37
2.5	DOSIFICACIONES .....	40
2.6	MÉTODO DE DISEÑO .....	42
2.6.1	Método práctico.....	47
2.6.2	Métodos empíricos de cálculo.....	48
2.6.2.1	Método del centro de investigación de carreteras de Bélgica .....	48
2.6.2.2	Método de Linckheney o Regla del Decimo .....	50
2.6.2.3	Método de Mc Leod .....	51
2.7	MÉTODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS.....	55
2.7.1	Pruebas a las mezclas asfálticas compactadas.....	55
2.7.2	Determinación de la gravedad específica.....	55
2.7.3	Prueba de estabilidad y flujo .....	56
2.7.4	Análisis de densidad y vacíos.....	56
2.7.5	Parámetros volumétricos .....	57
2.8	VISCOSIDAD.....	58

**CAPITULO III**  
**APLICACIÓN DE LA PRACTICA**

	<b>Página</b>
3.1 PROCEDENCIA DE LOS AGREGADOS PETREOS.....	60
3.1.1 Muestreo.....	60
3.2 PROCEDENCIA CEMENTO ASFALTICO PARA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE.....	61
3.3 TRABAJO DE LABORATORIO PARA EL CEMENTO ASFALTICO.....	61
3.3.1 Penetración.....	63
3.3.2 Viscosidad Saybolt Furol.....	64
3.3.3 Ensayo de película delgada en horno (TFP).....	65
3.3.4 Ductilidad.....	66
3.3.5 Peso específico.....	67
3.3.6 Punto de ablandamiento.....	68
3.3.7 Ensayo punto de inflamacion.....	69
3.4 TRABAJO DE LABORATORIO PARA EL ASFALTO DILUIDO.....	71
3.4.1 Ensayo de destilación asfalto diluido MC-800, MC-70.....	72
3.4.2 Ensayo de punto de inflamación MC-800, MC-70.....	72
3.4.3 Ensayo de viscosidad MC-800, MC-70.....	73
3.4.4 Ensayo de penetración del residuo asfaltico MC-800.....	73
3.4.5 Ensayo de penetración del residuo asfaltico MC-70.....	73
3.4.6 Ensayo de ductilidad del residuo asfalticoMC-800, MC-70.....	74
3.4.7 Ensayo de adherencia MC-800, MC-70.....	74

3.5	TRABAJO DE LABORATORIO PARA AGREGADOS PETREOS TRATAMIENTOS ASFALTICOS SUPERFICIALES.....	75
3.5.1	Ensayos de los agregados pétreos para tratamiento asfáltico superficial .....	76
3.5.1.1	Análisis granulométrico .....	76
3.5.1.2	Peso específico .....	77
3.5.1.2.1	Peso específico del agregado tipo “B” y “D” .....	77
3.5.1.3	Peso unitario suelto y compactado .....	79
3.5.1.3.1	Peso unitario suelto y compactado del agregado tipo “B” .....	79
3.5.1.3.2	Peso unitario suelto y compactado del agregado tipo “D” .....	79
3.5.1.3.3	Peso unitario suelto y compactado del agregado tipo “E” .....	80
3.5.1.4	Resistencia a la desintegración por abrasión mecánica.....	81
3.5.1.4.1	Resistencia al desgaste por abrasión agregado tipo “B” .....	81
3.5.1.4.2	Resistencia al desgaste agregado tipo “C” .....	81
3.5.1.5	Ensayo de resistencia a los sulfatos.....	82
3.5.1.5.1	Resistencia a los sulfatos agregado tipo “B” .....	82
3.5.1.5.2	Resistencia a los sulfatos agregados tipo “D” .....	82
3.5.1.6	Determinación del índice laminar .....	83
3.5.1.6.1	Índice de laminaridad agregado pétreo tipo “B” .....	83
3.5.1.6.2	Índice de laminaridad agregado pétreo tipo “D” .....	83
3.5.1.6.3	Índice de laminaridad agregado pétreo tipo “E” .....	84
3.5.1.7	Determinación del índice de alargamiento.....	84
3.5.1.7.1	Índice de alargamiento agregado pétreo tipo “B” .....	85
3.5.1.7.2	Índice de alargamiento agregado pétreo tipo “D” .....	85
3.5.1.8	Determinación de caras fracturadas .....	86



3.5.1.8.1	Evaluación de dos caras fracturadas.....	86
3.6	DISEÑO DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL TRIPLE.....	87
3.6.1	Diseño tratamiento superficial triple con Asfalto Diluido MC - 70.....	87
3.6.2	Diseño tratamiento superficial triple con Asfalto Diluido MC - 800.....	95
3.6.3	Diseño de un tratamiento superficial triple por el método de investigación de carreteras (Bélgica) .....	103
3.6.4	Diseño de un tratamiento superficial triple por el método Linckenhey o Regla de tres .....	106
3.7	COSTO DE APLICACIÓN DE UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL TRIPLE CON ASFALTO DILUIDO.....	110
3.7.1	Costo de aplicación de tratamiento superficial triple con el asfalto diluido MC-800.....	110
3.7.2	Costo de aplicación de tratamiento superficial triple con el asfalto diluido MC-70.....	112
3.8	APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL TRIPLE POR EL MÉTODO DE MARSHALL.....	114
3.8.1	Granulometría de la mezcla.....	115
3.8.2	Preparación de las probetas .....	116
3.8.3	Ensayo de densidad del tratamiento superficial triple con la inclusión del asfalto diluido .....	119
3.8.4	Ensayos para determinar los porcentajes de vacío del tratamiento superficail triple con asfalto diluido.....	121
3.8.5	Ensayos de estabilidad y fluencia del tratamiento superficial triple con asfalto diluido .....	122

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

	<b>Página</b>
4.1 ANÁLISIS DE LA VISCOSIDAD SEGÚN EL PORCENTAJE DE SOLVENTE .....	125
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO DE LOS AGREGADOS .....	127
4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO DEL ASFALTO DILUIDO .....	130
4.4 ANÁLISIS DE LOS PARAMETROS DEL MATERIAL BITUMINOSO USADOS PARA EL DISEÑO DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL POR EL METODO DE MC LEOD.....	132
4.5 ANÁLISIS TÉCNICO .....	133
4.6 ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL TRIPLE MEDIANTE EL METODO MARSHALL .....	136
4.7 ANÁLISIS ECONÓMICO .....	140
4.8 ANÁLISIS COMPARATIVO .....	141

**CAPITULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	<b>Página</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	143
5.2 RECOMENDACIONES .....	146

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ANEXO I. Reporte Fotográfico

ANEXO II. Ensayos de laboratorio

ANEXO III. Cartas de solicitud

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 2.1: Paquete estructural de un pavimento .....	8
Figura 2.2: Estructura de un pavimento flexible .....	9
Figura 2.3: Proceso de refinación del petróleo para la obtención del asfalto .....	21
Figura 2.4: Variación de la viscosidad con temperatura de dos asfaltos graduados por penetración .....	24
Figura 2.5: Variación de la viscosidad con temperatura de dos asfaltos graduados por viscosidad .....	25
Figura 2.6: Endurecimiento del asfalto después de expuesto a altas temperaturas.....	26
Figura 2.7: Esquema de producción de los asfaltos diluidos .....	28
Figura 2.8: Controles de calidad de los asfaltos diluidos.....	32
Figura 2.9: Las partículas planas son recubiertas cuando se usa suficiente asfalto para sujetar las partículas cubicas.....	39
Figura 2.10: Partícula de agregado.....	42
Figura 2.11: Adherencia entre partículas .....	42
Figura 2.12: Partículas del agregado tendidas por el espaciador, apoyadas en posición desarreglada .....	43
Figura 2.13: Partículas después de haber sido asentadas por el tránsito, apoyadas sobre sus caras más planas .....	43
Figura 2.14: Carta para determinar el promedio de la dimensión menor del agregado .....	45
Figura 3.15: Ensayo de penetración .....	63
Figura 3.16: Factor de transito .....	88
Figura 3.17: Factor de desperdicio.....	88
Figura 3.18: Factor de absorción del árido.....	88
Figura 3.19: Corrección por textura superficial .....	89
Figura 3.20: Factor de transito .....	90
Figura 3.21: Factor de desperdicio.....	91

Figura 3.22: Factor de absorción del agregado .....	91
Figura 3.23: Corrección por textura superficial .....	91
Figura 3.24: Factor de tránsito .....	93
Figura 3.25: Factor de desperdicio.....	93
Figura 3.26: Factor de absorción del agregado .....	93
Figura 3.27: Corrección por textura superficial .....	94
Figura 3.28: Factor de tránsito .....	96
Figura 3.29: Factor de desperdicio.....	96
Figura 3.30: Factor de absorción del agregado .....	96
Figura 3.31: Corrección por textura superficial .....	97
Figura 3.32: Factor de tránsito .....	99
Figura 3.33: Factor de desperdicio.....	99
Figura 3.34: Factor de absorción del agregado .....	99
Figura 3.35: Corrección por textura superficial .....	99
Figura 3.36; Factor de tránsito .....	101
Figura 3.37: Factor de desperdicio.....	101
Figura 3.38: Factor de absorción del agregado .....	102
Figura 3.39: Corrección por textura superficial .....	102
Figura 3.40: Costo del tratamiento superficial triple con asfalto diluido MC-800 ...	111
Figura 3.41: Costo del tratamiento superficial triple con asfalto diluido MC-70 .....	113
Figura 3.42: Curva granulométrica formada con los tres agregados .....	116
Figura 4.43: Viscosidad Saybolt furol vs solvente.....	126
Figura 4.44: Densidad vs porcentaje de solvente.....	136
Figura 4.45: Porcentaje de vacíos vs porcentaje de solvente .....	136
Figura 4.46: Vacíos del agregado mineral vs porcentaje de solvente .....	137
Figura 4.47: Relación de betún vacíos vs porcentaje de solvente.....	137
Figura 4.48: Estabilidad vs porcentaje de solvente.....	138
Figura 4.49: Fluencia vs porcentaje de solvente .....	138

## ÍNDICE DE TABLA

	<b>Página</b>
Tabla 2.1: Variable Independiente .....	4
Tabla 2.2: Variable Dependiente.....	4
Tabla 2.3: Valores frecuentes de la variable estandarizada .....	6
Tabla 2.4: Guía para uso de productos asfálticos en mezcla en frío .....	16
Tabla 2.5: Composición química del asfalto.....	23
Tabla 2.6: Asfaltos diluidos de curado rápido y su porcentaje de volumen de residuo asfáltico .....	29
Tabla 2.7: Asfalto diluido de curado medio y su porcentaje de volumen de residuo asfáltico .....	30
Tabla 2.8: Asfaltos diluidos de curado lento y su porcentaje de volumen de residuo asfáltico .....	30
Tabla 2.9: Especificaciones y ensayos para asfaltos diluidos .....	32
Tabla 2.10: Factores de tráfico para tratamientos superficiales .....	47
Tabla 2.11: Factores de desperdicio o desgaste del agregado.....	52
Tabla 2.12: Factor de tráfico .....	53
Tabla 2.13: Factores por corrección de textura.....	53
Tabla 3.14: Características del cemento asfáltico .....	62
Tabla 3.15: Ensayos del cemento asfáltico .....	62
Tabla 3.16: Ensayo de penetración .....	63
Tabla 3.17: Ensayo de viscosidad Saybolt Furol .....	64
Tabla 3.18: Ensayo de la película delgada .....	65
Tabla 3.19: Ensayo de ductilidad .....	66
Tabla 3.20: Ensayo de peso específico .....	68
Tabla 3.21: Ensayo de punto de ablandamiento.....	69
Tabla 3.22: Ensayo de punto de inflamación .....	70
Tabla 3.23: Ensayos del asfalto diluido .....	71
Tabla 3.24: Ensayos del residuo asfáltico de los asfaltos diluidos .....	72
Tabla 3.25: Ensayo de destilación del asfalto diluido.....	72

Tabla 3.26: Ensayo de punto de inflamación del asfalto diluido .....	73
Tabla 3.27: Ensayo de viscosidad del asfalto dluido.....	73
Tabla 3.28: Ensayos de penetración del residuo asfaltico MC-800.....	73
Tabla 3.29: Ensayos de penetración del residuo asfaltico MC.70.....	74
Tabla 3.30: Ensayo de ductilidad del residuo asfaltico MC-800 y MC-70.....	74
Tabla 3.31: Ensayo de adherencia del residuo asfaltico MC-800 y MC-70 .....	74
Tabla 3.32: Caracterizacion de agregados para tratamientos superficiales triples.....	75
Tabla 3.33: Granulometría agregado tipo "B" .....	76
Tabla 3.34: Granulometría agregado pétreo tipo "D" .....	77
Tabla 3.35: Granulometría agregado pétreo tipo "E".....	77
Tabla 3.36: Peso específico agregado tipo "B" .....	78
Tabla 3.37: Peso específico agregado tipo "D".....	78
Tabla 3.38: Peso suelto y compactado de agregado tipo "B" .....	79
Tabla 3.39: Peso suelto y compactado de agregado tipo "D" .....	79
Tabla 3.40: Peso suelto y compactado de agregado tipo "E" .....	80
Tabla 3.41: Desgaste por abrasión o desgaste de "Los Ángeles" .....	81
Tabla 3.42: Desgaste por abrasión o desgaste de "Los Ángeles" .....	81
Tabla 3.43: Desgaste por sulfatos agregado pétreo tipo "B" .....	82
Tabla 3.44: Desgaste por sulfatos agregado pétreo tipo "D".....	82
Tabla 3.45: Índice de laminaridad agregado pétreo tipo "B" .....	83
Tabla 3.46: Índice de laminaridad agregado pétreo tipo "D".....	84
Tabla 3.47: Índice de laminaridad agregado pétreo tipo "E" .....	84
Tabla 3.48: Índice de alargamiento agregado pétreo tipo "B".....	85
Tabla 3.49: Índice de alargamiento agregado pétreo tipo "D".....	85
Tabla 3.50: Ensayo de dos caras fracturadas .....	86
Tabla 3.51: Resumen de la cantidad de agregado pétreo para el diseño del tratamiento superficial triple por tres métodos.....	109
Tabla 3.52: Resumen de la cantidad de asfalto diluido para el diseño del tratamiento superficial triple por tres métodos.....	109

Tabla 3.53: Pesos de los agregados retenidos a diferentes porcentajes .....	115
Tabla 3.54: Granulometría formada y especificaciones.....	116
Tabla 3.55: Grupos de briquetas con distintos porcentajes de solventes .....	117
Tabla 3.56: Cantidades de material para cada porcentaje de solvente en una briqueta .....	118
Tabla 3.57: Resultados de la densidad del tratamiento superficial triple.....	120
Tabla 3.58: Resultados del porcentaje de vacíos y relación de betumen vacíos del tratamiento superficial triple.....	122
Tabla 3.59: Resultados de la estabilidad y la fluencia del tratamiento superficial triple .....	124
Tabla 4.60: Dosificaciones para obtener viscosidades intermedias.....	125
Tabla 4.61: Tamaño mínimo nominal de los agregados pétreos.....	127
Tabla 4.62: Índice de laminaridad de los agregados pétreo .....	128
Tabla 4.63: Resultado de porcentaje de caras fracturadas .....	128
Tabla 4.64: Resultados al desgaste de sulfatos .....	129
Tabla 4.65: Resultados al desgaste de los ángeles .....	129
Tabla 4.66: Resultados de punto de inflamación .....	130
Tabla 4.67: Resultados de ductilidad del residuo asfáltico .....	130
Tabla 4.68: Resultado de penetración del residuo asfáltico.....	131
Tabla 4.69: Resultados de adherencia asfalto diluido-agregado.....	131
Tabla 4.70: Cantidades de asfalto diluido y agregado para cada capa del tratamiento.....	133
Tabla 4.71: Distribución de asfalto diluido MC-800 por porcentaje para cada capa del tratamiento según Mc Leod .....	134
Tabla 4.72: Distribución de asfalto diluido MC-70 por porcentaje para cada capa según del tratamiento según Mc Leod .....	134
Tabla 4.73: Costo del tratamiento superficial triple con ambos asfaltos diluidos ....	140
Tabla 4.74: Cantidad de material para cada tratamiento superficial triple .....	140
Tabla 4.75: Ventajas y desventajas del asfalto diluido MC-800.....	141
Tabla 4.76: Ventajas y desventajas del asfalto diluido MC-70.....	142



## ÍNDICE DE IMÁGENES

	<b>Página</b>
Imagen 3.1: Acopio de agregados en la alcaldía.....	60
Imagen 3.2: Ubicación de la planta GAMT .....	61
Imagen 3.3: Ensayo de penetración .....	64
Imagen 3.4: Ensayo de viscosidad Saybolt Furol .....	65
Imagen 3.5: Ensayo de película delgada .....	66
Imagen 3.6: Ensayo de ductilidad .....	67
Imagen 3.7: Ensayo de peso específico.....	68
Imagen 3.8: Ensayo de punto de ablandamiento.....	69
Imagen 3.9: Ensayo de punto de inflamación .....	70
Imagen 3,10: Peso específico agregado tipo "B" y "D" .....	78
Imagen 3.11: Peso unitario y compactado agregado tipo "B", "D" y "E".....	80
Imagen 3.12: Maquina de desgaste "Los Ángeles" .....	81
Imagen 3.13: Ensayo de desgaste de Los Ángeles.....	82
Imagen 3.14: Ensayo de resistencia a los sulfatos .....	83
Imagen 3.15: Ensayo de laminaridad agregado pétreo tipo "B", "D" y "E" .....	84
Imagen 3.16: Ensayo de laminaridad agregado pétreo tipo "B", "D" .....	85
Imagen 3.17: Ensayo de caras fracturadas .....	86
Imagen 3.18: Preparación del material para realizar el pesado de las cantidades de agregado en las briquetas.....	118
Imagen 3.19: Calentamiento del agregado e inclusión del solvente al cemento asfáltico.....	119
Imagen 3.20: Ensayo para determinar la densidad del tratamiento.....	119
Imagen 3.21: Ensayo Marshall .....	123
Imagen 3.22: Briquetas con distintos porcentajes de solvente.....	139
Imagen 3.23: Mala adherencia del agregado con un asfalto diluido con alta concentración de solvente .....	139