

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



**“ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA EL MEJORAMIENTO DE
SUBRASANTES RURALES ENTRE LOS MÉTODOS DE PAVIMENTO
UNICAPA Y RIPIADO”**

Autor:

CARMEN CALLIZAYA POMA

Proyecto presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura de Ingeniería Civil.

Semestre II - 2019

TARIJA-BOLIVIA

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

**“DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE
COMUNICACIÓN”**

**“ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA EL MEJORAMIENTO DE
SUBRASANTES RURALES ENTRE LOS MÉTODOS DE PAVIMENTO
UNICAPA Y RIPIADO”**

Autor:

CARMEN CALLIZAYA POMA

Semestre II - 2019

TARIJA-BOLIVIA

.....
MSc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozalvez
DECANO FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

.....
MSc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa
VICEDECANA FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

TRIBUNAL:

.....
MSc. Ing. Moisés E. Díaz Ayarde

.....
MSc. Ing. Jhonny M. Orgaz Fernández

.....
MSc. Ing. Mabel Zambrana Velasco

El tribunal calificador del presente trabajo no se solidariza con la forma, término y expresiones vertidos en el mismo, siendo única responsabilidad de la autora.

DEDICATORIA

A mis padres por ser un pilar fundamental de mi vida, darme un apoyo incondicional ya que sin ellos no podría haber llegado donde estoy ahora. (Antonio Callizaya Viacha y Olga Poma Quino)

AGRADECIMIENTO

A Dios, por las bendiciones derramadas, a mis padres, por darme el valor, la fuerza y la razón por la cual seguir adelante. Y a mis abuelos que son angelitos que desde arriba siempre me guían (mamá Asunta, papá Marcelino, mamá Carmen y papá Alejandro)

ÍNDICE
CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

	Pag.
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. SITUACIÓN PROBLÉMICA	2
1.2.1. Problema	2
1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema.....	3
1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. HIPÓTESIS.....	5
1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	5
1.6.1. Variable independiente	5
1.6.2. Variable dependiente	6
1.7. IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN	6
1.8. UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL.....	6
1.8.1. Unidades de estudio	6
1.8.2. Población.....	7
1.8.3. Muestra	7
1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo	7
1.9. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS.....	7

1.9.1. Métodos.....	7
1.9.2. Técnicas	7
1.10. ALCANCE.....	8

CAPÍTULO II
ASPECTOS GENERALES DEL
PAVIMENO UNICAPA Y RIPIADO

	Pag.
2.1. GENERALIDADES	9
2.2. CAMINO DE DESARROLLO (RURALES).....	9
2.2.1. Mantenimiento de caminos rurales	10
2.2.1.1. Tipos de mantenimiento en caminos rurales.....	11
2.3. SUELOS.....	11
2.3.1. Origen	12
2.3.2. Depósitos del suelo natural	12
2.3.3. Composición de los suelos.....	13
2.3.4. Tamaño de las partículas de suelo	14
2.3.5. Propiedades de los suelos.....	15
2.3.6. Clasificación de los suelos	17
2.3.6.1. Sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)	18
2.3.6.1.1. Suelos granulares	18
2.3.6.1.2. Suelos finos	19
2.3.6.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	21
2.4. SUBRASANTE	21
2.4.1. Categorías de la subrasante.....	22
2.4.2. Funciones de la subrasante.....	23

2.5. RIPIADO	23
2.5.1. Materiales del ripiado	23
2.5.2. Caracterización del ripiado	24
2.5.3. Equipo	26
2.5.4. Ejecución del ripiado	26
2.5.4.1. Control de ejecución	28
2.5.5. Control geométrico	28
2.6. CEMENTO	28
2.6.1. Tipos de cemento	29
2.6.2. Especificaciones del cemento Portland.....	30
2.7. PAVIMENTO UNICAPA	31
2.7.1. Introducción	31
2.7.2. Definición	32
2.7.3. Ventajas del pavimento Unicapa	34
2.7.4. Campo de aplicación.....	35
2.7.5. Etapas para el diseño del proyecto.....	36
2.7.5.1. Suelos	36
2.7.5.2. Diseño estructural del pavimento.....	37
2.7.6. Propiedades de ingeniería de los pavimentos Unicapa	43
2.7.7. Parámetros del método de diseño estructural.....	43
2.7.8. Cálculo del espesor del pavimento Unicapa	44
2.7.9. Proceso constructivo	49
2.7.9.1. Preparación del suelo existente	49
2.7.9.2. Colocado y extendido del cemento	52
2.7.9.3. Mezcla del suelo con el cemento	54

2.7.9.4. Aplicación de agua.....	56
2.7.9.5. Compactación	60
2.7.9.6. Nivelación.....	61
2.7.9.7. Ejecución de las juntas.....	62
2.7.9.8. Curado.....	62
2.7.9.9. Apertura al tráfico	63
2.7.10. Control de calidad	63
2.7.10.1.Desempeño estructural y funcional de los pavimentos Unicapa	64
2.7.11. Costo	65
2.7.12. Experiencias en El Salvador sobre el pavimento Unicapa.....	66
2.7.13. Experiencia en otros países sobre el pavimento Unicapa	70
2.7.14. Experiencia en Bolivia sobre el pavimento Unicapa	72
2.8. MARCO NORMATIVO.....	75
2.9. ANÁLISIS Y TENDENCIAS	75
2.10. POSICIÓN DEL INVESTIGADOR.....	75

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

	Pag.
3.1. INTRODUCCIÓN	77
3.2. UBICACIÓN	77
3.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS SUBRASANTES	79
3.4. CARACTERIZACIÓN DEL RIPIADO	80
3.5. CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO.....	81
3.6. HUMEDAD ÓPTIMA DEL PAVIMENTO UNICAPA.....	81
3.6.1. Valores de la humedad óptima al 15% de cemento	86

3.7. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.....	86
3.8. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS.....	87
3.9. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE VIGAS	91
3.10. ENSAYO DE ROTURA DE PROBETAS CILÍNDRICAS A COMPRESIÓN	95
3.10.1. Valores de esfuerzo de las probetas cilíndricas	96
3.11. ENSAYO DE ROTURA DE VIGAS A FLEXIÓN	98
3.12. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS VALORES DE PRUEBA DE RESISTENCIA.....	101
3.12.1. Estadística descriptiva de pruebas de compresión	101
3.12.1.1.Muestra 1 - Carachimayo.....	101
3.12.1.2.Muestra 2 – Sella Quebrada.....	102
3.12.1.3.Muestra 3 – Sella Quebrada.....	104
3.12.2. Prueba de hipótesis de prueba de compresión	105
3.12.2.1.Prueba de hipótesis para esfuerzo de compresión de Carachimayo	105
3.12.2.2.Prueba de hipótesis para esfuerzo de compresión de Sella Quebrada	106
3.12.2.3.Prueba de hipótesis para esfuerzo de compresión de Obrajes	107
3.12.3. Estadística descriptiva de pruebas de flexión	109
3.12.3.1.Muestra 1 – Carachimayo	109
3.12.3.2.Muestra 2 – Sella Quebrada.....	110
3.12.3.3.Muestra 3 - Obrajes.....	112
3.12.4. Prueba de hipótesis de prueba de flexión.....	113
3.12.4.1.Prueba de hipótesis para esfuerzo de flexión de Carachimayo.....	113
3.12.4.2.Prueba de hipótesis para esfuerzo de flexión de Sella Quebrada.....	114
3.12.4.3.Prueba de hipótesis para esfuerzo de flexión de Obrajes.....	115

3.13. ANÁLISIS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS	116
3.13.1. Criterio técnico.....	116
3.14. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL ESFUERZO DE COMPRESIÓN	118
3.15. ANÁLISIS DE RESULTADO DE ESFUERZO A FLEXIÓN.....	123
3.16. ANÁLISIS ECONÓMICO	128
3.17. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL PAVIMENTO UNICAPA Y RIPIADO	129
3.18. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE AMBOS MÉTODOS.....	130
3.19. RECOMENDACIONES AMBIENTALES.....	132
3.19.1. Método del ripiado.....	132
3.19.2. Método del pavimento Unicapa.....	132

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Pag.
4.1. CONCLUSIONES	133
4.2. RECOMENDACIONES	137

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DEL RIPIADO

ANEXO C: CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO “EL PUENTE IP-30”

ANEXO D: CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMA + EL 15% DE CEMENTO

ANEXO E: PLANILLA DE ROTURA DE PROBETAS Y VIGAS

ANEXO F: PRECIOS UNITARIOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1 Variable independiente	5
Tabla 2 Variable dependiente.....	6
Tabla 3 Tamaños de suelo.....	14
Tabla 4 Clasificación de materiales para subrasante de carreteras según AASHTO.....	20
Tabla 5 Categorías de la subrasante	22
Tabla 6 Clasificación y composición de los cementos.....	30
Tabla 7 Clasificación según la resistencia del cemento	30
Tabla 8 Resistencia de flexión	39
Tabla 9 Resistencia a compresión.....	40
Tabla 10 Propiedades del pavimento Unicapa	43
Tabla 11 Propiedades del pavimento Unicapa del tramo Río Chiquito.....	67
Tabla 12 Propiedades del pavimento Unicapa del tramo Suchito, El Salvador.....	68
Tabla 13 Propiedades del pavimento Unicapa del tramo Managua, Nicaragua	70
Tabla 14 Propiedades del pavimento Unicapa del tramo de Guancaste, Costa Rica.....	71
Tabla 15 Propiedades del pavimento Unicapa del tramo de Chumaltenango - Guatemala.....	71
Tabla 16 Propiedades del pavimento Unicapa del tramo de Pirita, Panamá.....	72
Tabla 17 Propiedades del pavimento Unicapa del tramo de La Paz, Bolivia	73
Tabla 18 Propiedades del pavimento Unicapa del tramo Tarabuco, Chuquisaca	74
Tabla 19 Muestra 1 - Carachimayo.....	79
Tabla 20 Muestra 2 - Sella Quebrada.....	79
Tabla 21 Muestra 3 - Obrajes.....	80
Tabla 22 Caracterización del ripiado	80
Tabla 23 Caracterización del cemento	81
Tabla 24 Resumen de valores de compactación	86
Tabla 25 Valores de esfuerzo de rotura en probetas cilíndricas - Carachimayo.....	96
Tabla 26 Valores de esfuerzo de rotura en probetas cilíndricas - Sella Quebrada.....	97
Tabla 27 Valores de esfuerzo de rotura en probetas cilíndricas - Obrajes.....	97
Tabla 28 Valores de esfuerzo de viga - Carachimayo.....	99

Tabla 29 Valores de esfuerzo de viga - Sella Quebrada	100
Tabla 30 Valores de esfuerzo de viga - Obrajes	100
Tabla 31 Resumen estadístico para Carachimayo.....	101
Tabla 32 Tabla de frecuencias para Carachimayo	101
Tabla 33 Resumen estadístico para Sella Quebrada	102
Tabla 34 Tabla de frecuencias para Sella Quebrada	103
Tabla 35 Resumen estadístico para Obrajes.....	104
Tabla 36 Tabla de frecuencias para Obrajes	104
Tabla 37 Resumen estadístico para Carachimayo.....	109
Tabla 38 Tabla de frecuencias para Carachimayo	109
Tabla 39 Resumen estadístico para Sella Quebrada	110
Tabla 40 Tabla de frecuencias para Sella Quebrada	111
Tabla 41 Resumen estadístico para Obrajes.....	112
Tabla 42 Tabla de frecuencias para Obrajes	112
Tabla 43 Resultados de resistencia a compresión	118
Tabla 44 Esfuerzo de compresión valores máximos.....	119
Tabla 45 Esfuerzo de compresión valores mínimos	119
Tabla 46 Resultados de resistencia a flexión	123
Tabla 47 Esfuerzo de flexión valores máximos	124
Tabla 48 Esfuerzo de flexión valores mínimos.....	124
Tabla 49 Presupuesto general	128
Tabla 50 Análisis comparativo del pavimento Unicapa y el ripiado	130
Tabla 51 Ventajas y desventajas del pavimento Unicapa y el ripiado.....	131

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Pag.
Gráfica 1 Hoja de Excel para el cálculo de espesores del pavimento Unicapa.....	48
Gráfica 2 Histograma de Carachimayo	102
Gráfica 3 Histograma de Sella Quebrada.....	103
Gráfica 4 Histograma de Obrajes	105
Gráfica 5 Histograma para Carachimayo	110
Gráfica 6 Histograma para Sella Quebrada.....	111
Gráfica 7 Histograma para Obrajes.....	113
Gráfica 8 Valores mínimos de esfuerzos de compresión	120
Gráfica 9 Valores máximos de esfuerzo de compresión.....	120
Gráfica 10 Resultados promedios de esfuerzos a compresión	121
Gráfica 11 Esfuerzo de compresión de Carachimayo	121
Gráfica 12 Esfuerzo de compresión de Sella Quebrada.....	122
Gráfica 13 Esfuerzo de compresión de Obrajes	122
Gráfica 14 Valores mínimos de esfuerzo de flexión	125
Gráfica 15 Esfuerzos máximos de esfuerzo de flexión.....	126
Gráfica 16 Resultados promedios de esfuerzos a flexión	126
Gráfica 17 Esfuerzo de flexión de Carachimayo	127
Gráfica 18 Esfuerzo de flexión de Sella Quebrada	127
Gráfica 19 Esfuerzo de flexión de Obrajes	128
Gráfica 20 Análisis de precios	129

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1 Caminos rurales	10
Figura 2 Mantenimiento de caminos rurales.....	10
Figura 3 Suelo	12
Figura 4 Composición del suelo.....	13
Figura 5 Ejemplo de la subrasante en un pavimento convencional	22
Figura 6 Camino de ripio	23
Figura 7 Material de ripio	24
Figura 8 Cemento.....	29
Figura 9 Tipos de pavimento.....	33
Figura 10 Ubicación del pav. Unicapa en el conjunto de estructuras de pavimentos.....	34
Figura 11 Placa de carga (AASHTO T-222).....	37
Figura 12 Penetrómetro dinámico de cono (DCP).....	37
Figura 13 Escarificado del suelo.....	52
Figura 14 Colocado y la distribución del cemento.....	54
Figura 15 Mezclado del suelo con el cemento	56
Figura 16 Aplicación del agua	57
Figura 17 Pulvimezclador jalada por un tractor.....	58
Figura 18 Mezclado – escarificado, aplicando agua y cemento simultáneamente	58
Figura 19 Aplicando el cemento y posteriormente escarificando.....	59
Figura 20 Procesos de forma simultánea	59
Figura 21 Compactación	61
Figura 22 Juntas de control	62
Figura 23 Compuesto químico de curado	63
Figura 24 Aspecto del pav. Unicapa a un año de operación (desempeño esperado)	65
Figura 25 Extracción de muestra del tramo de Carachimayo	77
Figura 26 Extracción de muestra del tramo de Sella Quebrada	78
Figura 27 Extracción de muestra del tramo de Obrajes	78
Figura 28 Suelo más cemento	82
Figura 29 Mezcla de suelo y cemento.....	83

Figura 30 Compactación T-180	83
Figura 31 Enrasado del molde.....	84
Figura 32 Extracción de una pequeña muestra	85
Figura 33 Muestra para obtener el contenido de humedad	85
Figura 34 Brocha y aceite	87
Figura 35 Mezcla total del espécimen, suelo y cemento.....	88
Figura 36 Mezcla homogénea	88
Figura 37 Adición del agua a la mezcla	89
Figura 38 Probeta de suelo - cemento	90
Figura 39 Rociador.....	90
Figura 40 Molde de viga	91
Figura 41 Suelo - cemento	92
Figura 42 Adición del agua al suelo - cemento.....	92
Figura 43 Compactación de la viga.....	93
Figura 44 Viga de suelo - cemento	94
Figura 45 Rociador.....	94
Figura 46 Prueba de resistencia en compresión	95
Figura 47 Rotura de la probeta.....	96
Figura 48 Prueba de resistencia en flexión	98
Figura 49 Rotura de viga.....	99