

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



“APLICACIÓN DEL MODELO DE PREDICCIÓN DE
AHUELLAMIENTO PARA PAVIMENTOS EN NUESTRA
REGIÓN”

Por:

FABIO CALIXTO ZENTENO ENCINAS

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

SEMESTRE I - 2021

TARIJA-BOLIVIA

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

**“APLICACIÓN DEL MODELO DE PREDICCIÓN DE
AHUELLAMIENTO PARA PAVIMENTOS EN NUESTRA
REGIÓN”**

Por:

FABIO CALIXTO ZENTENO ENCINAS

SEMESTRE I - 2021

TARIJA-BOLIVIA

.....
M. Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozalvez
DECANO
**FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

.....
M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa
VICEDECANA
**FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL:

.....
Ing. Wilson R. Yucra Rivera.

.....
Ing. Laura K. Soto Salgado.

.....
Ing. Mabel Zambrana Velasco.

El Tribunal Calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esto responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres (ANDRES ZENTENO HIGUERAS Y SALOME ENCINAS GALEAN), hermano (RAFAEL) que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser un profesional de la patria.

A NINETH y demás familia por el apoyo que siempre me brindaron.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a **DIOS**, ser divino por darme la vida y guiar mis pasos día a día.

A mis maestros por sus enseñanzas para desarrollarme profesionalmente y haberme brindado todos sus conocimientos.

A mi familia que siempre supieron guiarme por un buen camino y apoyarme en los momentos en los que más necesitaba.

PENSAMIENTO

*“La actitud es el pincel con el que la mente
colorea nuestra vida, y nosotros quienes
elegimos los colores”*

Adam Jackson

Dedicatoria
Agradecimientos
Pensamiento
Resumen

ÍNDICE GENERAL
CAPITULO I
GENERALIDADES

	Página
1.1. Antecedentes	1
1.2. Situación problemática.....	3
1.2.1. Problema	4
1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema.....	5
1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema.....	6
1.3. Justificación.....	8
1.4. Objetivos	9
1.4.1. Objetivo general	9
1.4.2. Objetivos específicos	9
1.5. Hipótesis.....	9
1.6. Operacionalización de las variables	10
1.7. Identificación del tipo de investigación	11
1.8. Unidades de estudio y decisión muestral	11
1.9. Métodos y técnicas empleadas	12
1.9.1. Métodos.....	12
1.9.2. Técnicas.....	13
1.10. Procesamiento de la información	13
1.10.1. La estadística descriptiva	13
1.10.2. Pruebas estadísticas.....	18

1.10.3. Tratamiento estadístico	18
1.11. Alcance del estudio de aplicación	19

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES SOBRE AHUELLAMIENTO EN PAVIMENTOS

	Página
2.1. Pavimento.....	20
2.2. Tipos de pavimento	20
2.2.1. Pavimento rígido	20
2.2.2. Pavimento flexible	21
2.2.2.1. Funciones de las capas del pavimento flexible	23
2.3. Fallas en pavimentos asfálticos	24
2.4. Ahuellamiento	25
2.5. Análisis del fenómeno de ahuellamiento	27
2.5.1. Definición de deformaciones Plásticas	27
2.5.2. Tipos de formación del ahuellamiento	28
2.5.2.1. Ahuellamiento por falla en capas inferiores.....	28
2.5.2.2. Ahuellamiento por falla en la carpeta asfáltica	29
2.6. Factores que influyen en la formación de ahuellamiento en carpeta asfáltica.....	30
2.6.1. Temperatura medio ambiental.....	31
2.6.2. Cargas pesadas	32
2.6.3. Circulación a bajas velocidades	33
2.6.4. Efecto del tipo de asfalto.....	33
2.6.5. Forma y textura de los agregados.....	34
2.6.6. Aumento de susceptibilidad debido al agua.....	34

2.7. Causas que generan el ahuellamiento	35
2.7.1. Relación entre la deformación permanente y la práctica del diseño de pavimentos.....	37
2.8. Nivel de severidad del ahuellamiento	38
2.9. Equipo para medir el ahuellamiento	40
2.9.1. Equipos de alto rendimiento	40
2.9.1.1. Perfilómetro láser	40
2.9.2. Equipos de bajo rendimiento.....	41
2.9.3. Uso de perfiles y reglas graduadas.....	43
2.10. Procedimiento de evaluación	43
2.11. Método para medir el ahuellamiento en superficies pavimentadas	44
2.12. Método para determinar el ahuellamiento con reglas graduadas	44
2.12.1. Equipo y materiales.....	44
2.12.2. Preparación del sitio de medición	47
2.12.3. Procedimiento de la medición.....	48
2.13. Modelos de predicción del ahuellamiento.....	53
2.14. Ecuaciones de predicción del ahuellamiento	55
2.14.1. Ecuación de predicción de ahuellamiento desarrollada en Argentina	55
2.14.2. Ecuación de predicción de ahuellamiento desarrollada en Colombia.....	55
2.14.3. Ecuación de predicción de ahuellamiento desarrollada en Perú	56

CAPÍTULO III
APLICACIÓN PRÁCTICA SOBRE LA PROYECCIÓN DEL
AHUELLAMIENTO EN VÍAS URBANAS Y RURALES

	Página
3.1. Enfoque de la aplicación	57
3.2. Ubicación del área de estudio	58
3.2.1. Coordenadas de los tramos urbanos	58
3.2.2. Coordenadas de los tramos rurales.....	62
3.3. Características de los tramos de estudio.....	64
3.3.1. Tramos urbanos	64
3.3.2. Tramos rurales.....	69
3.4. Caracterización del ahuellamiento	72
3.5. Medición del ahuellamiento	72
3.5.1. Tramos urbanos	78
3.5.2. Tramos rurales.....	81
3.6. Resultados	90
3.6.1. Ahuellamiento promedio.....	90
3.6.2. Clasificación del ahuellamiento	94
3.6.3. Proyección del ahuellamiento	115
3.6.3.1. Tramos urbanos	115
3.6.3.2. Tramos rurales.....	150
3.6.4. Comparaciones del uso de modelos de predicción de ahuellamiento	174
3.7. Análisis de resultados.....	176
3.8. Justificación y validación de modelos de predicción de ahuellamiento	184
3.8.1. Análisis para validar los datos obtenidos en campo	189

3.9. Recomendaciones para la prevención del ahuellamiento.....	202
3.10. Propuestas de solución al ahuellamiento.....	203
3.10.1. Plan de mantenimiento en función a la escala del valor de deterioro del ahuellamiento	204
3.11. Presupuesto para la solución del ahuellamiento usando micropavimento.....	209
3.11.1. Presupuesto de micropavimento para la calle Sevilla.....	209
3.11.2. Presupuesto de micropavimento para la calle Ramón Rojas	209
3.11.3. Presupuesto de micropavimento para la calle María Claret.....	210
3.11.4. Presupuesto de micropavimento para el tramo Guerrahuayco – San Andrés ...	211
3.11.5. Presupuesto de micropavimento para el tramo Monte Centro – cruce de San Pedro de Buena Vista	211
3.12. Presupuesto para la solución del ahuellamiento mediante fresado y recapeo.....	212
3.12.1. Presupuesto de recapeo para la calle Sevilla.....	212
3.12.2. Presupuesto de recapeo para la calle Ramón Rojas	214
3.12.3. Presupuesto de recapeo para la calle María Claret.....	215
3.12.4. Presupuesto de recapeo para el tramo Guerrahuayco – San Andrés.....	216
3.12.5. Presupuesto de recapeo para el tramo Monte Centro – cruce de San Pedro de Buena Vista	217
3.13. Presupuesto para la solución del ahuellamiento mediante reconstrucción	219
3.13.1. Presupuesto de reconstrucción para la calle Sevilla.....	219
3.13.2. Presupuesto de reconstrucción para la calle Ramón Rojas	221
3.13.3. Presupuesto de reconstrucción para la calle María Claret	223
3.13.4. Presupuesto de reconstrucción para el tramo Guerrahuayco – San Andrés.....	226
3.13.5. Presupuesto de reconstrucción para el tramo Monte Centro – cruce de San Pedro de Buena Vista	228

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
4.1. Conclusiones	231
4.2. Recomendaciones.....	237

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1: INSPECCIÓN VISUAL DE LOS TRAMOS EN ESTUDIO

ANEXO 2: SEÑALIZACIÓN Y UBICACIÓN DE LOS PUNTOS

ANEXO 3: MEDICIÓN DEL AHUELLAMIENTO

ANEXO 4: PREDICCIÓN DEL AHUELLAMIENTO

ANEXO 5: GRÁFICAS COMPARATIVAS DE ACUERDO AL MODELO DE
PREDICCIÓN DEL AHUELLAMIENTO UTILIZADO

ANEXO 6: PRECIOS UNITARIOS

ANEXO 7: CARTAS

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura N° 1 Sección donde se pueden apreciar las capas del pavimento rígido	21
Figura N° 2 Sección donde se pueden apreciar las capas del pavimento flexible	22
Figura N° 3 Fallas en pavimentos flexibles	25
Figura N° 4 Ahuellamiento	27
Figura N° 5 Ahuellamiento por falla en la subrasante	29
Figura N° 6 Ahuellamiento por fallas en la mezcla asfáltica.....	30
Figura N° 7 Relación entre la presión de contacto y la presión de la llanta	32
Figura N° 8 Esfuerzos y deformaciones en el pavimento	38
Figura N° 9 Ahuellamiento de nivel de severidad bajo	39
Figura N° 10 Ahuellamiento de nivel de severidad medio	39
Figura N° 11 Ahuellamiento de nivel de severidad alto	40
Figura N° 12 Perfilómetro láser	41
Figura N° 13 Perfilógrafo transversal	42
Figura N° 14 Perfilador	42
Figura N° 15 Perfil y reglas graduadas	43
Figura N° 16 Regla o perfil metálico	45
Figura N° 17 Regla graduada.....	45
Figura N° 18 Cinta métrica	46
Figura N° 19 Pintura spray.....	46
Figura N° 20 Cono de tráfico	47
Figura N° 21 Ubicación del punto de inicio	48
Figura N° 22 División de los segmentos del tramo	49
Figura N° 23 Medición de segmentos.....	49

Figura N° 24 Colocación de la regla o perfil	50
Figura N° 25 Colocación de la regla graduada	50
Figura N° 26 Medición de la profundidad del ahuellamiento.....	51
Figura N° 27 Formulario tipo de informe de control de ahuellamiento.....	52
Figura N° 28 Ubicación geográfica de la zona de estudio	58
Figura N° 29 Ubicación del tramo calle Sevilla	59
Figura N° 30 Ubicación del tramo calle Ramon Rojas	60
Figura N° 31 Ubicación del tramo calle María Claret	61
Figura N° 32 Ubicación del tramo Guerrahuayco - San Andrés.....	62
Figura N° 33 Ubicación del tramo Monte Centro – cruce San Pedro de Buena Vista.....	63
Figura N° 34 Sentido del tráfico de la calle Sevilla	65
Figura N° 35 Sentido del tráfico de la calle Ramon Rojas	67
Figura N° 36 Sentido del tráfico de la calle María Claret.....	68
Figura N° 37 Sentido del tráfico del tramo Guerrahuayco – San Andrés.....	70
Figura N° 38 Sentido del tráfico del tramo Monte Centro - cruce San Pedro de Buena Vista.....	71
Figura N° 39 Ubicación de segmentos calle Sevilla	73
Figura N° 40 Ubicación de segmentos calle Ramon Rojas	74
Figura N° 41 Ubicación de segmentos calle María Claret.....	75
Figura N° 42 Ubicación de segmentos tramo Guerrahuayco- San Andrés.....	76
Figura N° 43 Ubicación de segmentos tramo Monte Centro - cruce San Pedro de Buena Vista.....	77
Figura N° 44 Ahuellamiento de los tramos urbanos y rurales	177
Figura N° 45 Severidad del ahuellamiento en la calle Sevilla	177

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla N° 1 Ubicación geográfica de tramos urbanos	7
Tabla N° 2 Ubicación geográfica de tramos rurales	7
Tabla N° 3 Conceptualización variable independiente	10
Tabla N° 4 Conceptualización variable dependiente	10
Tabla N° 5 Muestreo del trabajo	12
Tabla N° 6 Paquete estructural que presenta el tramo calle Sevilla.....	65
Tabla N° 7 Paquete estructural que presenta el tramo calle Ramón Rojas	66
Tabla N° 8 Paquete estructural que presenta el tramo calle María Claret	68
Tabla N° 9 Paquete estructural que presenta el tramo Guerrahuayco – San Andrés	69
Tabla N° 10 Paquete estructural que presenta el tramo Monte Centro – cruce San Pedro de Buena Vista	72
Tabla N° 11 Tabla de ahuellamientos medidos de la calle Sevilla	78
Tabla N° 12 Tabla de ahuellamientos medidos de la calle Ramón Rojas.....	79
Tabla N° 13 Tabla de ahuellamientos medidos de la calle María Claret	80
Tabla N° 14 Tabla de ahuellamientos medidos del tramo Monte Centro - San Pedro de Buena Vista.....	81
Tabla N° 15 Tabla de ahuellamientos medidos del tramo Guerrahuayco – San Andrés.....	85
Tabla N° 16 Tabla del ahuellamiento promedio de la calle Sevilla.....	90
Tabla N° 17 Tabla del ahuellamiento promedio de la calle Ramón Rojas	91
Tabla N° 18 Tabla del ahuellamiento promedio de la calle María Claret.....	92
Tabla N° 19 Tabla del ahuellamiento promedio del tramo Guerrahuayco – San Andrés.....	92

Tabla N° 20	Tabla del ahuellamiento promedio del tramo Monte Centro – cruce San Pedro de Buena Vista	93
Tabla N° 21	Tabla de resumen de ahuellamientos para tramos urbanos	93
Tabla N° 22	Tabla de resumen de ahuellamientos para tramos rurales	93
Tabla N° 23	Clasificación del ahuellamiento de la calle Sevilla	94
Tabla N° 24	Clasificación del ahuellamiento de la calle Ramón Rojas.....	95
Tabla N° 25	Clasificación del ahuellamiento de la calle María Claret	96
Tabla N° 26	Clasificación del ahuellamiento del tramo Guerrahuayco – San Andrés (carril izquierdo)	97
Tabla N° 27	Clasificación del ahuellamiento del tramo Guerrahuayco – San Andrés. (Carril derecho).....	102
Tabla N° 28	Clasificación del ahuellamiento del tramo Monte Centro – cruce San Pedro de Buena Vista. (Carril izquierdo)	107
Tabla N° 29	Clasificación del ahuellamiento del tramo Monte Centro – cruce San Pedro de Buena Vista. (Carril derecho).....	111
Tabla N° 30	Resumen de ahuellamientos en tramos urbanos	176
Tabla N° 31	Resumen de ahuellamientos en tramos rurales.....	176
Tabla N° 32	Coeficiente de determinación en cada uno de los modelos analizados para la calle Sevilla.....	184
Tabla N° 33	Tabla de pruebas de normalidad para los tramos urbanos.....	195
Tabla N° 34	Prueba de normalidad para tramos rurales	201
Tabla N° 35	Prueba de normalidad corregida para tramos rurales	201
Tabla N° 36	Mantenimiento para deformación del ahuellamiento	204
Tabla N° 37	Plan de mantenimiento para los tramos seleccionados.....	204