



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL MENCIÓN GEOTECNICA Y
VIAS TERRESTRES**

TESIS

**IMPORTANCIA DEL NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO
Y LA DEFLECTOMETRIA EN LA CARRETERA CUSCO
PARURO TRAMO MAYUMBAMBA PARURO 2023**

**PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO
EN INGENIERIA CIVIL MENCIÓN GEOTECNICIA Y
VIAS TERRESTRES**

AUTOR

Br. EDWARD VALERY ROMOACCA CAZAS

ASESOR:

Mg. Ing. JUAN PABLO ESCOBAR MASÍAS

CODIGO ORCID:

0000-0002-9454-3414

CUSCO-PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: **IMPORTANCIA DEL NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO Y LA DEFLECTOMETRIA EN LA CARRETERA CUSCO PARURO TRAMO MAYUMBAMBA PARURO 2023**, presentado por **EDWARD VALERY ROMOACCA CAZAS** con Nro. de DNI **42404455** para optar al título profesional/grado académico de **MAESTRO** en **INGENIERIA CIVIL MENCION GEOTECNIA Y VIAS TERRESTRES**. Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 vez, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de **7 %**.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis.

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 04 de diciembre de 2024

Firma

Post firma: **JUAN PABLO ESCOBAR MASIAS**

Nro. de DNI: **23847338**

ORCID del Asesor: **0000-0002-9454-3414**

Se adjunta:

1. Reporte Generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:::27259:412681097** ✓

EDWARD VALERY ROMOACCA CAZAS

TESIS IMPORTANCIA DEL NUMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO Y LA DEFLECTOMETRIA EN LA CARRETERA CUSCO PARURO T

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::27259:412681097

181 Páginas

Fecha de entrega

4 dic 2024, 4:26 p.m. GMT-5

24,314 Palabras

Fecha de descarga

4 dic 2024, 6:06 p.m. GMT-5

144,136 Caracteres

Nombre de archivo

TESIS IMPORTANCIA DEL NUMERO ESTRUCTURAL 4 DIC (1).pdf

Tamaño de archivo

44.3 MB

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de Integridad para revisión

-  **Texto oculto**
15 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO

INFORME DE LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES A TESIS

Dra. NELLY AYDE CAVERO TORRE, Directora (e) General de la Escuela de Posgrado, nos dirigimos a usted en condición de integrantes del jurado evaluador de la tesis intitulada **IMPORTANCIA DEL NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO Y LA DEFLECTOMETRIA EN LA CARRETERA CUSCO PARURO TRAMO MAYUMBAMBA PARURO 2023** del Br. EDWARD VALERY ROMOACCA CAZAS. Hacemos de su conocimiento que el sustentante ha cumplido con el levantamiento de las observaciones realizadas por el Jurado el día **DIECINUEVE DE DICIEMBRE DE 2024**.

Es todo cuanto informamos a usted fin de que se prosiga con los trámites para el otorgamiento del grado académico de **MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN GEOTÉCNIA Y VIAS TERRESTRES**.

Cusco, 14 ENE 2025



MGT. MIGUEL ANGEL VILCA ROJAS
Primer Replicante



MGT. DILSON ELVIS LOAIZA CRUZ
Segundo Replicante



DR. ADAN WILBERT SOLORZANO MONTESINOS
Primer Dictaminante



MGT. CESAR EDILBERTO ARBULU JURADO
Segundo Dictaminante

INDICE DE CONTENIDO

Contenido

INDICE DE CONTENIDO	i
INDICE DE TABLAS	iv
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	v
RESUMEN	ix
Palabras Claves.....	x
ABSTRAC.....	xi
Key words.....	xii
INTRODUCCION.....	xiii
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1. Situación problemática	14
1.2. Formulación del problema.....	22
1.2.1. Problema general	22
1.2.2. Problemas específicos.....	22
1.3. Justificación de la investigación	22
1.3.1. Justificación Técnica	22
1.3.2. Justificación Teórica.....	22
1.3.3. Justificación Practica.....	23
1.3.4. Justificación Metodológica	23
1.4. Objetivos de la investigación	23
1.4.1. Objetivo general.....	23
1.4.2. Objetivos específicos	23
CAPITULO II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	24
2.1. Bases teóricas.....	24
2.1.1. Método AASHTO-86(93) en el diseño de pavimentos flexibles basado en el Número Estructural del pavimento.	24
2.1.2. Clasificación de las Carreteras.....	26
2.1.3. Vehículos de diseño	29
2.1.4. Velocidad de diseño	30
2.1.5. Niveles de servicio.....	32
2.1.6. Modalidades de ejecución de la conservación vial	34
2.1.7. Medida de la Deflexión de un Pavimento Flexible Empleando la Viga Benkelman.....	35

2.1.8. Evaluación del Índice De Rugosidad Internacional IRI con el Rugosímetro de MERLIN.....	36
2.2. Marco conceptual (palabras clave).....	43
2.3. Antecedentes empíricos de la investigación (estado del arte).....	46
2.3.1. Antecedentes internacionales	46
2.3.2. Antecedentes nacionales	48
2.3.3. Antecedentes locales.....	50
CAPITULO III HIPÓTESIS Y VARIABLES	54
3.1. Hipótesis.....	54
3.2. Hipótesis general	55
3.3. Hipótesis específicas	55
3.4. Identificación de variables e indicadores	55
3.5. Operacionalización de variables	57
CAPITULO IV. METODOLOGÍA	58
4.1. Ámbito de estudio: localización política y geográfica.....	58
4.2. Tipo y nivel de investigación	58
4.2.1. Tipo de Investigación	58
4.2.2. Nivel de Investigación.....	60
4.3. Unidad de análisis	60
4.4. Población de estudio.....	61
4.5. Tamaño de muestra	61
4.6. Técnicas de selección de muestra.....	61
4.7. Técnicas de recolección de información	63
4.8. Técnicas de análisis e interpretación de la información	63
4.9. Técnicas para demostrar la verdad o falsedad de las hipótesis planteadas.....	65
4.9.1. Validación Estadística de la Hipótesis Especifica 1	70
4.9.2. Validación Estadística de la Hipótesis Especifica 2.....	73
4.9.3. Validación de la Hipótesis Especifica 3	78
4.9.4. Validación Estadística de la Hipótesis Especifica 4.....	96
CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSION	97
5.1. Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados.....	97
5.1.1. Procedimiento de recolección de datos con Viga Benkelman	97
5.1.2. Análisis, Interpretación y discusión de resultados.....	101
5.2. Pruebas de hipótesis.....	106
5.3. Presentación de resultados.....	108

5.3.1.	Resultados de Ensayo de Deflectometría con Viga Benkelman.....	108
5.3.2.	Resultados de Ensayo de Rugosidad con Rugosímetro MERLIN.	111
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		122
	Conclusión N° 01	122
	Conclusión N° 02	122
	Conclusión N° 03	123
	Conclusión N° 04	123
	Conclusión N° 05	124
	Recomendación N° 01	124
	Recomendación N° 02	124
	Recomendación N° 03	124
	Recomendación N° 04	125
	Bibliografía	125
	Anexo a) Matriz de consistencia	127
	Anexo b) Panel Fotográfico	129
	Anexo c) Metodológica de Evaluación de Pavimentos Básicos con el uso de Viga Benkelman para la Región Cusco.	206

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Codificación de Tramos de Red Vial 02	18
Tabla 2 Dimensiones de Vehículos, fuente MTC DG 2018.....	30
Tabla 3 Rango de Velocidades de Diseño, fuente MTC DG 2018.....	32
Tabla 4 Tabla de Rugosímetro Merlin	39
Tabla 5 Hoja de campo.....	41
Tabla 6 Matriz de Operacionalización de Variables	57
Tabla 7 Distribución de Tramos por longitud Red Vial N° 02	58
Tabla 8 Selección aleatoria tramo deflectometría	62
Tabla 9 Selección aleatoria tramos de Rugosidad Superficial.....	63
Tabla 10 Datos deflectometría según progresiva de punto de control	71
Tabla 11 Resultados Prueba de Hipótesis t de Student en Deflectometría	72
Tabla 12 Datos de Campo Rugosidad Superficial con MERLIN	75
Tabla 13 Resultados Prueba t para Rugosidad superficial	76
Tabla 14 Ubicación del tramo en estudio CU - 121.....	78
Tabla 15 Descripción de tramo en estudio	80
Tabla 16 Deterioros o fallas en carreteras no pavimentadas	81
Tabla 17 Clasificación de extensión de fallas.	85
Tabla 18 Clasificación de densidad de baches.	85
Tabla 19 Calificación por tipo de falla.	86
Tabla 20 Calificación de condición.	86
Tabla 21 Tipos de condición según calificación de condición.	87
Tabla 22 Tipo de conservación según calificación de condición.	87
Tabla 23 Resultados falla por ahuellamiento 1	88
Tabla 24 Resultados falla por ahuellamiento 2.....	89
Tabla 25 Resultados por falla de Erosión 1	90
Tabla 26 Resultados de falla por Erosion 2	91
Tabla 27 Resultados de falla por Baches 1.....	92
Tabla 28 Resultados de falla por baches 2.....	93
Tabla 29 Resumen de Resultados por tipo de Falla	94
Tabla 30 Análisis Estadístico de los Resultados de Deflexión	96
Tabla 31 Proyección de Tráfico Pesado (PGV - ICCGSA, 2012).....	99
Tabla 32 Proyección de Esal Tráfico Pesado 2013 - 2023 (PGV - ICCGSA, 2012)	99
Tabla 33 Parámetros de Diseño y Calculo de SN requerido.....	100
Tabla 34 Parámetros de Cálculo de SN requerido	100
Tabla 35 Parámetros de Cálculo de SN propuesto.....	100
Tabla 36 Valores de deflectometría con Viga Benkelman	101
Tabla 37 Medición de Variabilidad de Deflexiones Tramo 01.....	102
Tabla 38 Medición de Variabilidad de Deflexiones Tramo 02.....	103
Tabla 39 Medición de Variabilidad de Deflexiones Tramo 03.....	103
Tabla 40 Medición de Variabilidad de Deflexiones Tramo 04.....	104
Tabla 41 Medición de Variabilidad de Deflexiones Tramo 05.....	104
Tabla 42 Valores deflexión con Viga Benkelman	108
Tabla 43 Medición Rugosidad Tramo 01.....	111
Tabla 44 Medición de Rugosidad tramo 02	112
Tabla 45 Medición de Rugosidad tramo 03	113

Tabla 46 Medición de Rugosidad tramo 04	114
Tabla 47 Medición de Rugosidad tramo 05	115
Tabla 48 Medición de Rugosidad tramo 06	116
Tabla 49 Medición de Rugosidad tramo 07	117
Tabla 50 Medición de Rugosidad tramo 08	118
Tabla 51 Medición de Rugosidad tramo 09	119
Tabla 52 Medición de Rugosidad tramo 10	120
Tabla 53 Consolidado de Medición de Rugosidad	121
Tabla 54 Anexo A Matriz de Consistencia.	128
Tabla 55 Tabla de Análisis Deflectométrico	213
Tabla 56 Análisis Estadístico de Resultados	214
Tabla 57 Escala de Calificación en función de la variabilidad de deflexiones de campo	215

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 tramo Mayubamba Paruro	16
Ilustración 2 Tramos de la Red Vial N° 02	17
Ilustración 3 Inicio del tramo Mayubamba Paruro	19
Ilustración 4 Plaza de armas de Paruro	20
Ilustración 5 Empalme CU 121 - CU 123	20
Ilustración 6 Fin del tramo Mayubamba Paruro	21
Ilustración 7 Esquema del Rugosímetro de MERLIN	38
Ilustración 8 Niveles de Investigación, fuente: https://bioestadistico.com/niveles-de-investigación	60
Ilustración 9 Función "Análisis de Datos" Prueba t Excel	71
Ilustración 10 Interfaz Prueba t para medias de muestras emparejadas	72
Ilustración 11 Grafico de Deflexión Diferencial Vs Observada	73
Ilustración 12 Interfaz t de Student con Excel	75
Ilustración 13 Interfaz t de Student para dos muestras con varianzas iguales	76
Ilustración 14 Gráfico IRI diferencial Vs Observado	77
Ilustración 15 Localización tramo de estudio. Fuente Google Earth.	79
Ilustración 16 Medición de fallas superficiales en campo	80
Ilustración 17 Diagrama Esfuerzo Vs Deformación. (fuente: Dinámica de Estructuras A. Chopra, 2014)	97
Ilustración 18 Instrumento para medición deflectometría Viga Benkelman	98
Ilustración 19 Instrumentación para ensayo de deflectometría	98
Ilustración 20 Deflectograma general	109
Ilustración 21 Grafico del cuenco de deflexiones	110
Ilustración 22 Ubicación y emplazamiento CU 121 y CU 123	129
Ilustración 23 Desvío CU 121 empalme Mayumbamba - Paruro	129
Ilustración 24 Emplazamiento desvío KM 0+00 Mayumbamba - Paruro	130
Ilustración 25 Vista de patologías en la superficie de rodamiento KM 0+025	130
Ilustración 26 Patología de superficie de rodadura en tratamiento superficial asfáltico e = 1.5 cm.	131
Ilustración 27 Unidad Vehicular placa EAB 230 camión eje simple posterior.	131
Ilustración 28 Unidad Vehicular placa EAB 230 camión eje simple posterior.	132
Ilustración 29 Emplazamiento del Km 0+00 Tramo Mayumbamba - Paruro	132
Ilustración 30 Medición de distancias para deflectometría cada 25 metros	133

Ilustración 31 Medición de distancias para deflectometría cada 25 metros.....	133
Ilustración 32 Medición de distancias para deflectometría cada 25 metros.....	134
Ilustración 33 Medición de emplazamiento KM 0+025	134
Ilustración 34 Medición de emplazamiento KM 0+050	135
Ilustración 35 Medición de emplazamiento KM 0+075	135
Ilustración 36 Medición de emplazamiento KM 0+100	136
Ilustración 37 Medición de emplazamiento KM 0+100	136
Ilustración 38 Medición de emplazamiento KM 0+125	137
Ilustración 39 Medición de emplazamiento KM 0+125	137
Ilustración 40 Medición de emplazamiento KM 0+150	138
Ilustración 41 Medición de emplazamiento KM 0+150	138
Ilustración 42 Medición de emplazamiento KM 0+175	139
Ilustración 43 Medición de emplazamiento KM 0+175	139
Ilustración 44 Medición de emplazamiento KM 0+200	140
Ilustración 45 Medición de emplazamiento KM 0+200	140
Ilustración 46 Medición de emplazamiento KM 0+225	141
Ilustración 47 Medición de emplazamiento KM 0+250	141
Ilustración 48 Tesista en la medición de emplazamiento KM 0+225.....	142
Ilustración 49 Medición de emplazamiento KM 0+250	143
Ilustración 50 Medición de emplazamiento KM 0+250 (hacia adelante)	143
Ilustración 51 Medición de emplazamiento KM 0+250 (vista hacia atrás).....	144
Ilustración 52 Medición de emplazamiento KM 0+275	144
Ilustración 53 Medición de emplazamiento KM 0+275	145
Ilustración 54 Medición de emplazamiento KM 0+300	145
Ilustración 55 Medición de emplazamiento KM 0+300	146
Ilustración 56 Medición de emplazamiento KM 0+325	146
Ilustración 57 Medición de emplazamiento KM 0+325	147
Ilustración 58 Tesista en el emplazamiento KM 0+325	147
Ilustración 59 Medición de emplazamiento KM 0+350	148
Ilustración 60 Medición de emplazamiento KM 0+350	148
Ilustración 61 Medición de emplazamiento KM 0+375	149
Ilustración 62 Medición de emplazamiento KM 0+375	149
Ilustración 63 Medición de emplazamiento KM 0+400	150
Ilustración 64 Medición de emplazamiento KM 0+400	150
Ilustración 65 Medición de emplazamiento KM 0+425	151
Ilustración 66 Medición de emplazamiento KM 0+425	151
Ilustración 67 Medición de emplazamiento KM 0+450	152
Ilustración 68 Medición de emplazamiento KM 0+450	152
Ilustración 69 Medición de emplazamiento KM 0+475	153
Ilustración 70 Medición de emplazamiento KM 0+475	153
Ilustración 71 Medición de emplazamiento KM 0+500	154
Ilustración 72 Medición de emplazamiento KM 0+500	154
Ilustración 73 Patología superficial y estructural.....	155
Ilustración 74 Patología del pavimento.....	155
Ilustración 75 Patología de pavimento	156
Ilustración 76 Perdida de Tratamiento Superficial Asfáltico en parte del ancho de la plataforma.....	156

Ilustración 77 Deterioro de recubrimiento asfáltico.....	157
Ilustración 78 Deterioro hombro izquierdo de la vía	157
Ilustración 79 Fatiga de estructura de pavimento	158
Ilustración 80 Deterioro por fatiga de pavimento	158
Ilustración 81 Deterioro de Pavimento	159
Ilustración 82 Vista de la vía en estudio.....	159
Ilustración 83 Camión Volquete Eje trasero simple con peso de 8.2 Tn de carga aplicada y a 80 PSI (presión de inflado)	160
Ilustración 84 Instrumento de medición de deflexiones: VIGA BENKELMAN (de 01 brazo)	160
Ilustración 85 Instrumentación de Prueba de Deflectometría con Viga Benkelman.....	161
Ilustración 86 Instrumentación de Prueba de Deflectometría con Viga Benkelman.....	161
Ilustración 87 Tesista en Instrumentación de Prueba de Deflectometría con Viga Benkelman....	162
Ilustración 88 Instrumentación de Prueba de Deflectometría con Viga Benkelman.....	162
Ilustración 89 Instrumentación de Dial de Medición de deflexiones con Viga Benkelman.....	163
Ilustración 90 Medición de deflexiones progresiva 0+00	163
Ilustración 91 Calibración de punto inicial para toma de deflexiones con Viga Benkelman	164
Ilustración 92 Medición de deflexiones progresiva 0+025	165
Ilustración 93 Medición de deflexiones progresiva 0+050	165
Ilustración 94 Medición de deflexiones progresiva 0+075	166
Ilustración 95 Medición de deflexiones progresiva 0+100	166
Ilustración 96 Medición de deflexiones progresiva 0+125	167
Ilustración 97 Tesista en Medición de deflexiones progresiva 0+125 con Viga Benkelman.....	167
Ilustración 98 Medición de deflexiones progresiva 0+150	168
Ilustración 99 Medición de deflexiones progresiva 0+175	168
Ilustración 100 Medición de deflexiones progresiva 0+200	169
Ilustración 101 Medición de deflexiones progresiva 0+225	169
Ilustración 102 Tesista en instrumentación de viga Benkelman.....	170
Ilustración 103 Medición de deflexiones progresiva 0+225	170
Ilustración 104 Medición de Deflexiones km 0+250.....	171
Ilustración 105 Instrumentación de Prueba de Deflectometría	171
Ilustración 106 Instrumentación y medición de Deflexiones en Pavimento superficial	172
Ilustración 107 Medición de deflexiones en km 0+275	173
Ilustración 108 Medición de deflexiones en km 0+300	173
Ilustración 109 Medición de deflexiones km 0+300	174
Ilustración 110 Empalme Mayubamba Paruro	174
Ilustración 111 Proceso de calibración Viga Benkelman.....	175
Ilustración 112 Medición de deflexiones km 0+325	176
Ilustración 113 Medición de deflexiones km 0+350	176
Ilustración 114 Medición de deflexiones 0+375	177
Ilustración 115 Medición de deflexiones km 0+400	177
Ilustración 116 Medición de deflexiones km 0+425	178
Ilustración 117 Medición de deflexiones km 0+450	178
Ilustración 118 Medición de deflexiones km 0+475	179
Ilustración 119 Medición de deflexiones km 0+500	179
Ilustración 120 Vista km 0+600	180
Ilustración 121 Proceso de Medición de Deflexiones.	180

Ilustración 122	Uso de Wincha para medición deflexiones d_{max} 5 m.	181
Ilustración 123	Uso de camión volquete eje simple posterior 80 PSI.....	182
Ilustración 124	Equipos y personal técnico en campo.....	183
Ilustración 125	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 01.....	183
Ilustración 126	Medición de Rugosidad Superficial con MERLIN.....	184
Ilustración 127	Calibración de Equipo MERLIN.....	185
Ilustración 128	Tesista en proceso de Instrumentación de Rugosímetro.....	186
Ilustración 129	Medición de Rugosidad superficial Tramo 02.....	187
Ilustración 130	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 03.....	188
Ilustración 131	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 03.....	188
Ilustración 132	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 04.....	189
Ilustración 133	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 04.....	189
Ilustración 134	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 05.....	190
Ilustración 135	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 05.....	191
Ilustración 136	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 06.....	192
Ilustración 137	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 06.....	193
Ilustración 138	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 07.....	194
Ilustración 139	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 07.....	194
Ilustración 140	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 08.....	195
Ilustración 141	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 08.....	195
Ilustración 142	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 08.....	196
Ilustración 143	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 08.....	196
Ilustración 144	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 09.....	197
Ilustración 145	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 09.....	197
Ilustración 146	Tesista en Medición de Rugosidad Superficial Tramo 09.....	198
Ilustración 147	Tesista en Medición de Rugosidad Superficial Tramo 09.....	198
Ilustración 148	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10.....	199
Ilustración 149	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10.....	199
Ilustración 150	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10.....	200
Ilustración 151	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10.....	201
Ilustración 152	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10.....	201
Ilustración 153	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10.....	202
Ilustración 154	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10.....	202
Ilustración 155	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10.....	203
Ilustración 156	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10.....	203
Ilustración 157	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10.....	204
Ilustración 158	Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10.....	204
Ilustración 159	Condición socio económica de la zona.....	205
Ilustración 160	Ancho variable de la plataforma.	205
Ilustración 161	Diagrama de Viga Benkelman	208

RESUMEN

Gran parte de nosotros los ingenieros civiles hemos sido afortunados de ser parte del ciclo de un proyecto vial y aunque existe un sesgo en las investigaciones por proyectos con estructuras de pavimentos con mezcla asfáltica en caliente ($e \geq 2''$) como los tramos de nuestra Red Vial Nacional, hay otro sector de esta industria que también ha tomado especial relevancia en las últimas décadas, que son los caminos de bajo volumen de tránsito ($IMD < 200$ VEH/DIA), conocidos como corredores viales departamentales. A partir del año 2007 el MTC a través del "PROYECTO PERU" planteo identificar corredores viales superiores a los 100 km con el objetivo de darle una conservación periódica que garantice un tiempo de vida útil de 10 años. Entonces se propuso realizar una estructura de base mejorada ($CBR > 30\%$) en un espesor promedio de 15 cm. (capa estructural) la cual debía llevar una protección impermeable con tratamiento superficial asfáltico (capa funcional), la combinación de estos haría un pavimento básico que reemplace el proceso anterior de mantenimiento periódico de solo colocar una capa de material granular sin protección impermeable, situación que no garantizaba un periodo mayor a 02 años de servicio.

En la región Cusco fuimos parte del "PROYECTO PERU" con los corredores viales 1, 2, y 3. En este caso hemos centrado la investigación en la Red Vial Regional N° 02 que comprende las vías departamentales de las provincias de Paruro y Acomayo. Este corredor estuvo a cargo de la empresa ICCSA, importante empresa del rubro construcción, con una longitud total de 284 km, empezaron la ejecución en el mes de julio de 2012 y en agosto de 2013 se dio inicio a la ejecución de la conservación periódica y en noviembre del 2013 cuando se dio paso al colocado del tratamiento superficial asfáltico (TSA) se pudo evidenciar inconvenientes como ahuellamientos en tramos intermitentes. La presencia de estos ahuellamientos genero la inquietud de realizar la presente investigación para poder analizar y evaluar el comportamiento elástico de la estructura del pavimento básico, mediante la medición de deflexiones con el uso de la Viga Benkelman cada 25 metros en una longitud de 1,350 m, obteniendo un total de 50 datos que sirvieron para realizar una interpretación técnica con la finalidad de proponer una metodología de evaluación de pavimentos básicos para la Región del cusco.

Académicamente me apoye en la ecuación constitutiva de los materiales (comportamiento estructural del pavimento básico) que combina los esfuerzos (aplicados – externos) y deformaciones (resistentes – internos) relacionados ambos por el módulo de elasticidad (Módulo de Young) propios de la Teoría de Elasticidad. Por lo que podemos interpretar “que ante la aplicación de esfuerzos homogéneos (carga puntual determinada arbitraria, 8.2 TN) en puntos consecutivos (cada 25 m), las deformaciones verticales (deflexiones) deberán ser similares (no iguales pero similares en magnitud) cuya dispersión debe ser mínima.

Palabras Claves

Deflectometría, Número Estructural, Viga Benkelman, Esfuerzo, Deformación, Modulo de Young, Deflexión Vertical, Ejes Equivalentes, Conservación Vial, Conservación Periódica, Corredor Vial.

ABSTRAC

Many of us civil engineers have been fortunate to be part of the cycle of a road project and although there is a bias in research for projects with pavement structures with hot mix asphalt ($e \geq 2$) such as the sections of our National Road Network, there is another sector of this industry that has also taken on special relevance in recent decades, which are low traffic volume roads ($IMD < 200$ VEH/DAY), known as departmental road corridors. Starting in 2007, the MTC through the “PERU PROJECT” proposed identifying road corridors longer than 100 km with the objective of giving them periodic conservation that guarantees a useful life of 10 years. It was then proposed to make an improved base structure ($CBR > 30\%$) with an average thickness of 15 cm. (structural layer) which had to carry a waterproof protection with asphalt surface treatment (functional layer), the combination of these would make a basic pavement that replaces the previous periodic maintenance process of only placing a layer of granular material without waterproof protection, a situation that It did not guarantee a period of more than 02 years of service.

In the Cusco region we were part of the “PERU PROJECT” with road corridors 1, 2, and 3. In this case we have focused the investigation on the Regional Road Network No. 02 that includes the departmental roads of the provinces of Paruro and Acomayo. This corridor was in charge of the company ICCSA, an important company in the construction sector, with a total length of 284 km. The execution began in July 2012 and in August 2013 the execution of periodic conservation and maintenance began. In November 2013, when the asphalt surface treatment (TSA) was placed, problems such as rutting in intermittent sections were evident. The presence of these ruts generated the concern to carry out this investigation to be able to analyze and evaluate the elastic behavior of the basic pavement structure, by measuring deflections with the use of the Benkelman Beam every 25 meters in a length of 1,350 m. obtaining a total of 50 data that served to carry out a technical interpretation with the purpose of proposing a methodology for evaluating basic pavements for the Cusco Region.

Academically, I rely on the constitutive equation of the materials (structural behavior of the basic pavement) that combines the forces (applied – external) and deformations (resistant – internal) both related by the elasticity modulus (Young's Modulus) typical of the Theory of Elasticity. Therefore we can interpret “that when applying homogeneous forces (arbitrary determined point load, 8.2 TN) at consecutive points (every 25 m), the vertical deformations (deflections) should be similar (not equal but similar in magnitude) whose dispersion should be minimal.

Key words

Deflectometry, Structural Number, Benkelman Beam, Stress, Deformation, Young's Modulus, Vertical Deflection, Equivalent Axes, Road Maintenance, Periodic Maintenance, Road Corridor.

INTRODUCCION

La presente investigación ha sido intitulada “**IMPORTANCIA DEL NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO Y LA DEFLECTOMETRÍA EN LA CARRETERA CUSCO PARURO TRAMO MAYUMBAMBA PARURO – PARURO CUSCO 2023**”, en la cual se ha propuesto dar un aporte al estado del arte en la investigación en conservación vial en caminos de bajo volumen de tránsito con soluciones básicas asfálticas. La hipótesis que se planteo fue verificar que a través de la medición de deformaciones verticales con la aplicación de Viga Benkelman se pueda demostrar la importancia que tiene el Número Estructural (SN), el cual se materializa en un espesor de capa de pavimento. De no respetar el espesor uniforme en el proceso constructivo, esto puede traer complicaciones perjudiciales tanto a ejecutores, supervisores y sobre todo a los usuarios del corredor vial.

Las mediciones de las deflexiones de la plataforma de la vía han arrojado valores muy dispersos los que sometidos a la metodología de prueba de hipótesis de “***t de Student***” **PARA DOS MEDIAS MUESTRALES**, ha sido posible tener evidencia científica donde se ha verificado que la variabilidad del Número Estructural (SN) según el espesor de diseño si influye en el Desempeño de la vida útil (Desempeño) de los pavimentos básicos en caminos de bajo volumen de tránsito.

**TESIS: IMPORTANCIA DEL NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO Y LA
DEFLECTOMETRÍA EN LA CARRETERA CUSCO PARURO TRAMO
MAYUMBAMBA PARURO – PARURO CUSCO 2023**

CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática

En el Perú el mantenimiento de carreteras afirmadas se ha convertido en un reto para la ingeniería de conservación vial siendo el factor de disponibilidad presupuestal el más importante, agravándose al ser un recurso de fuente de financiamiento de gasto ordinario. Las carreteras afirmadas presentan deterioros tras periodos cortos de 02 años de puesta en servicio por situaciones de atención de tráfico, condiciones climáticas, condiciones geográficas y topográficas, brindando una situación de inseguridad e incomodidad a los usuarios de estas vías. Hacia el año 2007, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones decide implementar contratos de conservación vial por Niveles de Servicio que garanticen la transitabilidad bajo estándares definidos. En el caso de conservación periódica, la propuesta técnica consistió en realizar un diseño de pavimento básico consistente en la conformación de una capa de base granular de espesor de 15 cm en promedio (componente estructural) y complementar con la aplicación de un tratamiento superficial asfáltico para lograr la impermeabilización de la superficie (componente funcional). (Elaboración propia)

En el año, 2012 tras la evaluación y recomendación del Ministerio de Economía y Finanzas se definió a estas actividades de intervención de pavimentos básicos con tratamiento superficial asfáltico como mejoramientos de carreteras con una vida útil de 10 años. (Elaboración propia)

En el caso de análisis y evaluación de la presente tesis se ha escogido a la carretera Mayumbamba – Paruro de 13.5 km de longitud, que es una carretera de bajo volumen de tránsito con un Esal de 375,000 Ejes Equivalentes. Esta vía perteneció a la denominada Red Vial Regional N° 02 con 285 km de longitud emplazadas en las provincias de Paruro y Acomayo (identificación hecha por el Gobierno Regional Cusco – 2012). Esta vía de estudio, fue intervenida como parte del CONTRATO N° 188 – 2012 GR CUSCO/PR entre el Gobierno Regional Cusco y la empresa

contratista INGENIEROS CIVILES CONTRATISTAS GENERALES SA – ICCGSA, con la finalidad contractual de realizar el SERVICIO DE CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO en la Red Vial N° 02. (Elaboración propia)

Tras la intervención de la conservación periódica, el pavimento básico presento deterioros superficiales que llamaron para analizar y evaluar las causas que generaron dichos deterioros. Realizándose la propuesta académica de tomar mediciones de deflectometría con Viga Benkelman cada 25 metros en una longitud de 1,350 metros con la finalidad de tener un espectro de respuesta ante carga estándar de 8.2 TN en el eje simple posterior del camión volquete utilizado. Los resultados evidenciaron una variabilidad significativa (Coeficiente de Variación de 56.67%), lo que evidencia que ha existido una falta de control de calidad adecuado en la conformación de la capa de base granular la cual presenta espesores variables tanto inferiores como superiores. Esta situación ha sido desarrollada en la presente tesis con la finalidad de utilizar el análisis y evaluación de los resultados para proponer una metodología de evaluación de pavimentos básicos con el uso de Viga Benkelman para la realidad de la región del Cusco. (Elaboración propia)



Ilustración 1 tramo Mayubamba Paruro

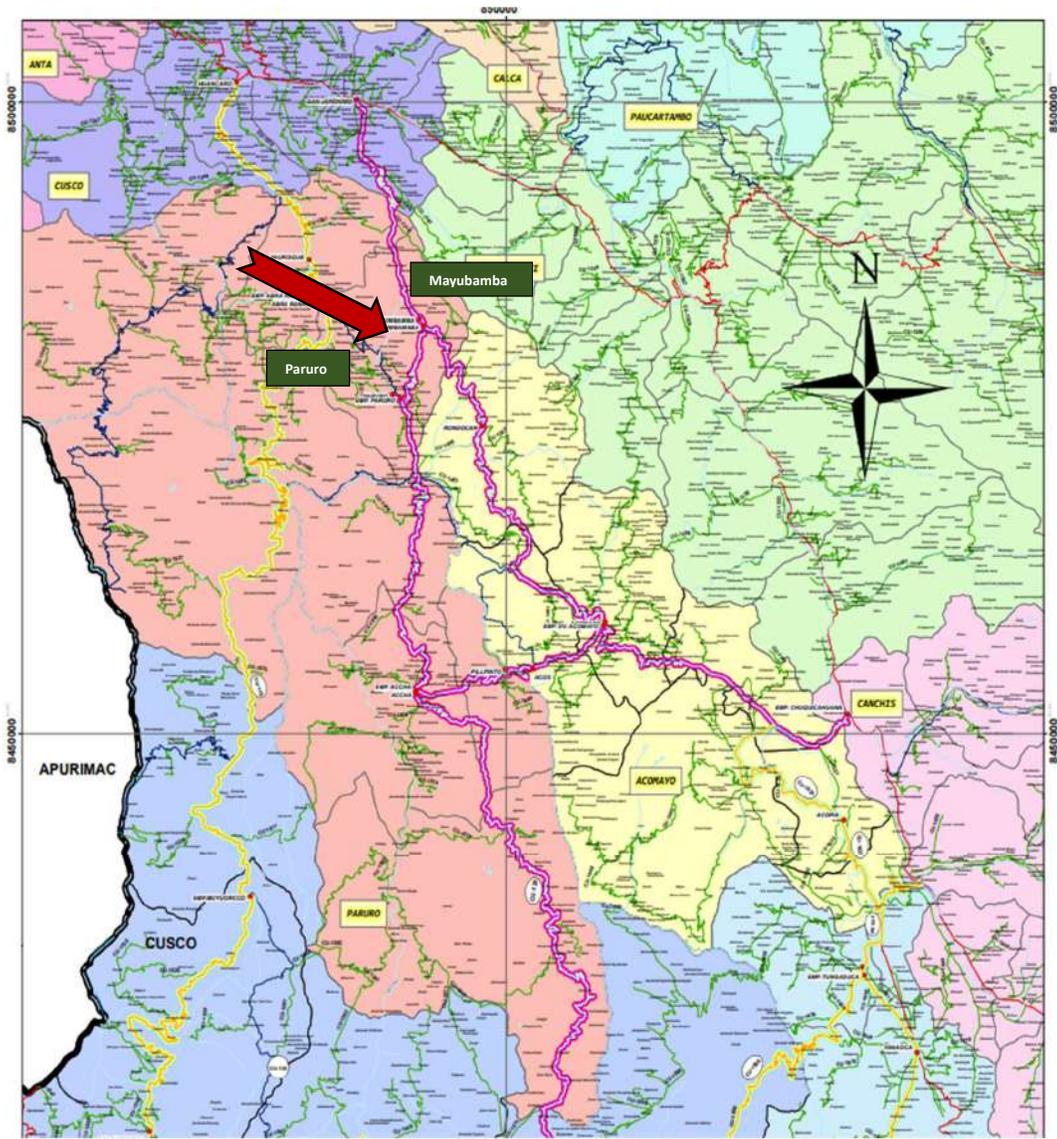


Ilustración 2 Tramos de la Red Vial N° 02

Tabla 1 Codificación de Tramos de Red Vial 02

RUTA	TRAMOS RED VIAL 02
RUTA 2 - 1	
CU - 117	Puente Chuquicahuana - Acomayo
CU - 123	Acomayo - Rondocan
CU - 123	Rondocan - Mayumbamba
CU - 117	Acomayo - Acos - Pillpinto - Accha
RUTA 2 - 2	
CU - 123	San Jerónimo - Mayumbamba
CU - 121	Mayumbamba (Hcda Cachivay) - Paruro
CU - 117	Paruro - Accha
CU - 129	Accha - Omacha
CU - 129	Omacha - Chaccapuccara - Huillquiccasa



Ilustración 3 Inicio del tramo Mayubamba Paruro



Ilustración 4 Plaza de armas de Paruro



Ilustración 5 Empalme CU 121 - CU 123



Ilustración 6 Fin del tramo Mayubamba Paruro

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿La variabilidad del número estructural efectivo, afecta el desempeño estructural del pavimento básico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023 y como aportara una metodología de evaluación de pavimentos básicos para la región del Cusco?

1.2.2. Problemas específicos

¿Los valores de deflectometría verifican el desempeño estructural del pavimento básico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023?

¿Los valores de rugosidad superficial evidencian el desempeño estructural del pavimento básico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023?

¿Las fallas superficiales evidencian el desempeño estructural del pavimento básico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023?

¿Es factible proponer una metodología para la evaluación de pavimentos básicos con el uso de Viga Benkelman para la Región del Cusco?

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Justificación Técnica

La falta de control de calidad en el proceso constructivo de la conformación de la base mejorada o estabilizada en los pavimentos básicos, y el control topográfico de espesores trae consecuencias que generan deterioros prematuros en la estructura del pavimento. Lo que genera gastos innecesarios en la programación de nuevas intervenciones en tiempos más cortos. Por lo que es necesario realizar el estudio de las condiciones estructural y funcional del pavimento básico para proponer alternativas técnicas de evaluación para la realidad de la región del Cusco.

1.3.2. Justificación Teórica

El propósito de la tesis es aportar al conocimiento sobre el comportamiento estructural de los pavimentos básicos en su rango elástico y se proponga métodos de evaluación de la condición de serviciabilidad, para la programación estratégica de intervenciones que busquen brindar un servicio de transitabilidad adecuados a todos los usuarios de la Vía.

1.3.3. Justificación Práctica

Esta investigación se realiza porque existe la necesidad de mejorar las condiciones de control de calidad y el control topográfico en los procesos constructivos la base estabilizada o mejorada de los pavimentos básicos y de esta manera optimizar los recursos económicos asignados, plasmado en intervenciones oportunas mediante la aplicación de metodologías de evaluación de condición de serviciabilidad de los pavimentos básicos con uso de instrumentos como la Viga Benkelman.

1.3.4. Justificación Metodológica

La elaboración de la investigación tiene por finalidad proponer una metodología para la evaluación de la condición de serviciabilidad de los pavimentos básicos en función de las características geográficas, geotécnicas y socioeconómicas de la región del Cusco, y así la tesis contribuya al conocimiento del comportamiento de los pavimentos básicos a través de métodos técnicos y académicos, y que puedan servir para futuras investigaciones en la ingeniería de la conservación vial.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Verificar que, la variabilidad del número estructural efectivo, afecta el desempeño estructural del pavimento básico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023 con la finalidad de proponer una metodología de evaluación de pavimentos básicos para la región del Cusco.

1.4.2. Objetivos específicos

- Establecer que, los valores de deflectometría verifican el desempeño estructural del pavimento básico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023.
- Demostrar que, los valores de rugosidad superficial evidencian el desempeño estructural del pavimento básico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023.
- Evidenciar a través de la evaluación de las fallas superficiales el desempeño estructural del pavimento básico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023.
- Proponer una metodología para la evaluación de pavimentos básicos con el uso de Viga Benkelman para la Región del Cusco.
-

CAPITULO II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Método AASHTO-86(93) en el diseño de pavimentos flexibles basado en el Número Estructural del pavimento.

La aplicación del Método AASHTO-72 se mantuvo hasta mediados del año 1983, cuando se determinó que, aun cuando el procedimiento que se aplicaba alcanzaba sus objetivos básicos, podían incorporarse algunos de los adelantos logrados en los análisis y el diseño de pavimentos que se habían conocido y estudiado desde ese año 1972; por esta razón, en el período 1984-1985 el Subcomité de Diseño de Pavimentos junto con un grupo de Ingenieros Consultores comenzó a revisar el "Procedimiento Provisional para el Diseño de Pavimentos AASHTO-72", y a finales del año 1986 concluye su trabajo con la publicación del nuevo "Manual de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO '86", y sigue una nueva revisión en el año 1993, por lo cual, hoy en día, el método se conoce como Método AASHTO-93. (Corredor, 2004)

Según Gustavo Corredor, este diseño conserva las ecuaciones de comportamiento de los pavimentos que se definieron en el Experimento Vial de la AASHO en 1961, las cuales siguen siendo los modelos fundamentales para el diseño de pavimentos. No obstante, han ocurrido cambios significativos en diversas áreas del diseño, por lo que se pueden destacar los siguientes: (Corredor, 2004)

1. Incorporación de un "Factor de Confiabilidad" fundamentado en un posible cambio del tráfico a lo largo del período de diseño, que permite al Ingeniero Proyectista utilizar el concepto de análisis de riesgo para los diversos tipos de facilidades viales a proyectar. (Corredor, 2004)

2. Sustitución del Valor Soporte del Suelo (Si), por el Módulo Resiliente (Método de Ensayo AASHTO T274), el cual proporciona un procedimiento de laboratorio racional, o mejor aún de carácter científico que se corresponde con los principios fundamentales de la teoría elástica para la determinación de las propiedades de resistencia de los materiales. (Corredor, 2004)

3. Empleo de los módulos resilientes para la determinación de los coeficientes estructurales, tanto de los materiales naturales o procesados, como de los estabilizados. (Corredor, 2004)

4. Establecimiento de guías para la construcción de sistemas de subdrenajes, y modificación de las ecuaciones de diseño, que permiten tomar en cuenta las ventajas que resultan, sobre el comportamiento de los pavimentos, como consecuencia de un buen drenaje. (Corredor, 2004)

5. Sustitución del "Factor Regional", y que según Corredor es un valor indudablemente bastante subjetivo, por un enfoque más racional que toma en consideración los efectos de las características ambientales tales como humedad y temperatura sobre las propiedades y comportamiento de los materiales. (Corredor, 2004)

Ecuación de diseño:

La ecuación AASHTO-93 toma la siguiente forma:

$$\log_{10} W_{t18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

Variables independientes:

Wt18: Número de aplicaciones de cargas equivalentes de 80 kN acumuladas en el periodo de diseño (n). (Corredor, 2004)

ZR: Valor del desviador en una curva de distribución normal, función de la Confiabilidad del diseño (R) o grado de confianza en que las cargas de diseño no serán superadas por las cargas reales aplicadas sobre el pavimento. (Corredor, 2004)

So: Desviación estándar del sistema, función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio. (Corredor, 2004)

ΔPSI: Pérdida de Serviciabilidad (Condición de Servicio) prevista en el diseño, y medida como la diferencia entre la “planitud” (calidad de acabado) del pavimento al concluirse su construcción (Serviciabilidad Inicial (Po) y su plenitud al final del periodo de diseño (Servicapacidad Final (Pt)). (Corredor, 2004)

MR: Módulo Resiliente de la subrasante y de las capas de bases y subbases granulares, obtenido a través de ecuaciones de correlación con la capacidad portante (CBR) de los materiales (suelos y granulares). (Corredor, 2004)

Variable dependiente:

SN: Número Estructural, o capacidad de la estructura para soportar las cargas bajo las condiciones de las variables independientes de diseño. (Corredor, 2004)

Según Hossam et al, se define al Número estructural como un indicador de la capacidad estructural del pavimento y que según los modelos históricos de desempeño predicen el valor de numero estructural basados en los datos de deflectometría del pavimento (Hossam, Ragaa, Sherif, & Hafez, 2020).

En el desempeño estructural de un pavimento este depende del comportamiento de la superficie de rodadura donde la perdida de resistencia es compensada restituyendo con nuevos espesores de pavimento que devuelven un número estructural adecuado para el pavimento; este concepto está basado en la medida de deflexiones del pavimento durante su vida útil para conservación periódica de pavimentos flexibles (Abaza, 2005).

2.1.2. Clasificación de las Carreteras

2.1.2.1. Clasificación por demanda

Las carreteras del Perú se clasifican, en función a la demanda en:

Autopistas de Primera Clase

Son carreteras con IMDA (Índice Medio Diario Anual) mayor a 6 000 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central mínimo de 6.00 m; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3.60 m de ancho como mínimo, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos

vehiculares continuos, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas, la superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada (MTC, DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS DG – 2018). (DG2018, 2018)

Autopistas de Segunda Clase

Son carreteras con un IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central que puede variar de 6.00 m hasta 1.00 m, en cuyo caso se instalará un sistema de contención vehicular; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3.60 m de ancho como mínimo, con control parcial de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada. (MTC, DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS DG – 2018) (DG2018, 2018)

Carreteras de Primera Clase

Son carreteras con un IMDA entre 4000 y 2001 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.60 m de ancho como mínimo, puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad, la superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada. (DG2018, 2018)

Carreteras de Segunda Clase

Son carreteras con IMDA entre 2000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.30 m de ancho como mínimo, puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad, la superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada. (DG2018, 2018)

Carreteras de Tercera Clase

Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3.00 m de ancho como mínimo, de manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2.50 m, contando con el sustento técnico correspondiente, estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura, en caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase. (DG2018, 2018)

Trochas Carrozables

Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4.00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m, la superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar. (DG2018, 2018)

2.1.2.2. Clasificación por orografía

Las carreteras del Perú, en función a la orografía predominante del terreno por dónde discurre su trazado, se clasifican en:

Terreno plano (tipo 1)

Cuenta con pendientes transversales al eje de la vía que no superan el 10%, y sus pendientes longitudinales suelen ser inferiores al 3%, lo que requiere un mínimo de movimiento de tierras y facilita su trazado sin grandes complicaciones. (DG2018, 2018)

Terreno ondulado (tipo 2)

Presenta pendientes transversales al eje de la vía que varían entre el 11% y el 50%, y sus pendientes longitudinales oscilan entre el 3% y el 6%, lo que requiere un movimiento moderado de tierras. Esto posibilita el uso de alineamientos rectos, intercalados con curvas de radios amplios, sin grandes complicaciones en el trazado. (DG2018, 2018)

Terreno accidentado (tipo 3)

Presenta pendientes transversales al eje de la vía que van del 51% al 100%, y sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre el 6% y el 8%. Esto implica la necesidad de realizar movimientos de tierras significativos, lo que genera dificultades en el trazado. (DG2018, 2018)

Terreno escarpado (tipo 4)

Cuenta con pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100% y pendientes longitudinales excepcionales que superan el 8%, lo que requiere un movimiento de tierras máximo, generando grandes dificultades en su trazado. (DG2018, 2018)

2.1.3. Vehículos de diseño

2.1.3.1. Características generales

El Diseño Geométrico de Carreteras se efectuará en concordancia con los tipos de vehículos, dimensiones, pesos y demás características, contenidas en el Reglamento Nacional de Vehículos, vigente. (DG2018, 2018)

Las características físicas y la proporción de vehículos de distintos tamaños que circulan por las carreteras, son elementos clave en su definición geométrica, por ello, se hace necesario examinar todos los tipos de vehículos, establecer grupos y seleccionar el tamaño representativo dentro de cada grupo para su uso en el proyecto, estos vehículos seleccionados, con peso representativo, dimensiones y características de operación, utilizados para establecer los criterios de los proyectos de las carreteras, son conocidos como vehículos de diseño. (DG2018, 2018)

Al elegir el vehículo de diseño, se debe considerar la composición del tráfico que utiliza o utilizará la vía. Generalmente, existe una cantidad significativa de vehículos pesados que influye en las características del proyecto vial, por lo tanto, el vehículo de diseño estándar será el vehículo comercial rígido, como camiones y/o autobuses. (DG2018, 2018)

Las características de los vehículos tipo mencionados determinan diversos aspectos del dimensionamiento geométrico y estructural de una carretera, donde podemos mencionar: (DG2018, 2018)

- El ancho del vehículo adoptado incide en los anchos del carril, calzada, bermas y sobrecancho de la sección transversal, el radio mínimo de giro, intersecciones y gálibo. (DG2018, 2018)
- La distancia entre los ejes influye en el ancho y los radios mínimos internos y externos de los carriles. (DG2018, 2018)
- La relación de peso bruto total/potencia, guarda relación con el valor de las pendientes admisibles. (DG2018, 2018)

Tabla 2 Dimensiones de Vehículos, fuente MTC DG 2018

**Datos básicos de los vehículos de tipo M utilizados para el dimensionamiento de carreteras
Según Reglamento Nacional de Vehículos (D.S. N° 058-2003-MTC o el que se encuentre vigente)**

Tipo de vehículo	Alto total	Ancho Total	Vuelo lateral	Ancho ejes	Largo total	Vuelo delantero	Separación ejes	Vuelo trasero	Radio mín. rueda exterior
Vehículo ligero (VL)	1.30	2.10	0.15	1.80	5.80	0.90	3.40	1.50	7.30
Ómnibus de dos ejes (B2)	4.10	2.60	0.00	2.60	13.20	2.30	8.25	2.65	12.80
Ómnibus de tres ejes (B3-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	14.00	2.40	7.55	4.05	13.70
Ómnibus de cuatro ejes (B4-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	15.00	3.20	7.75	4.05	13.70
Ómnibus articulado (BA-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	18.30	2.60	6.70 / 1.90 / 4.00	3.10	12.80
Semirremolque simple (T2S1)	4.10	2.60	0.00	2.60	20.50	1.20	6.00 / 12.50	0.80	13.70
Remolque simple (C2R1)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	10.30 / 0.80 / 2.15 / 7.75	0.80	12.80
Semirremolque doble (T3S2S2)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	5.40 / 6.80 / 1.40 / 6.80	1.40	13.70
Semirremolque remolque (T3S2S1S2)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	5.45 / 5.70 / 1.40 / 2.15 / 5.70	1.40	13.70
Semirremolque simple (T3S3)	4.10	2.60	0.00	2.60	20.50	1.20	5.40 / 11.90	2.00	1

2.1.4. Velocidad de diseño

Definición

Es la velocidad escogida para el diseño, entendiéndose que será la máxima que se podrá mantener con seguridad y comodidad, sobre una sección determinada de la carretera, cuando las circunstancias sean favorables para que prevalezcan las condiciones de diseño. (DG2018, 2018)

En el proceso de asignación de la Velocidad de Diseño, se debe otorgar la máxima prioridad a la seguridad vial de los usuarios, por ello, la velocidad de diseño a lo largo del trazo, debe ser tal, que los conductores no sean sorprendidos por

cambios bruscos y/o muy frecuentes en la velocidad a la que pueden realizar con seguridad el recorrido. (DG2018, 2018)

El proyectista, para garantizar la consistencia de la velocidad, debe identificar a lo largo de la ruta, tramos homogéneos a los que, por las condiciones topográficas, se les pueda asignar una misma velocidad, esta velocidad, denominada Velocidad de Diseño del tramo homogéneo, es la base para la definición de las características de los elementos geométricos, incluidos en dicho tramo. Para identificar los tramos homogéneos y establecer su Velocidad de Diseño, se debe atender a los siguientes criterios: (DG2018, 2018)

1) La longitud mínima de un tramo de carretera, con una velocidad de diseño dada, debe ser de tres (3) kilómetros, para velocidades entre veinte y cincuenta kilómetros por hora, 20 y 50 km/h, y de cuatro (4) kilómetros para velocidades entre sesenta y ciento veinte kilómetros por hora, 60 y 120 km/h. (DG2018, 2018)

2) La diferencia de la Velocidad de Diseño entre tramos adyacentes, no debe ser mayor a veinte kilómetros por hora (20 km/h). (DG2018, 2018)

No obstante, lo anterior, si debido a un marcado cambio en el tipo de terreno en un corto sector de la ruta, es necesario establecer un tramo con longitud menor a la especificada, la diferencia de su Velocidad de Diseño con la de los tramos adyacentes no deberá ser mayor de diez kilómetros por hora, 10 km/h. (DG2018, 2018)

Tabla 3 Rango de Velocidades de Diseño, fuente MTC DG 2018

Rangos de la Velocidad de Diseño en función a la clasificación de la carretera por demanda y orografía.

CLASIFICACIÓN	OROGRAFÍA	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO VTR (km/h)												
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130		
Autopista de primera clase	Plano													
	Ondulado													
	Accidentado													
	Escarpado													
Autopista de segunda clase	Plano													
	Ondulado													
	Accidentado													
	Escarpado													
Carretera de primera clase	Plano													
	Ondulado													
	Accidentado													
	Escarpado													
Carretera de segunda clase	Plano													
	Ondulado													
	Accidentado													
	Escarpado													
Carretera de tercera clase	Plano													
	Ondulado													
	Accidentado													
	Escarpado													

2.1.5. Niveles de servicio

Acorde a la teoría de Capacidad de Carreteras, cuando el volumen del tránsito es del orden de la capacidad de la carretera, las condiciones de operación son malas, aun cuando el tránsito y el camino presenten características ideales, en efecto, la velocidad de operación considerada fluctúa alrededor de 48 km/h para la totalidad de los usuarios y la continuidad del flujo será inestable, pudiendo en cualquier momento interrumpirse, pasando de un flujo máximo a un flujo cero, durante el período de detención. (DG2018, 2018)

Es necesario, por tanto, que el volumen de demanda sea menor que la capacidad de la carretera, para que ésta proporcione al usuario un nivel de servicio aceptable, la demanda máxima que permite un cierto nivel o calidad de servicio es lo que se define como Volumen de Servicio. (DG2018, 2018)

La metodología desarrollada por el TRB define cuatro Niveles de Servicio (A, B, C y D) que permiten condiciones de operaciones superiores a las antes descritas, cuando la carretera opera a capacidad se habla de Nivel E y cuando se tiene flujo forzado se le denomina Nivel F. (DG2018, 2018)

Nivel A:

Corresponde a las condiciones de libre flujo vehicular, las maniobras de conducción no son afectadas por la presencia de otros vehículos y están condicionadas únicamente por las características geométricas de la carretera y las decisiones del conductor, este nivel de servicio ofrece comodidad física y psicológica al conductor, las interrupciones menores para circular son fácilmente amortiguadas sin que exijan un cambio en la velocidad de circulación. (DG2018, 2018)

Nivel B:

Indica condiciones buenas de libre circulación, aunque la presencia de vehículos que van a menor velocidad puede influir en los que se desplazan más rápido, las velocidades promedio de viaje son las mismas que en el nivel A, pero los conductores tienen menor libertad de maniobra, las interrupciones menores son todavía fácilmente absorbibles, aunque los deterioros locales del nivel de servicio, pueden ser mayores que en el nivel anterior. (DG2018, 2018)

Nivel C:

En este nivel, la influencia de la densidad de tráfico en la circulación vehicular determina un ajuste de la velocidad, la capacidad de maniobra y las posibilidades de adelantamiento, se ven reducidas por la presencia de grupos de vehículos en las carreteras de varios carriles con velocidades de circulación mayores a 80 km/h, se reducirá el libre flujo sin llegar a la detención total, las interrupciones menores pueden causar deterioro local en el nivel de servicio y se formarán colas de vehículos ante cualquier interrupción significativa del tráfico. (DG2018, 2018)

Nivel D:

La capacidad de maniobra se ve severamente restringida, debido a la congestión del tránsito que puede llegar a la detención, la velocidad de viaje se reduce por el incremento de la densidad vehicular, formándose colas que impiden el adelantamiento a otros vehículos, solo las interrupciones menores pueden ser absorbibles, sin formación de colas y deterioro del servicio. (DG2018, 2018)

Nivel E:

La intensidad de la circulación vehicular se encuentra cercana a la capacidad de la carretera, los vehículos son operados con un mínimo de espacio entre ellos, manteniendo una velocidad de circulación uniforme, las interrupciones no pueden ser disipadas de inmediato y frecuentemente causan colas, que ocasionan que el nivel de servicio se deteriore hasta llegar al nivel F, para el caso de las carreteras de varios carriles con velocidad de flujo libre entre 70 y 100 km/h, los vehículos desarrollan velocidades menores, que son variables e impredecibles. (DG2018, 2018)

Nivel F:

En este nivel, el flujo se presenta forzado y de alta congestión, lo que ocurre cuando la intensidad del flujo vehicular (demanda) llega a ser mayor que la capacidad de la carretera, bajo estas condiciones, se forman colas en las que se experimenta periodos cortos de movimientos seguidos de paradas, debe notarse que el nivel F se emplea para caracterizar tanto el punto de colapso, como las condiciones de operación dentro de la cola vehicular. (DG2018, 2018)

2.1.6. Modalidades de ejecución de la conservación vial

Para su ejecución cada una de las entidades competentes, pueden realizar la conservación vial bajo las siguientes modalidades, según se justifique adecuadamente, cómo lograr mayor eficiencia con los recursos que dispone, en el cumplimiento de su responsabilidad de conservar en un buen nivel de operatividad los caminos bajo su competencia: a) por administración directa; b) por convenios con organismos públicos o privados; y c) por contratos con empresas o entidades privadas (VIAL, 2016)

Para los contratos con entidades privadas, puede considerar aplicar modalidades permitidas por ley:

- Concesiones viales. (VIAL, 2016)
- Contratos convencionales por programas y ejecución de cantidades de obras o actividades similares. (VIAL, 2016)

- Contratos por “niveles de servicio” referidos a la condición operativa del camino en sus diversos componentes, que debe mantener el contratista. (VIAL, 2016)

- Contratos por “Asociación Público-Privada”, y otros como los denominados “Contratos CREMA”. (VIAL, 2016)

- Otros similares que pueden diseñarse o crearse posiblemente como producto de las experiencias exitosas y que finalmente se plasman en las respectivas especificaciones técnicas en los contratos. (VIAL, 2016)

2.1.7. Medida de la Deflexión de un Pavimento Flexible Empleando la Viga Benkelman.

2.1.7.1. Objetivo

Detallar el procedimiento para determinar con una viga Benkelman la deflexión o deformación recuperable, el radio de curvatura y el cuenco de deflexiones de un pavimento flexible, producidos por una carga estática, para tal fin se utiliza un camión donde la carga, tamaño de llantas, espaciamiento entre ruedas duales y presión de inflado están normalizadas. (MATERIALES, 2016)

2.1.7.2. Finalidad y Alcance

La deflexión, es la deformación elástica que sufre un pavimento bajo la acción de una carga rodante normalizada, mediante ella es posible evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura debido a las solicitaciones del tránsito que lo utiliza, el campo de aplicación de estas mediciones es muy amplio, empleándose principalmente para determinar la vida útil remanente de un pavimento, evaluar estructuralmente los pavimentos con fines de mantenimiento, mejoramiento o rehabilitación, evaluar los métodos de diseño de pavimentos y control de ejecución de obras, evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura debido a las solicitaciones del tránsito que lo utiliza, y establecer si éste presenta suficiencia sin presentar fatiga estructural creciente, el método consiste en medir la deformación producida en la superficie del pavimento por la aplicación de una carga normalizada. (MATERIALES, 2016)

El dispositivo mecánico utilizado es la Viga Benkelman de brazo simple o doble, equipo que mide los desplazamientos verticales de un punto de contacto situado entre las ruedas duales del eje de carga, para una presión de inflado en los neumáticos de 80 psi y una carga de 8.2 t en el eje posterior del camión, la superficie de pavimento a medir mediante este método debe estar seca y libre de suciedad o material suelto que, bajo tránsito normal, será removido. (MATERIALES, 2016)

2.1.8. Evaluación del Índice De Rugosidad Internacional IRI con el Rugosímetro de MERLIN

Rugosímetro MERLIN

El Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL) desarrolló el Rugosímetro MERLIN (acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation), basándose en el principio del perfilómetro estático, con el objetivo de obtener un equipo de bajo costo, fácil manejo y un método de análisis simple con resultados confiables, la gran ventaja en el uso del MERLIN es la exactitud en los resultados que sólo puede ser superada por el método de mira y nivel, pero también tiene la desventaja de que el rendimiento ofrecido por este equipo es muy bajo comparado con los equipos electrónicos y/o dinámicos y el problema es mayor aun cuando es necesario evaluar grandes distancias de carretera y si los resultados son necesarios con prontitud la utilización del MERLIN se hace improductivo. (RODRIGUEZ, 2000)

El Ing. Pablo del Águila en sus diferentes publicaciones sobre la utilización del equipo MERLIN hace hincapié en las bondades del equipo como son: la gran exactitud en los resultados obtenidos, en comparación con cualquier método dinámico y como también en el aspecto económico, siendo solamente necesario dos personas para su operación, lo cual resulta barato en comparación a los equipos dinámicos que necesitan para su operación de vehículos adicionales y el costo mantenimiento y calibración de estos su vez es relativamente alto. (PABLO, 1999)

El Rugosímetro de Merlin, es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo. Según la clasificación de equipos para medición de la regularidad superficial de pavimentos, propuesta por

el Banco Mundial, el Merlin pertenece a la Clase 1, por obtener resultados muy exactos solo superado por el método de Mira y Nivel y además de ser una variación del perfilómetro estático. (Del Águila Rodríguez, 1999).

Esquema y Representación de las Partes de un Equipo MERLIN.

El Merlin es un equipo sencillo y fácil operación, lo cual hace que su utilización resulte completamente económica cuando se trate de evaluar tramos cortos de carretera. La figura muestra las partes de un equipo Merlin. (Del Águila Rodríguez, 1999)

- Rueda con arca de gutapercha.
- Patín móvil.
- Pivote.
- Brazo móvil.
- Puntero
- Manijas.
- Patín fijo.
- Tablero.
- Estabilizador para descanso
- Estabilizador para ensayo

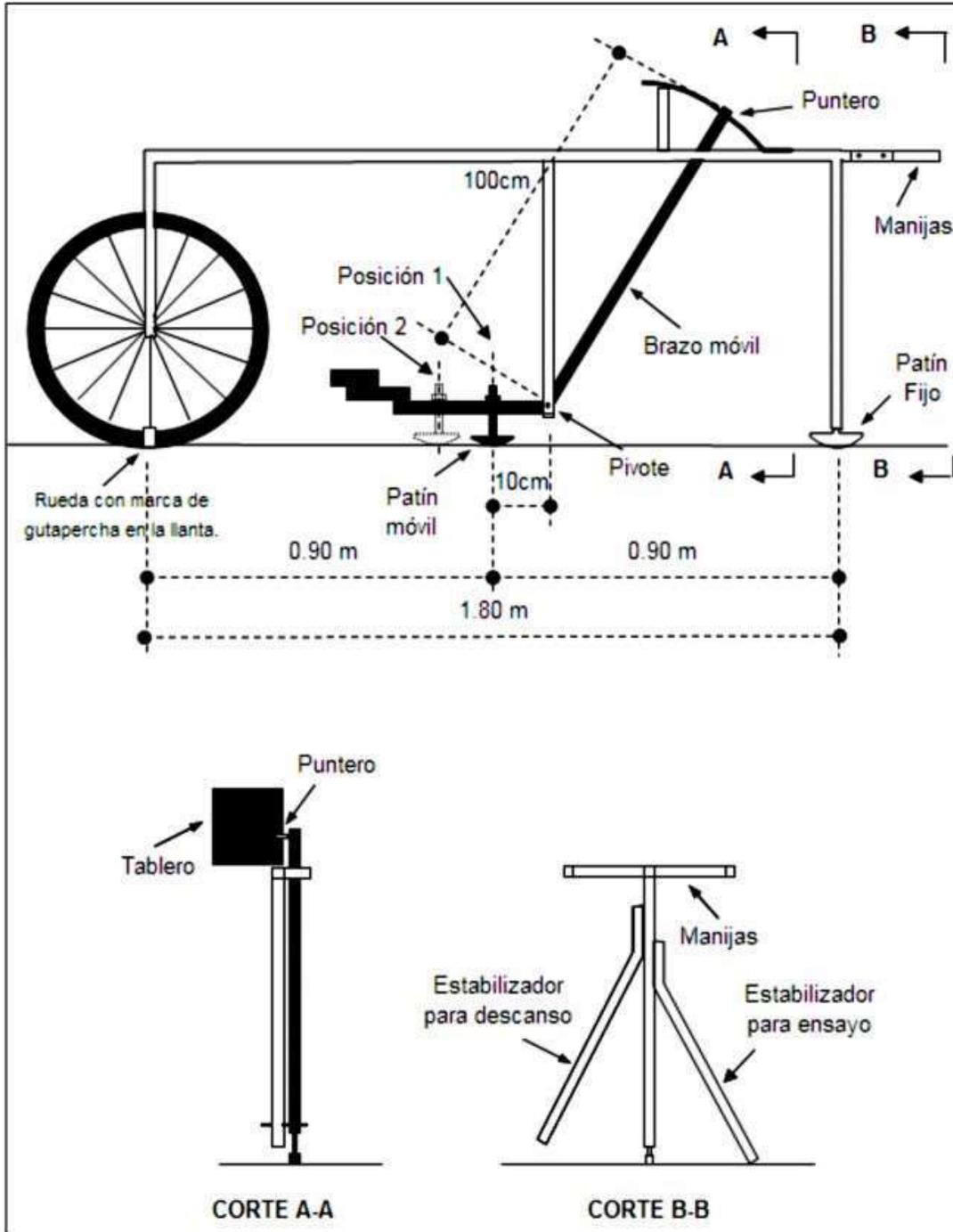


Ilustración 7 Esquema del Rugosímetro de MERLIN

Fuente: (Del Águila Rodríguez, 1999)

Método de Ejecución de los Ensayos

El Tablero del Merlín

La relación entre el patín móvil – pivót y pivót – puntero es de 1 a 10, lo cual da entender que un movimiento en la parte inferior del patín móvil produce un desplazamiento de 1cm (10 mm) en el puntero. Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm de espesor cada una, que va adherida en el borde del tablero sobre el cuál se desliza el puntero. (Del Águila Rodríguez, 1999)

Tabla 4 Tabla de Rugosímetro Merlin

The diagram shows a vertical scale for the Merlin Roughness Gauge. The scale is divided into two main sections: 'DEPRESIONES' (Depressions) in the upper half and 'ELEVACIONES' (Elevations) in the lower half. The scale is numbered from 1 to 50, with 1 at the bottom and 50 at the top. A horizontal line separates the two sections at the 25 mark. The text 'RUGOSIMETRO MERLIN' is at the top left, and '1 DIVISION = 5 mm' is below it. The scale is a grid of 50 rows and 1 column.

50
49
48
47
46
45
44
43
42
41
40
39
38
37
36
35
34
33
32
31
30
29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

Fuente: (Del Águila Rodríguez, 1999)

Procedimiento de Ensayo

Para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajan conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que las anota. Asimismo, debe seleccionarse un trecho de aproximadamente 400 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico.

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del MERLIN, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas. Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLIN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo. La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo, tal como el mostrado en la Tabla. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h. La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar.

Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas. El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen

frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior. Efectuado el descarte de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos.

Debemos de tener en cuenta que cuando en el tablero el puntero indica valores cercanos a 25, el pavimento es menos rugoso y si en cambio está muy alejado de 25, indica que el pavimento presenta muchas imperfecciones.

Para relacionar la rugosidad determinada con el MERLIN con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que es el parámetro utilizado para uniformizar los resultados provenientes de la gran diversidad de equipos que existen en la actualidad, se utilizan las siguientes expresiones (Del Águila Rodríguez, 1999):

$$\text{Cuando } 2.4 < \text{IRI} < 15.9, \text{ entonces } \text{IRI} = 0.593 + 0.0471 D \quad (1)$$

$$\text{Cuando } \text{IRI} < 2.4, \text{ entonces } \text{IRI} = 0.0485 D \quad (2)$$

El rango obtenido del histograma debe ser convertido a milímetros (mm), para lo cual se multiplica con el valor de cada unidad (5mm), cuando se llega a este punto se ha calculado la rugosidad en escala MERLIN en cual debe ser convertido a escala IRI. (Del Águila Rodríguez, 1999)

$$F.C = \frac{EP \times 10}{[(LI - LF) \times 5]}$$

Donde.

EP: Espesor de la pastilla

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

Al multiplicar el rango “D” por el F.C. se obtiene el valor de la rugosidad en “unidades Merlin” (Del Águila Rodríguez, 1999)

Factor de Corrección para el Ajuste de “D”

La condición de relación de los brazos del Rugosímetro de 1 a 10 en ocasiones se cambia, como consecuencia del desgaste del patín del brazo móvil, lo cual debe ser ajustado con el factor de corrección “FC”. La ecuación a utilizar para el ajuste de “D” es: (Del Águila Rodríguez, 1999)

Cálculo de la rugosidad característica

$$\text{IRI característico} = \text{IRI prom} + t * \sigma$$

Donde:

$$\text{IRI característico} = \text{Rugosidad característica del tramo}$$

$$\text{IRI promedio} = \text{Rugosidad promedio del tramo}$$

$$t = \text{Factor estadístico que expresa la probabilidad de que una parte del total presente rugosidad superior al característico (10\%).}$$

$$\sigma = \text{Desviación estándar}$$

2.2. Marco conceptual (palabras clave)

Carretera: Camino para el tránsito de vehículos motorizados de por lo menos dos ejes, cuyas características geométricas, tales como: pendiente longitudinal, pendiente transversal, sección transversal, superficie de rodadura y demás elementos de la misma, deben cumplir las normas técnicas vigentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (Ramos A. G., 2013)

Derecho de Vía: Faja de terreno de ancho variable dentro del cual se encuentra comprendida la carretera y todos los elementos que la conforman, servicios, áreas previstas para futuras obras de ensanche o mejoramiento, y zonas de seguridad para el usuario, su ancho se establece mediante resolución del titular de la autoridad competente respectiva, las obras necesarias para garantizar la seguridad y funcionamiento hidráulico en los ríos, quebradas y otros cursos de agua, no están limitadas a la indicada faja del terreno que constituye el Derecho de Vía. (Ramos A. G., 2013)

Estudio de impacto vial: Es aquel dirigido a identificar los cambios que se generan en el tránsito vehicular y peatonal existente, como consecuencia de la

implementación de un proyecto o instalación dentro o fuera del Derecho de Vía de la carretera, y establecer la solución para mitigar los impactos que puedan producirse por su funcionamiento. (Ramos A. G., 2013)

Plataforma logística: Área dentro de la cual, se realizan diversas actividades relacionadas al transporte intermodal y su gestión, que incluye entre otras, transferencia de carga, logística y distribución, y está provista de los servicios públicos y privados necesarios para su funcionamiento. (Silene & Ordoñez Huaman, 2006)

Sección Transversal: Representación de una sección de la carretera en forma transversal al eje y a distancias específicas, que nombra y dimensiona los elementos que conforman la misma, dentro del Derecho de Vía, hay dos tipos de sección transversal: General y Especial". (Silene & Ordoñez Huaman, 2006)

Sección Transversal General: Está conformada por los elementos de la carretera, tales como: calzada o superficie de rodadura (constituida por carriles), bermas, taludes, sistema de drenaje (cunetas, alcantarillas, zanja de coronación, badenes y otros) y obras complementarias (muros, ductos y cámaras para fibra óptica, elementos del sistema de señalización, seguridad vial e infraestructura para dispositivos de control de tránsito inteligente y otros). (Silene & Ordoñez Huaman, 2006)

Sección Transversal Especial: Corresponde a los tramos de carretera que requieren soluciones de carácter integral a situaciones extraordinarias, tales como: zonas de concentración de personas, comercio, tránsito de vehículos de transporte local, interconexión con el sistema vial local, puentes, túneles y otros, está conformada, además de algunos elementos de la Sección Transversal General, por vías auxiliares vehiculares o peatonales, ciclovías, veredas, facilidades para el uso de personas discapacitadas, intersecciones vehiculares a nivel o desnivel, puentes peatonales, pasos a desnivel para vehículos menores y/o animales, estaciones de peaje, pesaje, ensanches de plataforma y otros elementos de la misma. (Ramos A. G., 2013)

Tramos homogéneos: Son aquellos que el diseñador identifica a lo largo de una carretera, a los que, por las condiciones orográficas, se les asigna una misma velocidad de diseño, por lo general, una carretera tiene varios tramos homogéneos. (Ramos A. G., 2013)

Velocidad de diseño de tramo homogéneo: Es la base para la definición de las características de los elementos geométricos incluidos para un tramo homogéneo. (Ramos A. G., 2013)

Velocidad de Operación: Es la velocidad máxima a la que pueden circular los vehículos en un determinado tramo de una carretera, sin sobrepasar la velocidad de diseño de tramo homogéneo. (Ramos A. G., 2013)

Deflectometría: Es el proceso de medición de la deformación vertical de la superficie de un pavimento ante la aplicación de una carga medida con un instrumento bajo un procedimiento controlado y estandarizado. (Silene & Ordoñez Huaman, 2006)

Deformación Vertical: Es una deflexión que sufre un cuerpo ante la aplicación de una carga o fuerza en dirección de la gravedad. (Angel Gomez Ramos, 2013)

Esfuerzo: Es el valor resultante de la aplicación de una fuerza por unidad de área, lo cual generará en el cuerpo un efecto de deformación. (Silene & Ordoñez Huaman, 2006)

Numero Estructural: Es una magnitud adimensional propia de la ingeniería vial, que representa la resistencia que debe tener una estructura de pavimento en función a las características propias del material (densidad, elasticidad y otros) y de la proyección de cargas acumuladas aplicables al mismo. (Ramos A. G., 2013)

Esal: Es un valor equivalente de cargas proyectadas a aplicarse a una estructura de pavimento calculado en base a la proyección del tráfico actual y del tráfico futuro considerando que la carga estandarizada es de 8.2 Tn. (Rodriguez & Del Castillo, 2000)

Módulo Resiliente: Una de sus principales interpretaciones es que representa el módulo de elasticidad de una capa de material perteneciente a una estructura de

pavimento. Esta puede calcularse u obtener del ensayo triaxial en laboratorio de mecánica de suelos. (Ramos A. G., 2013)

Medio Continuo: Es la idealización de un cuerpo semi infinito de características homogéneas, que sirve para idealizar los comportamientos entre esfuerzos y deformaciones. (Acurio, 2016)

2.3. Antecedentes empíricos de la investigación (estado del arte)

La presente investigación está enmarcada en cuestionar los procedimientos constructivos durante la conformación de la capa de base estabilizada o mejorada como parte de la conservación periódica de carreteras departamentales con la aplicación de soluciones básicas asfálticas; en las que se estaría dejando de mantener el control en los espesores de diseño de dicha capa de pavimento, vulnerando así su desempeño y en consecuencia la temprana presencia de patologías estructurales y funcionales que hacen que se pierda la inversión realizada por el estado en dichas carreteras.

2.3.1. Antecedentes internacionales

Tema: “MODELO DE GESTIÓN DE CONSERVACIÓN VIAL PARA LA RED VIAL RURAL DEL CANTÓN SANTO DOMINGO”

Autor: WASHINGTON PATRICIO NAVARRO BATALLAS

Universidad: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Año: 2016

País: Ecuador

Resumen

En el Ecuador, a nivel de carreteras de provincia que generalmente se catalogan de segundo orden, la gestión de conservación vial es insuficiente, si bien la construcción de las carreteras viene acompañada de una fiscalización privada o del estado las cuales para su control tienen como base las especificaciones del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, las instituciones encargadas no han recopilado suficiente información de las características técnicas de estas carreteras

para gestionar y programar las intervenciones y evitar el deterioro prematuro de las vías. (Navarra batallas, 2016)

La problemática observada a nivel general en las carreteras de segundo orden del Ecuador, es el deterioro prematuro de las vías, ya sea por los materiales que las constituyen, insuficiente fiscalización o diseños que no corresponden a la realidad, además no existe un banco de estadísticas de estas carreteras como, archivos GIS o CAD con la ubicación geográfica, longitud, ancho, estructura del pavimento, y demás datos técnicos que servirían para implementar un sistema de inventario para control y monitoreo de las vías, y determinar modelos de gestión aplicables para la realidad vial en esa zona, dependiendo de los recursos de las provincias, cantones y ciudades, el no tener un modelo de conservación vial, las consecuencias a futuro son graves, el no intervenir a tiempo, postergando su mantenimiento o rehabilitación vial, implica el deterioro de la red vial generando costosas reconstrucciones, con niveles de servicio por debajo de los estándares recomendados. (Navarra batallas, 2016)

Propone las siguientes Conclusiones

- El índice de condición de pavimento de la vía San Antonio - El Placer del Toachi, tiene una calificación de 49, que está dentro del rango de Regular.
- El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), proyectado a 20 años es de 209, esto indica que es una vía de IV orden, según la clasificación del Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (Navarra batallas, 2016)
- Las alcantarillas tienen una calificación de 75 %
- Las cunetas tienen una calificación de 87.5%
- La señalización tiene una calificación de 66.10%.
- La calificación tomando en cuenta las alcantarillas, cunetas y señalización tiene una calificación de 67.5, clasificada como buena.
- La superficie de rodadura la vía es la que más incide para que el tránsito vehicular sea seguro, rápido y cómodo. Por lo indicado, es importante proceder de manera oportuna a la corrección de sus deterioros y a evitar que éstos progresen, lo que se consigue con un buen plan de mantenimiento. (Navarra batallas, 2016)

- La ejecución de las labores de mantenimiento por administración directa suele enfrentar una serie de dificultades, principalmente de índole presupuestario y administrativo, por lo que se concluye que el mantenimiento rutinario y periódico de la vía San Antonio - El Placer del Toachi, se lo debería realizar contractualmente, el Contratista que ejecutó las obras de ensanchamiento y mejoramiento de la vía existente, durante un período de cinco (5) años. (Navarra batallas, 2016)

2.3.2. Antecedentes nacionales

Tema: “Modelo de Gestión de Conservación Vial para Reducir Costos de Mantenimiento Vial y Operación Vehicular del Camino Vecinal Raypa-Huanchay-Molino, Distrito Culebras-Huarmey”

Autor: GIOVANA MARLENE ZARATE ALEGRE

Universidad: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Año: 2016

País: Perú - Trujillo

Resumen

En el Perú, y en general en los países en vías de desarrollo, la falta de una adecuada gestión de conservación vial, ha producido que las redes viales tengan un ciclo “fatal” de la vía, que incluye la construcción, su abandono, el deterioro excesivo, colapso y su reconstrucción. (Marlene, 2016)

En las carreteras del país se observa con frecuencia la gran diferencia en costo que implica no intervenir a tiempo en una vía, dejando desarrollar su deterioro y postergando su mantenimiento o rehabilitación, este fenómeno desencadena en la necesidad de realizar costosas reconstrucciones luego de un prolongado periodo de operación con niveles de servicio muy por debajo de los estándares recomendados para proporcionar al usuario confort y seguridad en sus viajes. (Marlene, 2016)

Un mejoramiento puede costar alrededor de nueve veces más que el oportuno mantenimiento rutinario y periódico, y una reconstrucción mucho más, de ahí la

importancia de implantar el modelo de gestión de conservación vial más adecuado a las circunstancias, que permita optimizar recursos a las entidades involucradas a través del tiempo. (Marlene, 2016)

En la presente investigación, se analizó el Camino Vecinal Raypa – Huanchay Molino, Distrito Culebras-Huarmey de aproximadamente 13 km, la cual servirá como modelo, para aplicar una adecuada gestión de conservación vial, que permitirá reducir los costos de operación vehicular y costos de mantenimiento vial, para ello se recopiló información de las Instituciones Públicas y privadas como el Gobierno Distrital de Culebras y la consultora IHACSAC-Antamina, en donde se recogió información histórica de los estudios elaborados y las intervenciones realizadas. (Marlene, 2016)

Finalmente, se plantea la propuesta, explicando, el modelo de gestión de conservación vial, que permite la reducción significativa de los costos de operación vehicular y de mantenimiento vial. (Marlene, 2016)

Propone las siguientes Conclusiones

- La propuesta de un modelo de gestión de conservación vial, en el cual se administre de manera que las redes viales ofrezcan niveles de servicio óptimo, con rapidez, seguridad y comodidad, permitirá que los costos de operación vehicular disminuyan en relación a los costos que se generen, al transitar en una red vial sin mantenimiento y en pésimas condiciones, lo cual es beneficiosos para los usuarios viales. (Marlene, 2016)

- El conservar una vía, en condiciones óptimas, mediante intervenciones con acciones de mantenimiento rutinario y periódico representa para las Instituciones Administradoras de redes viales, un ahorro significativo, comparando con vías, a las cuales no se las ha mantenido y las han abandonado hasta el punto de deterioros severos, los cuales sólo se pueden corregir con la reconstrucción, mejoramiento o rehabilitación integral de la vía, la relación de acuerdo al estudio es de 9 a 1, es decir se gastaría nueve veces más si se llega al punto de deterioro severo, en relación a mantener las vías en condiciones de operación óptima. (Marlene, 2016)

- Entre los varios modelos de conservación, se propone el modelo de mantenimiento integral, pues se ajusta a los requerimientos de nuestra vía, obteniendo grandes ventajas, entre ellas, la liberación al estado de la carga laboral, rápidas respuestas para atender a los problemas presentados, se mantiene la transitividad y seguridad vial. (Marlene, 2016)

- Uno de los factores que determinará el éxito de la intervención de conservación, es el inventario vial, pues nos permitirá conocer exactamente las condiciones actuales, sus principales problemas, la manera de enfrentarlos, lo cual nos permite programar actuaciones y presentar presupuestos para lograr mantener nuestras vías. (Marlene, 2016)

- El tráfico es un factor determinante, pues si está mal concebido, se puede dar el caso de que la vía se exponga a una mayor repetición de cargas de tráfico, provocando que la estructura se deteriore, por lo que se debe evaluar continuamente el tráfico presente en la vía y sobre todo sus cargas admisibles. (Marlene, 2016)

2.3.3. Antecedentes locales

Tema: “Propuesta de Mejoramiento de los Atributos Potenciales y Análisis Comparativo de la Evaluación de Pavimentos con la Viga Benkelman de la Carretera Urcos-Hualla-Hualla Mediante un Rediseño y Análisis de las Propiedades de la Carretera 2020”

Autor: Carbajal Taco Cesar Paul

Universidad: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Año: 2021

País: Perú - Cusco

Resumen

La presente investigación está referida al estudio de los atributos potenciales de la carretera Urcos – Hualla – Hualla mediante un rediseño y análisis de las propiedades de la carretera para luego proceder a dar propuestas de mejoramiento a la carretera, esta evaluación se realizará a través de la elaboración de ensayos

de campo, laboratorio, estudios de tránsito y encuestas a bachilleres o ingenieros de la facultada de ingeniería civil que tengan por lo menos 5 a 10 años de experiencia para dar una mejor propuesta de mejoramiento de los atributos potenciales de la carretera. (Taco, 2021)

El estudio de la presente investigación nos permite determinar los Atributos Potenciales que tiene una carretera para nuestra sociedad, específicamente acerca de efectuar una reflexión respecto a tener que realizar el Diseño Geométrico de carreteras en forma correcta, de tal manera que no se afecte la velocidad directriz y la capacidad de tránsito y de esta manera contribuir al diseño y construcción correcta de nuestras carreteras, en la investigación se propone el inicio de un plan de evaluación de mantenimiento para gobiernos locales teniendo como punto de partida la evaluación estructural usando la viga Benkelman y el Rugosímetro de Merlin para la evaluación de la estructura del pavimento mediante deflexiones y rugosidad de la carretera Urcos – Hualla Hualla, el proceso con la realización de un levantamiento topográfico mediante un dron de los 10km a evaluar de la carretera Urcos – Hualla Hualla para luego comenzar con la recolección de datos de campo, con ayuda de la viga Benkelman y el rugosímetro de Merlin, la cual corresponde a ensayos no destructivos, los datos obtenidos se procesaron mediante Excel y se calcula el índice de rugosidad internacional IRI datos obtenidos con el rugosímetro de merlín y las deflexiones producidas en la subrasante obtenidos mediante la viga Benkelman, con la finalidad de saber el estado del pavimento por medio de su subrasante se comparan los valores de CBR resultantes con los propuestos por el MTC. (Taco, 2021)

Por consiguiente, la investigación proporciona alternativas de solución para el mejoramiento de la carretera Urcos – Hualla – Hualla cumpliendo con los requisitos del MTC que exigen que tenga una carretera de primer nivel. (Taco, 2021)

Propone las siguientes Conclusiones

- Cumpliendo con las normas establecidas por la MTC en relación al diseño geométrico, se propone mejorar los atributos potenciales como disminuir el porcentaje de las pendientes (Ver tabla 82), corregir el radio mínimo de curvatura (ver tablas 86, 88, 90, 92, 94) así como la distancia de visibilidad de parada,

atributos que están en relación a la velocidad de diseño. Siguiendo las especificaciones de diseño estructural de pavimento AASHTO 93, y según los datos obtenidos mediante la viga Benkelman se evaluó la capacidad estructural del pavimento de la carretera Urcos – Hualla Hualla analizado por medio de la aplicación de cargas estáticas y cargas de impacto, aún cumple con la máxima deflexión admisible calculado para este pavimento (Ver tabla 95) y que el índice de rugosidad internacional IRI calculado mediante el rugosímetro de Merlin es menor al IRI admisible del pavimento establecido por el Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL) de esta manera, se cumple con lo estandarizado (Ver tabla 96). Por lo tanto, la propuesta vendría a mejorar el diseño geométrico de la carretera mediante un rediseño porque la parte estructural del pavimento aún cumple con lo establecido en las normas. (Taco, 2021)

- Las velocidades directrices de subida de la carretera Urcos – Hualla Hualla del tramo desde el kilómetro 1+000 hasta el kilómetro 11+000 varían de 20 a 40 Km/h, y de bajada va desde los 20 a 30 Km/h (Ver Tablas 85, 87, 89, 91, 93). Las cuales vendrían a ser bajas para una carretera de segunda clase en la que se analizó que esto es por causa del inadecuado diseño geométrico como son por las fuerte pendientes, lo que provoca que los conductores tengan que conducir a velocidades bajas generando altos costos de operación debido a las curvas cerradas y la poca distancia de velocidad de parada, atributos que están relacionados a la velocidad directriz, lo que provoca que los conductores tengan que conducir a velocidades bajas generando altos costos de operación, esto conlleva a que gastan más combustible y en el mantenimiento general de los vehículos por consiguiente esto causa que tengan que cobrar más en pasajes. Esto se demuestra en el excesivo costo del pasaje como es el caso de las personas que viven en el pueblo de Cjununcunca que se encuentra en el kilómetro 5+600 los pobladores se quejan por el excesivo costo del pasaje que es hasta de 6 soles desde Urcos hasta su pueblo. (Taco, 2021)

- La capacidad de tránsito de la carretera Urcos – Hualla Hualla es de aproximadamente 555 veh/día (Ver Figura 49) la cual no sobrepasa la demanda de vehículos para una carretera de segunda clase que según el MTC debería tener un IMDA entre 2.000 y 400 veh/día, esto es por causa del mal diseño geométrico ya

que generan muchos accidentes al año. Según los datos obtenidos de Ositran (Ver Figuras 43, 42) donde muestra que la capacidad de tránsito, se observa una mayor afluencia en los meses de julio, agosto y diciembre, meses asociados al descanso por vacaciones de Fiestas Patrias y Navidad; mientras que los meses con menor afluencia fueron abril, mayo y noviembre, pero esto podría cambiar para años venideros ya que según el informe del Ositran existe un crecimiento de 13,8% del tráfico esto podría provocar que por el mal diseño de la carretera Urcos-Hualla-Hualla a futuro produzca un déficit en la eficiencia y la carretera no satisfaga la demanda determinada. (Taco, 2021)

- Conociendo las propiedades de la carretera como es la pendiente máxima, tipo de superficie de rodadura, ancho del carril, ancho de berma, velocidad de diseño, radio mínimo, peralte y bombeo (Ver tabla 84) si se podría mejorar los atributos potenciales de la carretera Urcos – Hualla Hualla mediante un rediseño geométrico corrigiendo estos atributos potenciales según lo establecido en el MTC, porque la fuerte pendiente y las curvas muy cerradas así como el corto ancho de la berma de hasta 30 cm, ya que algunas curvas tienen muy poca visibilidad de parada esto provoca que la velocidad directriz que alcanza los vehículos sea baja por el inadecuado diseño geográfico, también se puede observar la insegura circulación de los vehículos de diseño en curvas cerradas, teniendo la necesidad de realizar maniobras peligrosas como: invadir carril contrario, retroceder, colisiones, entre otros, se puede concluir que la geometría de la carretera diseñada no brinda las condiciones necesarias para mitigar y/o prevenir los daños y efectos provocados por los accidentes viales, poniendo en riesgo la integridad física de los usuarios. (Taco, 2021)

- Se logró demostrar parcialmente que con los datos obtenidos mediante la viga Benkelman y el rugosímetro de Merlín (Ver tablas 95 y 96) nos muestran que estructuralmente la carretera Urcos-Hualla-Hualla aún se encuentra en buenas condiciones, ya que a través del estudio y análisis de la capacidad estructural del pavimento de la carretera, por medio de la aplicación de cargas estáticas y cargas de impacto de la viga Benkelman se observa que aun cumple con la máxima deflexión admisible calculado para este pavimento y que también el índice de rugosidad internacional IRI calculado mediante el rugosímetro de Merlín es menor

al IRI admisible del pavimento de la carretera Urcos-Hualla-Hualla por lo tanto, si cumple con lo estandarizado en el Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL), el MTC y la guía de diseño estructuras de pavimento AASHTO 93. (Taco, 2021)

CAPITULO III HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

Al haber evidenciado un deterioro prematuro y un desempeño inadecuado de la estructura del pavimento en el corredor vial N° 02 del Plan Vial Regional Integrando el Cusco en donde el tratamiento superficial asfáltico en dichas vías departamentales que recibieron la aplicación de soluciones básicas asfálticas como parte de su conservación periódica sobre una capa estructural de base mejorada o estabilizada, se pudo evidenciar que de manera inexplicable existen sectores puntuales que fallaron antes de lo esperado y otros sectores no presentan dichas patologías estando sometidas a las mismas condiciones de tráfico, de clima, de condiciones hidráulicas y otros; por lo que se plantea la hipótesis de que la falla podría ser por un inadecuado proceso constructivo en el control del espesor de la capa de base estabilizada o mejorada, debido a que la subrasante natural sobre la cual se conformó dicha base estabilizada o mejorada no tuvo un previo control geométrico ni la correspondiente corrección de las pendientes longitudinales. Desde el criterio propio de mi experiencia, he podido ver que los mantenimientos de carretera a nivel de afirmado no se realizan una previa corrección a la pendiente longitudinal de la subrasante natural, a la cual tan solo se hace un perfilado con la maquinaria (motoniveladora) dejando en evidencia que no se garantizara un espesor mínimo de diseño en la capa de base mejorada, comúnmente conocido como lastrado. Entonces científicamente podríamos estar frente a una falta en el procedimiento constructivo al no respetar el NÚMERO ESTRUCTURAL de diseño de la estructura del pavimento, la cual fue diseñada en función al ESAL de diseño vehicular. Es en este universo que nuestra investigación fundamenta su hipótesis. Cabe aclarar que al revisar muchos expedientes técnicos de conservación periódica vial de carreteras a nivel de afirmado, en sus considerandos solo se plantea perfilado de la subrasante natural mas no se propone la metodología y presupuesto para el control de los espesores de la o las nuevas capas de pavimento que

corresponden a la conservación periódica de la vía, siendo también un criterio fallido desde la formulación de las conservaciones periódicas de vías a nivel de afirmado, las mismas que podrían llevar la aplicación de soluciones básicas asfálticas.

3.2. Hipótesis general

La variabilidad del número estructural efectivo afectará el desempeño estructural del pavimento básico con tratamiento superficial asfáltico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023 con la finalidad de proponer una metodología de evaluación de pavimentos básicos para la región de Cusco.

3.3. Hipótesis específicas

Los valores de deflectometría verificarán el desempeño estructural del pavimento básico con tratamiento superficial asfáltico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023.

Los valores de rugosidad superficial demuestran el desempeño estructural del pavimento básico con tratamiento superficial asfáltico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023.

Las fallas superficiales evidencian el desempeño estructural del pavimento básico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023.

Si es factible proponer una metodología para la evaluación de pavimentos básicos con el uso de Viga Benkelman para la región del Cusco.

3.4. Identificación de variables e indicadores

Variable dependiente, vendría a ser el DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO en la conservación periódica de carreteras de bajo volumen de tránsito por niveles de servicio.

Variable independiente, el NÚMERO ESTRUCTURAL, identificamos como variable independiente a los valores del número estructural determinados por los valores obtenidos de los ensayos de campo.

Indicadores, nuestros indicadores serían los siguientes:

- Los valores de los resultados tomados en campo por medio de la deflectometría.
- Los valores de rugosidad superficial de la vía en evaluación.

3.5. Operacionalización de variables

Tabla 6 Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	OPERACIONALIZACIÓN			ESCALA DE MEDICION	
			DIMENSIONES	INDICADORES	INDICADORES		
							INDICADORES
Desempeño estructural.	<p>El Desempeño estructural de un pavimento es su capacidad para soportar las solicitudes de cargas de tráfico y al mismo tiempo las condiciones del medio ambiente en el que interactúa durante el período de diseño de vida útil, el cual será medido a través de la deflectometría de pavimento y durante el cual se deberá al mismo tiempo garantizar una capacidad funcional (serviciabilidad del pavimento) de la superficie del pavimento; es decir, la calidad de rodadura, fricción superficial y seguridad vial. Menéndez Acurio, Jose Rafael, Ingeniería de Pavimentos, ICG, 2013</p>	<p>El desempeño estructural de los pavimentos flexibles será entendido en la presente investigación como el resultado de la combinación de un eficiente sistema de respuesta estructural de las capas que la componen y su funcionalidad adecuada que estará garantizada dentro del período de vida útil. La deflectometría del pavimento brindará a la investigación valores de la respuesta estructural de pavimento en sus relaciones con la geometría longitudinal y transversal (sobretodo en curvas de volteo), así como su relación con la plasticidad de los materiales de cantera para las capas de base y sub base. La serviciabilidad del pavimento, la cual nos brindará la condición de transitabilidad y confort al transportista será medida con los procesos de caracterización del PSI y el PCI, esto es sumamente importante puesto que una respuesta estructural adecuada podrá garantizar una funcionalidad eficiente del conjunto como tal. El diseño estructural de pavimentos sobre terreno de fundación de suelos tropicales con valores de CBR malos (< 6%) y cuyas características de las canteras cercanas no poseen características estructurales buenas para garantizar valores de CBR adecuados para la sub base y base granular son los factores que generan el objeto de investigación de la presente tesis, por lo que se deberá validar los valores de resistencia estructural al natural y con acondicionamiento de inserción de aditivos que garanticen el desempeño estructural del pavimento durante su vida útil lo cual servirá para validar los parámetros geotécnicos adecuados a la realidad de las zonas tropicales de nuestro país.</p>	1. DEFLECTOMETRIA DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.	1.1. Deflectometría y geometría vital 1.2. Deflectometría y CBR Sub rasante in situ 1.3. Deflectometría y plasticidad de base y sub base granular	Valor de deflectometría según Pendiente longitudinal del sub tramo en estudio Valor de deflectometría según peralte en curvas de volteo Valor de deflectometría en relación al CBR in situ Valor de deflectometría según el valor de plasticidad del material granular de base y sub base	"mm" "mm" "mm" "mm"	De razón
			2.1. Funcionalidad del Pavimento	Indicador de Serviciabilidad del Pavimento	<p>Muy buena Buena Regular Mala Muy mala</p>	<p>5 - 4 4 - 3 3 - 2^{1a} 2 - 1 1 - 0</p>	
		2. SERVICIABILIDAD DEL PAVIMENTO	2.2. Condición del Pavimento	Indicador de Condición del Pavimento	<p>Excelente Muy Bueno Bueno Regular Malo Muy Malo Fallado</p>	<p>85 100 70 85 55 70 40 55 25 40 10 25 0 10</p>	

CAPITULO IV. METODOLOGÍA

4.1. Ámbito de estudio: localización política y geográfica

Corresponde a la descripción del Corredor Vial N° 02 del Proyectos Plan Vial regional Integrando el Cusco, que abarca 319 kilómetros, de los cuales 284 kilómetros corresponden a la Red Vial Afirmada y 35 km pertenecen a la red vial asfaltada en buen estado. Este corredor vial está compuesto por 09 tramos, que describimos a continuación:

Tabla 7 Distribución de Tramos por longitud Red Vial N° 02

Tramo 01: San Jerónimo - Mayumbamba	31 km
Tramo 02: Mayumbamba - Rondocan	19 km
Tramo 03: Rondocan - Acomayo	46 km
Tramo 04: Mayumbamba - Paruro	14 km
Tramo 05: Paruro – Accha	47 km
Tramo 06: Accha – Acos – Acomayo	42 km
Tramo 07: Acomayo – Pte. Chuquicahuana	35 km (asfaltado)
Tramo 08: Accha – Omacha	27 km
Tramo 09: Omacha – Livitaca (Huillquiccasa)	58 km

Para efectos de la presente investigación hemos decidido realizar los ensayos en el Tramo 04 de Mayumbamba a Paruro en una longitud de 10 km; es decir desde la progresiva 0+000 al 10+000, tramo que elegí en base a un criterio de presentar los **tipos de deterioro o fallas del pavimento básico (patologías)** que se intenta demostrar en el presente estudio y además de poseer sectores que respondieron hasta el momento de la investigación un desempeño moderado.

4.2. Tipo y nivel de investigación

4.2.1. Tipo de Investigación

La presente tesis en función al propósito será una **investigación aplicada**, pues intentaremos determinar de manera indirecta algunas causas de las patologías de la estructura del pavimento en la ejecución de las conservaciones periódicas en carreteras de bajo volumen de tránsito con la aplicación de soluciones básicas asfálticas. Según el nivel de profundización del estudio será de tipo **investigación relacional/explicativa**, en este marco teórico trataremos de demostrar e interpretar

que si en el proceso constructivo respetamos el espesor mínimo para el valor de número estructural de diseño es importante en el desempeño de la vida útil de la estructura del pavimento. Según el tipo de datos empleados será de tipo de **investigación cuantitativo** porque recogeremos datos o valores de los ensayos de campo que nos permitirán evidenciar patrones de comportamiento de la estructura del pavimento en estudio; como por ejemplo la secuencia de los valores de deflectometría tomados cada 25 metros nos darán los números estructurales de resistencia en cada punto mostrando un comportamiento de resistencias característico del tramo. Según el grado de manipulación de variables nuestra investigación será del tipo de **investigación cuasi experimental**, pues los ensayos geotécnicos que aplicaremos son de naturaleza NO destructivos, por lo que habrá teóricamente otros factores que dentro de las limitaciones de nuestra investigación no podremos controlar sus niveles de influencia. Y por último según el seguimiento temporal de las variables de estudio nuestra tesis será del tipo de **investigación transversal**, ya que la toma de muestras y los ensayos geotécnicos de campo y laboratorio serán tomados en un momento determinado de nuestra investigación. (Según Ander-Egg, 1992) <http://devnside.blogspot.com/2017/10/tipos-y-niveles-de-investigacion.html>

En la presente investigación aplicaremos ensayos de carácter ingenieril para determinar valores que representen las características geomecánicas o de resistencia de la capa de Base Mejorada frente a las cargas aplicadas por el tráfico propio de la vía. Nuestra investigación estará basada en la aplicación de ensayos directos en la superficie del corredor vial, teniendo como premisa que la ingeniería civil es una ciencia experimental y que el área de la geotecnia vial trata de dar a conocer a los especialistas las características y los comportamientos de las capas estructurales que componen un pavimento vial. Para nuestra investigación nos apoyaremos en la estadística para poder evidenciar patrones de comportamiento frente a las deficiencias presentadas en el desempeño de la vida útil, sobre todo en el desempeño temprano de la misma (Hernández Sampieri, 2014), y así podremos determinar qué patologías sufrió el pavimento para poder brindar nuevas sugerencias y correcciones en los procesos constructivos en la Conservación Vial de Carreteras de bajo volumen de tránsito. Los ensayos que realizaremos serán el

CBR In Situ, CBR determinado en laboratorio de mecánica de suelos, Ensayo de deflectometría con Viga Benkelman, y la caracterización del estado superficial y funcional de la vía a través de la medición del Índice de Rugosidad Internacional, IRI, con lo que podremos obtener resultados que interpretaremos para sustentar nuestra posición inicial de hipótesis (fuente: Elaboración propia).

4.2.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación de la presente tesis será Relacional, pues intentaremos demostrar que existe una relación importante entre el valor del NÚMERO ESTRUCTURAL del pavimento (espesor de la base mejorada) con su desempeño durante su vida útil a través de la aplicación de ensayos y el uso de una metodología de retro cálculo, que nos permitirá saber el grado de correlación entre ambas variables.



Ilustración 8 Niveles de Investigación, fuente: <https://bioestadistico.com/niveles-de-investigación>

4.3. Unidad de análisis

Para efectos de nuestra investigación la unidad de análisis que se propuso y eligió es 11 km del tramo 04 identificado como Mayumbamba – Paruro, que pertenece a nuestro corredor vial N° 02 del proyecto Plan Vial Regional Integrando el Cusco. Esta unidad de análisis estará segmentada en sub tramos que permitan demostrar

el objeto de la hipótesis y en función a un criterio lógico se realizará la toma de muestras y ensayos de campo para obtener datos representativos para lograr una investigación aplicada para nuestra carrera de ingeniería civil y dentro del campo de la geotecnia vial.

4.4. Población de estudio

Nuestra unidad vial de estudio posee 284 km de carretera que pertenecen al corredor vial N° 02 del Plan Vial Regional del Cusco, que corresponde a una carretera de nivel de plataforma afirmada con la aplicación de una solución básica asfáltica como parte de la conservación periódica de dicho corredor vial. Debemos indicar que las características de los 284 km que componen la red vial afirmada del corredor vial N° 02 son totalmente similares y para el objetivo de la investigación cualquier muestreo realizado en cualquier tramo o subtramo es representativo para nuestra investigación. Nuestra población estará definida por todos los puntos de evaluación de los 10 km que han identificado como tramo de puntos de evaluación y análisis y su comportamiento es el fundamento para nuestra investigación. Para cuantificar nuestra población de estudio podemos realizar un cálculo matemático identificando que a cada 25 metros de vía como unidad de investigación o unidad de población por lo que para los 10 km tendríamos un total de puntos de evaluación y análisis de 400 unidades de análisis.

4.5. Tamaño de muestra

El tamaño de muestra será aquella que represente en todo momento a cualquier punto de análisis de la población, es decir que contenga las mismas características y comportamiento estructural de la población de análisis. (Anderson, Sweeney, Williams Estadística para Administración y Economía, 2008).

Para nuestra investigación la evaluación del tamaño de muestra estará dado por 50 puntos de control continuos cada 25 m coberturando un total de 1,350 m de carretera.

4.6. Técnicas de selección de muestra

Para efectos de nuestra investigación la técnica que usaremos para la selección de muestra será la de en primer lugar el muestreo probabilístico, y bajo el muestreo sistemático; debido a que nosotros tomaremos sub tramos de carretera que poseen

200 metros lineales de carretera a los cuales le tomaremos los ensayos de campo cada 25 metros y así obtener datos y valores que nos den una significación y representación adecuada del comportamiento estructural que queremos evaluar y analizar para la presente investigación. (Anderson, Sweeney, Williams Estadística para Administración y Economía, 2008).

Para realizar el muestreo probabilístico nos ayudamos con la herramienta informática Excel, identificando para el caso de la deflectometría sub tramos de 1,350 m. los cuales hacen 50 puntos de control cada 25 m. teniendo en consideración que la longitud del tramo es de 13.6 km.

Los sub tramos se identificaron haciendo uso del comando “aleatorio ()” de Office Excel, para los 10 sub tramos que tiene nuestra “Carretera Mayubamba – Paruro” de la siguiente manera:

Tabla 8 Selección aleatoria tramo deflectometría

sub tramo 1	1,350	0.53027512
sub tramo 4	1,350	0.22851164
sub tramo 2	1,350	0.78445421
sub tramo 8	1,350	0.60773064
sub tramo 10	1,350	0.48419685
sub tramo 3	1,350	0.58252745
sub tramo 5	1,350	0.26934509
sub tramo 7	1,350	0.19527392
sub tramo 6	1,350	0.82569361
sub tramo 9	1,350	0.67810317

Por lo que se procedió a tomar el tramo 01 desde la progresiva del km 0+000 hasta la progresiva del km 1+325.

Para el caso escoger los sub tramos correspondientes a la rugosidad superficial, se identificó 24 tramos de 400 m. cada uno y con la ayuda de la función “aleatorio ()” de Excel se tomó los primeros 10 sub tramos de la lista aleatoria.

Tabla 9 Selección aleatoria tramos de Rugosidad Superficial

1	0+100	0.293503165
7	2+500	0.257085232
15	5+700	0.754101253
21	8+100	0.780206515
4	1+300	0.906820317
12	4+500	0.251103781
24	9+300	0.540108902
17	6+500	0.435035957
9	3+300	0.689723827
19	7+300	0.624448856
16	6+100	0.519668414
3	0+900	0.575830048
23	8+900	0.298987068
11	4+100	0.855259019
10	3+700	0.207438045
13	4+900	0.420744548
14	5+300	0.186834728
20	7+700	0.624380362
2	0+500	0.138605221
5	1+700	0.036952798
22	8+500	0.37982619
6	2+100	0.721100779
8	2+900	0.266490197
18	6+900	0.16070139

4.7. Técnicas de recolección de información

En nuestro caso al ser una investigación del campo de la ingeniería geotécnica, donde realizaremos ensayos de mecánica de suelos y estos poseen dos etapas donde la primera corresponde a la aplicación del ensayo con los aparatos correspondientes y donde los valores son anotados en las tablas del ensayo y la segunda etapa corresponde a un procesamiento de dichos datos en gabinete de laboratorio los que finalmente nos darán los valores o resultados que compararemos con los valores de diseño y/o los que las normas como la EG – 2013 y las normas AASHTO y que, según los cuales podremos emitir las conclusiones y recomendaciones más adecuadas. (elaboración propia)

4.8. Técnicas de análisis e interpretación de la información

El estudio de la ciencia se basa en el análisis, que no es otra cosa que la descomposición de las partes del evento o experimento para tratar de entender sus causas y los efectos sobre las demás partes y así poder lograr generalizaciones

basados en hechos científicamente comprobados. A la etapa de realizar la recomposición de las partes se denomina síntesis. La Estadística clasifica los tipos de análisis de datos en la siguiente forma: (FFBONTA, 2020)

- Análisis exploratorio de datos, donde se descubren nuevas características de los datos. (FFBONTA, 2020)
- Análisis confirmatorio de los datos, donde se prueba si las hipótesis son verdaderas o falsas. (FFBONTA, 2020)
- Análisis cuantitativo, que se usan para sacar conclusiones de datos numéricos. (FFBONTA, 2020)

Para nuestro caso de investigación recogeremos de los ensayos del Índice de Condición del Pavimento que nos darán datos de funcionalidad de la superficie del pavimento y por otro lado recolectamos los datos del ensayo de deflectometría que nos brindara información sobre el desempeño estructural del pavimento y con la ayuda de la estadística obtendremos un valor de grado de correlación que nos brinde la validez o invalidez de la hipótesis planteada. Para nuestro caso haremos uso del Análisis Confirmatorio de Datos para poder validar nuestra hipótesis. Como se está describiendo nuestra investigación hará uso de la estadística descriptiva para lograr. (FFBONTA, 2020)

Como nos indica la metodología de investigación científica la interpretación de los datos se hace en dos etapas; la primera es la de establecer relaciones entre las variables y los datos que la sustentan con fundamento en algún nivel de significancia estadística y la segunda es la de establecer un significado más amplio de la investigación, es decir, determinar el grado de generalización de los resultados de la investigación, para nuestra investigación haremos la recolección de datos según los ensayos de campo tras lo cual llevándolos a un proceso estadístico el grado de correlación o significancia para dar por válido o no nuestra hipótesis que indica que la regularidad NÚMERO ESTRUCTURAL de diseño de la capa de base mejorada (estructura del pavimento) es importante en el desempeño del pavimento durante su vida útil en la conservación periódica de carreteras de bajo volumen de tránsito, luego deberemos generalizar y validar si con la interpretación primaria de los datos y sus correlaciones, estas se pueden

generalizar para toda la población de análisis, que, para nuestro caso es el corredor vial N° 02 del Plan Vial Regional Integrando el Cusco. (FFBONTA, 2020) <https://www.youtube.com/watch?v=omKhWunxiOo>

4.9. Técnicas para demostrar la verdad o falsedad de las hipótesis planteadas

Para elaborar el analizar los datos extraídos de la recolección de campo tanto de la deflectometría con Viga Benkelman como la rugosidad superficial con rugosímetro de MERLIN, nos apoyaremos en evidenciar la variabilidad de los valores obtenidos en comparación con el valor esperado (hipótesis a cumplir) para el tipo de vía diseñada para la Red Vial N° 02 y evaluada en el tramo Mayumbamba a Paruro, y cuyas consideraciones están basadas en los estipulados y normados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lo que nuestro estudio tiene por objetivo es evidenciar si existe o no importancia relevante entre el número estructural de diseño y la medición deflectometría en el desempeño de la vida útil de la estructura del pavimento, esto estará ratificado en la variabilidad de los valores de IRI como respuesta a un comportamiento estructural de la capa de base mejorada, en otras palabras, el IRI es el reflejo de un comportamiento estructural del pavimento (Elaboración propia).

Como dice Anderson, y siendo muy importante su definición de que, cuando se hace una prueba de hipótesis se empieza por hacer una suposición tentativa acerca del parámetro poblacional. A esta suposición tentativa se le llama **hipótesis nula** y se la denota por *H₀*. Después se define otra hipótesis, llamada **hipótesis alternativa**, que dice lo contrario de lo que establece la hipótesis nula. La hipótesis alternativa se denota *H_a*, (Anderson, Sweeney, Williams Estadística para Administración y Economía, 2008, p.339). (Anderson, 2008)

En síntesis, Anderson nos comenta que las pruebas de hipótesis estarán relacionadas a dos parámetros estadísticos poblacionales que son la media poblacional y la proporción poblacional. Por lo cual, sugiere que las pruebas de hipótesis toman tres formas para el planteamiento de la Hipótesis Nula y su correspondiente Hipótesis Alternativa. La primera cuando para la Hipótesis Nula el valor de la Media medida en campo es mayor o igual al valor de la media hipotética, la segunda cuando el valor de la Media medida en campo es menor o igual al valor

de la media hipotética y la tercera, cuando el valor de la Media medida en campo es igual al valor de la media hipotética. En consecuencia, la Hipótesis Alternativa se plantearía de la siguiente forma (Anderson, Sweeney, Williams Estadística para Administración y Economía, 2008, p.341):

$$\begin{array}{lll} H_0: \mu \geq \mu_0 & H_0: \mu \leq \mu_0 & H_0: \mu = \mu_0 \\ H_a: \mu < \mu_0 & H_a: \mu > \mu_0 & H_a: \mu \neq \mu_0 \end{array}$$

En esta parte nuestra investigación se apoyará en la ciencia estadística utilizando la prueba de colas y la prueba de hipótesis de dos colas, con especial consideración en el método del intervalo de confianza para probar una hipótesis. (Anderson, Sweeney, Williams Estadística para Administración y Economía, 2008, p.341).

El procedimiento para aceptar o rechazar una hipótesis nula será en función a los criterios establecidos según los resultados para luego realizar la evaluación e interpretación de resultados. Este procedimiento mecánico tendrá las siguientes etapas:

Etapas 01.- primeramente, debemos proponer e identificar nuestra Hipótesis Nula y su correspondiente negación que vendría a ser la Hipótesis Alternativa, tras la identificación del valor hipotético que será el valor esperado según nuestra suposición teórica (Anderson, Sweeney, Williams Estadística para Administración y Economía, 2008, p.343).

Etapas 02.- acto seguido debemos establecer el Nivel de Significancia, el cual será nuestro parámetro para aceptar o rechazar nuestra hipótesis planteada si esta estaría dentro o fuera de este rango de aceptación. Para efectos de nuestra investigación el nivel de significancia la estableceremos como el valor máximo de 5% (Anderson, Sweeney, Williams Estadística para Administración y Economía, 2008, p.343).

Etapas 03.- como tercer paso debemos de establecer el parámetro estadístico de prueba, en ese sentido para obtener el valor hipotético de una media poblacional que ha sido tomada aleatoriamente y cuya distribución de datos se tendrá una distribución normal y por consecuencia la media muestral tomará el valor z, quien

será el estadístico de prueba (Anderson, Sweeney, Williams Estadística para Administración y Economía, 2008, p.343).

Etapas 04.- luego debemos establecer el valor crítico del parámetro del estadístico de prueba, tras haber definido la hipótesis nula, su nivel de significancia (Anderson, Sweeney, Williams Estadística para Administración y Economía, 2008, p.343). (Anderson, 2008)

METODOLOGÍA DE CHI – CUADRADO

Así también, describiremos la metodología de Hipótesis Estadística mediante la prueba de independencia, metodología conocida como el CHI CUADRADO χ^2 , por lo que pasare a describir los pasos y formulas a seguir para el cálculo correcto de nuestra prueba de hipótesis y su validación. Su uso esta recomendado para variables cualitativas.

Paso 1 Proponer las hipótesis

Ho: Las variables X y Y son de caracter independientes.

Ha: Las variables X y Y tiene un grado de dependencia entre si.

Paso 2 Especificar el nivel de significancia " α "

El nivel de significancia es el rango de probabilidad de poder cometer el error de rechazar la hipótesis nula cuando esta podría ser verdadera, por lo que tomar un valor de significancia muy pequeño hará que la investigación sea más precisa, sin embargo, al mismo tiempo muchísimo más onerosa, es por esto que el investigador debe de cubrir con un buen criterio para gozar una confiabilidad aceptable para los efectos de su investigación.

La confiabilidad para nuestra investigación está establecida en un valor del 95% y por consiguiente en un valor de significancia del 5% (0.05).

Paso 3 Calcular el Valor Crítico

Este valor esta dado por el valor denominado CHI Cuadrado crítico, el cual lo podemos hallar mediante tablas como la publicada por el Banco Mundial y cuyo

calculo está en función del número de filas y columnas los cuales determinaran el número de grados de libertad, según el detalle siguiente.

Ecuación 1 Valor Critico Chi Cuadrado

$$X^2_{critico} (v, \alpha)$$

Ecuación 2 Grados de Libertad

$$v = (n - 1) * (m - 1)$$

Donde *v*: *grados de libertad*

n: *número de filas* *m*: *número de columnas*

Paso 4 Cálculo del Valor de Prueba

El valor de CHI Cuadrado de prueba estará dado por la aplicación de la siguiente formula donde se utilizará los valores de frecuencia observados y los valores de frecuencia esperados.

Ecuación 3 Chi Cuadrado Calculado

$$X^2_p = \sum_i^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Donde:

X²p: *es el valor de Chi cuadrado calculado*

O_i: *es el valor de frecuencia observada "i" en campo*

E_i: *es el valor de frecuencia esperada y calculado en funcion de la tabulacion*

METODOLOGÍA PARA PRUEBA DE HIPÓTESIS “t de Student” PARA DOS MEDIAS MUESTRALES.

Esta metodología es usada para la comparación de promedios o media de muestras de valores de variables cuantitativas y cuyas muestras poblacionales tienen una distribución normal. (Estadístico, 2020)

La metodología de la Prueba de t de Student para muestras relacionadas tiene las posibilidades de planteamiento bilateral, y unilateral por la derecha y unilateral por la izquierda, como lo podemos ver a continuación:

Paso 01 Proponer hipótesis nula y alternativa.

Hipótesis Nula $H_0: \mu_d = 0$ $H_0: \mu_d \leq 0$ $H_0: \mu_d > 0$

Hipótesis Alternativa $H_a: \mu_d \neq 0$ $H_a: \mu_d < 0$ $H_a: \mu_d > 0$

Paso 02 Calcular el valor del Estadístico de prueba t

se debe proceder a realizar el cálculo del valor de t como estadístico de prueba en función a la desviación estándar y el número de datos analizados.

$$t = \frac{\bar{d}}{S_d/\sqrt{n}}$$

Donde: t : Estadístico t calculado

\bar{d} : Promedio de las diferencias

S_d : Desviación estandar de las diferencias

$$S_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{(n - 1)}}$$

Paso 03 Plantear los criterios de aceptación o rechazo

Para esta parte de la metodología debemos tener en cuenta el criterio de que nuestros datos analizados tienen una distribución de tipo t, con $n - 1$ grados de libertad. Por lo que el criterio de rechazo de la hipótesis nula será de la siguiente manera:

Caso hipótesis de dos colas (bilateral)

Se rechaza H_0 si: $t < -t_{(1-\frac{\alpha}{2})*(n-1)}$ ó $t > t_{(1-\frac{\alpha}{2})*(n-1)}$

Caso hipótesis de una cola a la derecha (unilateral derecha)

Se rechaza H_0 si: $t > t_{(1-\alpha)*(n-1)}$

Caso hipótesis de una cola a la izquierda (unilateral izquierda)

Se rechaza H_0 si: $t < t_{(\alpha)*(n-1)}$

4.9.1. Validación Estadística de la Hipótesis Específica 1

Para realizar la validación de la hipótesis específica 01, es decir la aceptación o rechazo, nos apoyaremos con la prueba de hipótesis “*t de Student*” para valores de medias de dos muestras poblacionales emparejadas. (Estadístico, 2020)

Hipótesis nula (Ho)

La Variabilidad de los valores obtenidos de la deflectometría NO afecta al desempeño de la vida útil de la estructura del pavimento. (Estadístico, 2020)

Hipótesis alternativa (Ha)

La Variabilidad de los valores obtenidos de la deflectometría SI afecta el desempeño de la vida útil de la estructura del pavimento. (Estadístico, 2020)

Definición de parámetros:

- Nivel de Confianza: 95%
- Margen de Error o de Significancia: 5% (0.05)
- Grados de libertad de: $v = (n - 1) = (50 - 1) = 49$.

Debemos utilizar la Inferencia Estadística acerca de medias μ_d con referencia a dos muestras poblaciones.

Regla de decisión de rechazo o no rechazo de hipótesis nula (Ho):

- Hipótesis Nula $H_o: \mu_d \leq 0$, entonces se acepta H_o
- Hipótesis Alternativa $H_a: \mu_d > 0$, entonces se rechaza H_o

Los datos de deflectometría obtenidos de la medición de campo con Viga Benkelman nos brindarán los valores de la deformación vertical en cada punto de control, siendo el valor de la deflexión admisible de 1.33 mm (133*0.01 mm) y cuyos valores diferenciales serán los que debemos comparar, esto con la finalidad de incluir la influencia del valor de deflexión admisible en la medición de cada punto de control. Para nuestros objetivos de prueba de hipótesis verificaremos la relación que existe entre los valores de deflexión observada cada 25 m. (muestra 01) contra la deflexión diferencial con respecto a la deflexión admisible (muestra 02). Dado

que nos encontramos en el caso de prueba de hipótesis unilateral con cola a la derecha. (Estadístico, 2020)

Tabla 10 Datos deflectometría según progresiva de punto de control

Ítem N°	Punto de Control Progresiva	Deflexión Observada (0.01 mm)	Deflexión Diferencial (0.01 mm)	Deflexión Admisible (0.01 mm)	Ítem N°	Punto de Control Progresiva	Deflexión Observada (0.01 mm)	Deflexión Diferencial (0.01 mm)	Deflexión Admisible (0.01 mm)
1	0+100	72.00	61.00	133.00	26	0+725	48.00	85.00	133.00
2	0+125	165.60	-32.60	133.00	27	0+750	292.80	-159.80	133.00
3	0+150	268.80	-135.80	133.00	28	0+775	158.40	-25.40	133.00
4	0+175	122.40	10.60	133.00	29	0+800	110.40	22.60	133.00
5	0+200	249.60	-116.60	133.00	30	0+825	72.00	61.00	133.00
6	0+225	268.80	-135.80	133.00	31	0+850	55.20	77.80	133.00
7	0+250	170.40	-37.40	133.00	32	0+875	194.40	-61.40	133.00
8	0+275	60.00	73.00	133.00	33	0+900	67.20	65.80	133.00
9	0+300	170.40	-37.40	133.00	34	0+925	194.40	-61.40	133.00
10	0+325	98.40	34.60	133.00	35	0+950	98.40	34.60	133.00
11	0+350	98.40	34.60	133.00	36	0+975	110.40	22.60	133.00
12	0+375	55.20	77.80	133.00	37	0+1000	122.40	10.60	133.00
13	0+400	98.40	34.60	133.00	38	0+1025	218.40	-85.40	133.00
14	0+425	194.40	-61.40	133.00	39	0+1050	146.40	-13.40	133.00
15	0+450	225.60	-92.60	133.00	40	0+1075	110.40	22.60	133.00
16	0+475	52.80	80.20	133.00	41	0+1100	189.60	-56.60	133.00
17	0+500	91.20	41.80	133.00	42	0+1125	360.00	-227.00	133.00
18	0+525	177.60	-44.60	133.00	43	0+1150	79.20	53.80	133.00
19	0+550	86.40	46.60	133.00	44	0+1175	304.80	-171.80	133.00
20	0+575	86.40	46.60	133.00	45	0+1200	268.80	-135.80	133.00
21	0+600	60.00	73.00	133.00	46	0+1225	206.40	-73.40	133.00
22	0+625	62.40	70.60	133.00	47	0+1250	218.40	-85.40	133.00
23	0+650	48.00	85.00	133.00	48	0+1275	86.40	46.60	133.00
24	0+675	55.20	77.80	133.00	49	0+1300	110.40	22.60	133.00
25	0+700	57.60	75.40	133.00	50	0+1325	127.20	5.80	133.00

Para efectos de cálculo utilizaré el módulo de “Análisis de Datos” del programa informático EXCEL. En dicho modulo escogeremos el modelo “Prueba t para medias de dos muestras emparejadas”:

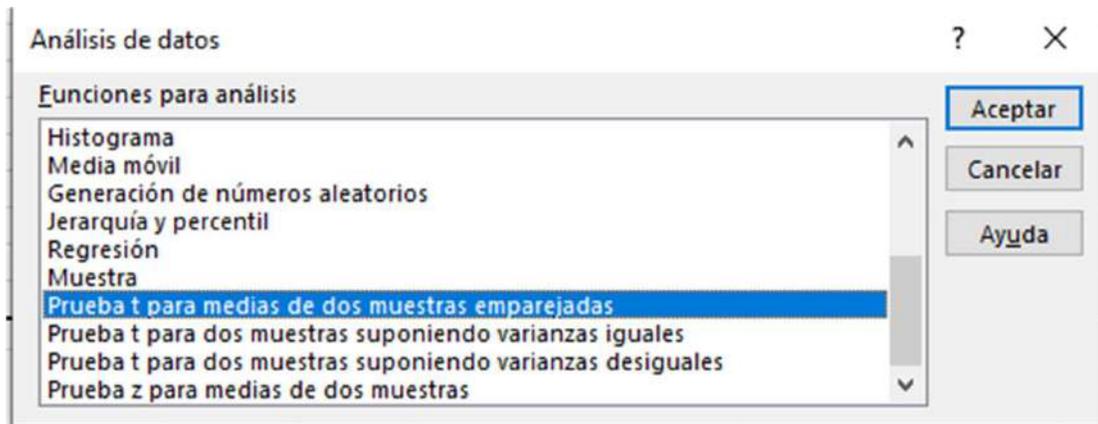


Ilustración 9 Función "Análisis de Datos" Prueba t Excel

Ahora completamos los datos necesarios

Ilustración 10 Interfaz Prueba t para medias de muestras emparejadas

Y realizando los procedimientos correspondientes, los que incluyen un número de grados de libertad de 49 y un nivel de significancia de 0.05 podemos obtener los siguientes datos:

Tabla 11 Resultados Prueba de Hipótesis t de Student en Deflectometría

	Deflexión Observada	Deflexión Diferencial
Media	140.928	-7.928
Varianza	6377.152261	6377.152261
Observaciones	50	50
Coefficiente de correlación de Pearson	-1	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	49	
Estadístico t	6.590342083	
P(T<=t) una cola	1.43068E-08	
Valor crítico de t (una cola)	1.676550893	
P(T<=t) dos colas	2.86136E-08	
Valor crítico de t (dos colas)	2.009575237	

Para la toma de decisiones debemos tener en cuenta los siguientes criterios:

El **Estadístico t** (Calculado) = 6.590342083 **es mayor que** el **Valor Crítico t** (una cola) = 1.676550893, entonces esto indica que este resultado se encuentra en la zona de RECHAZO de la Hipótesis Nula H_0 . En consecuencia, **se rechaza** la hipótesis nula **H_0** .

Sobre el p – valor = $1.43068 * 10^{-8}$ calculado es mucho menor que el valor de significancia $\alpha = 0.05$, por lo que debemos concluir que existe evidencia estadística para aseverar que hay una confiabilidad superior al 95% y ésta también estaría por encima del 99% de confianza.

En conclusión, se acepta la hipótesis Alternativa, del investigador, que indica que, la variabilidad de las mediciones de deflectometría **Si** afectan el desempeño de la estructura del pavimento durante la vida útil.

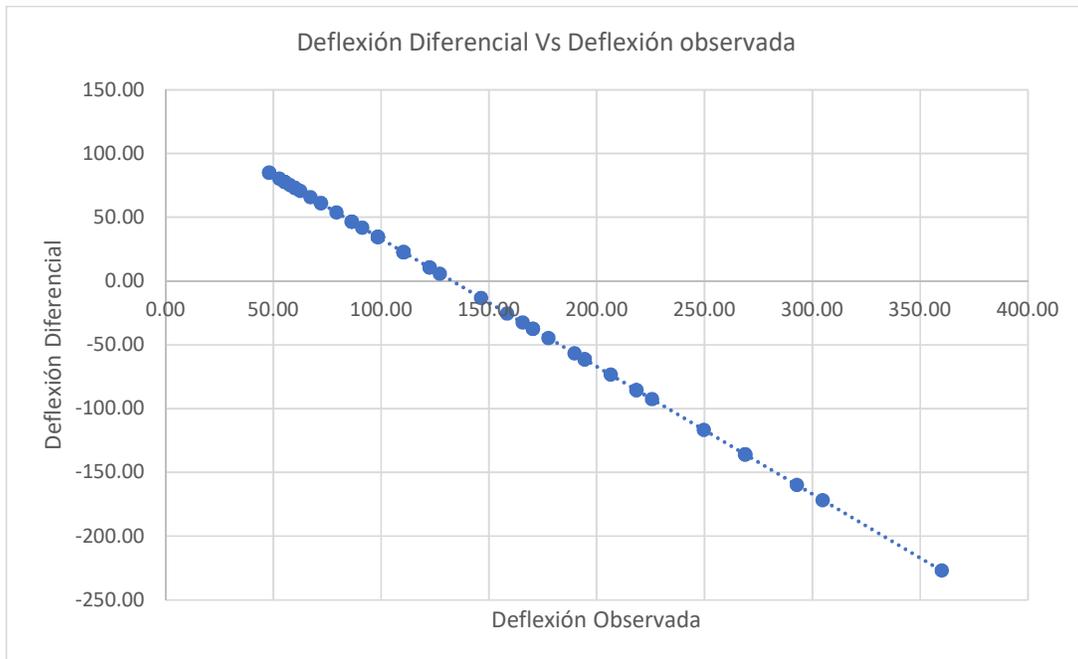


Ilustración 11 Grafico de Deflexión Diferencial Vs Observada

4.9.2. Validación Estadística de la Hipótesis Especifica 2

Para realizar la validación de la hipótesis específica 02, es decir la aceptación o rechazo, nos apoyaremos con la prueba de hipótesis “ **t de Student**” para valores de medias de dos muestras poblacionales con suposición de varianzas iguales.

Hipótesis nula (Ho)

La Variabilidad de los valores obtenidos de rugosidad superficial NO afecta al desempeño de la vida útil de la estructura del pavimento.

Hipótesis alternativa (Ha)

La Variabilidad de los valores obtenidos de rugosidad superficial SI afecta el desempeño de la vida útil de la estructura del pavimento.

Definición de parámetros:

- Nivel de Confianza: 95%
- Margen de Error o de Significancia: 5% (0.05)
- Grados de libertad de: $v = (n + m - 2) = (10 + 10 - 2) = 18$.

Debemos utilizar la Inferencia Estadística acerca de medias μ_d con referencia a dos muestras poblaciones.

Regla de decisión de rechazo o no rechazo de hipótesis nula (Ho):

- Hipótesis Nula $H_o: \mu_d \leq 0$, entonces se acepta H_o
- Hipótesis Alternativa $H_a: \mu_d > 0$, entonces se rechaza H_o

Los datos de rugosidad superficial obtenidos de la medición de campo con rugosímetro MERLIN nos brindaron los valores de rugosidad en cada tramo de control, siendo el valor de rugosidad superficial admisible de 3.5 m/km y cuyos valores diferenciales serán los que vamos a comparar, esto con la finalidad de incluir la influencia del valor de rugosidad superficial admisible en la medición de cada tramo de control. Para nuestros fines de prueba de hipótesis verificaremos la relación que existe entre los valores de rugosidad superficial observada cada tramo (muestra 01) contra la rugosidad superficial diferencial con respecto a la deflexión admisible (muestra 02). Dado que nos encontramos en el caso de prueba de hipótesis unilateral con cola a la derecha.

Tabla 12 Datos de Campo Rugosidad Superficial con MERLIN

ÍTEM N°	TRAMO	IRI Característico m/km	IRI diferencial m/km	IRI admisible m/km
1	KM 0+100 KM 0+500	2.93	-0.57	3.50
2	KM 1+200 KM 1+600	3.13	-0.37	3.50
3	KM 2+500 KM 2+900	2.75	-0.75	3.50
4	KM 3+400 KM 3+800	3.05	-0.45	3.50
5	KM 4+500 KM 4+900	4.99	1.49	3.50
6	KM 5+800 KM 6+200	4.53	1.03	3.50
7	KM 6+400 KM 6+800	5.30	1.80	3.50
8	KM 7+100 KM 7+500	5.28	1.78	3.50
9	KM 8+100 KM 8+500	4.45	0.95	3.50
10	KM 9+300 KM 9+700	4.03	0.53	3.50

Para efectos de cálculo utilizaré el módulo de “Análisis de Datos” del programa informático EXCEL. En dicho modulo escogeremos el modelo “Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales”:

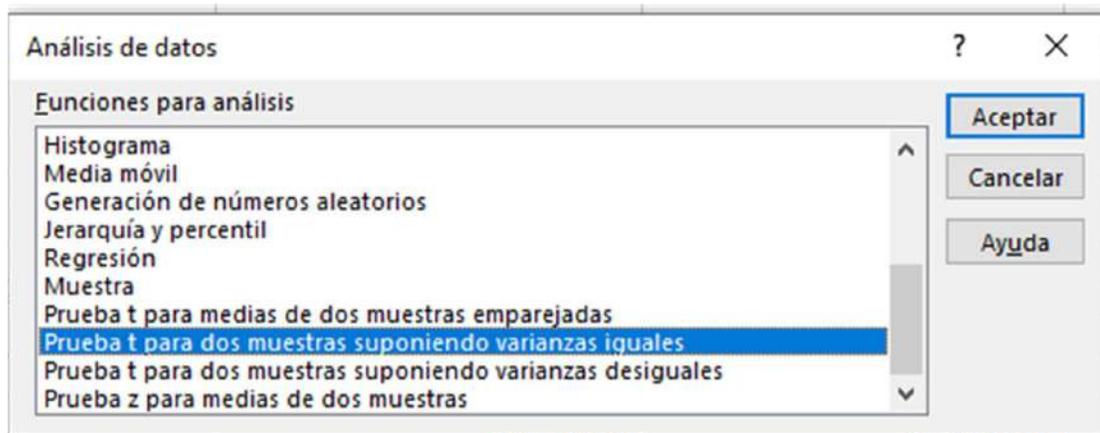


Ilustración 12 Interfaz t de Student con Excel

Ahora completamos los datos necesarios

Ilustración 13 Interfaz t de Student para dos muestras con varianzas iguales

Y realizando los procedimientos correspondientes, los que incluyen un número de grados de libertad de 18 y un nivel de significancia de 0.05 podemos obtener los siguientes datos:

Tabla 13 Resultados Prueba t para Rugosidad superficial

	IRI Característico m/km	IRI diferencial m/km
Media	4.044	0.544
Varianza	1.015582222	1.015582222
Observaciones	10	10
Coefficiente de correlación de Pearson	1	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	18	
Estadístico t	7.765966299	
P(T<=t) una cola	1.86538E-07	
Valor crítico de t (una cola)	1.734063607	
P(T<=t) dos colas	3.73076E-07	
Valor crítico de t (dos colas)	2.10092204	

Para la toma de decisiones debemos tener en cuenta los siguientes criterios:

El **Estadístico t (Calculado)** = 7.765966299 **es mayor que** el **Valor Crítico t** (una cola) = 1.734063607, entonces esto indica que este resultado se encuentra en la zona de RECHAZO de la Hipótesis Nula H_0 . En consecuencia, **se rechaza** la hipótesis nula **H_0** .

Sobre el ρ – *valor* = $1.86538 * 10^{-7}$ *calculado* es mucho menor que el valor de significancia $\alpha = 0.05$, por lo que debemos concluir que existe evidencia estadística para aseverar que hay una confiabilidad superior al 95% y ésta también estaría por encima del 99% de confianza.

En conclusión, se acepta la hipótesis Alternativa, del investigador, que indica que, la variabilidad de las mediciones de rugosidad superficial **Si** afecta el desempeño de la estructura del pavimento durante la vida útil.

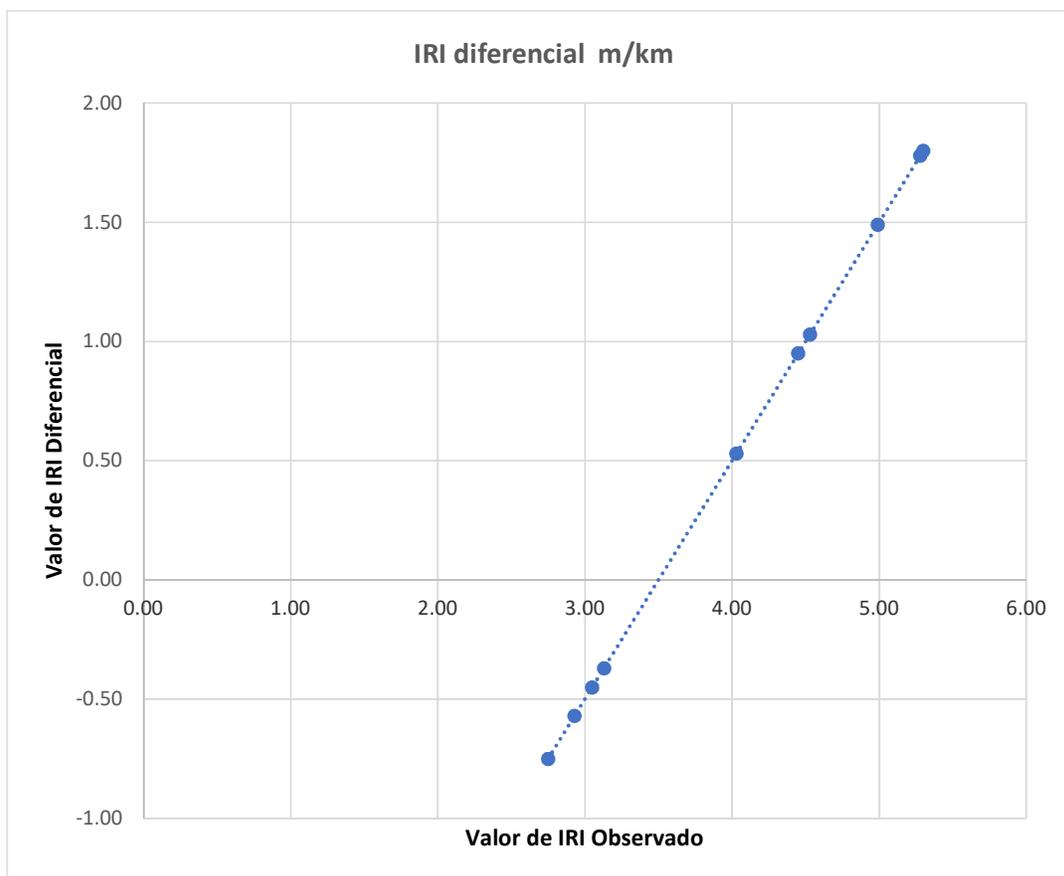


Ilustración 14 Gráfico IRI diferencial Vs Observado

4.9.3. Validación de la Hipótesis Especifica 3

RELEVAMIENTO DE INFORMACION EN CALZADA CON AFIRMADO

TIPOS DE DETERIORO, FALLAS Y NIVELES DE GRAVEDAD EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS

INTRODUCCION

La presente evaluación superficial se realiza como parte de la validación del Objetivo Especifico 03 “Las fallas superficiales evidencian el desempeño estructural del pavimento básico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023”, e identificar la condición superficial del pavimento básico evaluado.

La evaluación se realizará según la metodología descrita en el Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial de MTC para pavimentos afirmados o no pavimentados, esto debido a que la estructura de análisis corresponde a un pavimento básico.

La calificación del estado de conservación servirá para poder definir y programar las propuestas de intervención para garantizar el servicio de transitabilidad futura.

FINALIDAD

El presente estudio tiene como finalidad determinar la condición y estado del pavimento básico mediante la metodología planteada en el Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial de MTC para pavimentos afirmados o no pavimentados.

LOCALIZACION

Tabla 14 Ubicación del tramo en estudio CU - 121.

RUTA	TRAMOS RED VIAL 02
RUTA 2 - 1	
CU - 117	Puente Chuquicahuana - Acomayo
CU - 123	Acomayo - Rondocan
CU - 123	Rondocan - Mayumbamba
CU - 117	Acomayo - Acos - Pillpinto - Accha
RUTA 2 - 2	
CU - 123	San Jerónimo - Mayumbamba
CU - 121	Mayumbamba (Hcda Cachivay) - Paruro
CU - 117	Paruro - Accha
CU - 129	Accha - Omacha
CU - 129	Omacha - Chaccapuccara - Huillquiccasa

La localización del tramo en estudio se encuentra en la red vial departamental CU – 121, ubicado en la provincia de Paruro de la región Cusco, específicamente en el tramo entre el centro poblado de Mayumbamba hacia la capital de la provincia de Paruro. El punto de inicio ubicado en el desvío Mayumbamba – Rondocan (Desv. CU – 123) en las coordenadas **Norte:** 8482678.88 y **Este:** 193978.30 y el punto final se emplaza en ingreso a la plaza de armas del distrito de Paruro, capital de la Provincia del mismo nombre y cuyas coordenadas son **Norte:** 8476666.56 y **Este:** 192630.27.



Ilustración 15 Localización tramo de estudio. Fuente Google Earth.
Fuente Google Earth

TRAMIFICACION

La descripción del tramo en estudio corresponde a la vía departamental CU – 121 la cual tiene un inicio en el centro poblado de Mayumbamba, en el desvío de la CU – 123, con una longitud de 13.4 km de recorrido y una superficie de rodadura de

pavimento básico con tratamiento superficial asfáltico. El cual termina en el ingreso a la plaza de armas del distrito de Paruro, capital de la provincia del mismo nombre.

Tabla 15 Descripción de tramo en estudio

RUTA	TRAMO	DESCRIPCION	CALZADA	SUPERFICIE	PROG. INICIO	PROGRESIVA F	LONGITUD	C. POBLADO
CU 121	Tramo 1	CU - 121	CD501	TSB	0+000	13+400	13+400	Mayubamba

METODOLOGIA EMPLEADA

La investigación utiliza la denominada **“Metodología para la Evaluación de Condición de Fallas en Pavimentos Afirmados”**, descrita en el Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, en su capítulo 4 “Inventario de Condición”.

Según la cual la condición de las carreteras no pavimentadas (afirmadas) se **califican** por sus deterioros o fallas, la velocidad promedio y la sinuosidad de la trayectoria del vehículo como resultado de los daños de la carretera. (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)



Ilustración 16 Medición de fallas superficiales en campo

Según el MANUAL DE CARRETERAS, MANTENIMIENTO O CONSERVACION VIAL, aprobado según R.D. N° 08 – 2014 – MTC/14, en su sección 4.3.1 Tipos de deterioros o fallas y niveles de gravedad clasifica su condición en función de los resultados de los daños del desempeño de la carretera. Por lo que los deterioros o fallas las describe según el siguiente cuadro: (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

Se tiene los siguientes tipos de deterioros o fallas listados en la tabla siguiente:

Tabla 16 Deterioros o fallas en carreteras no pavimentadas

Deterioros o fallas de las carreteras no pavimentadas

Código de daño	Deterioros / Fallas	Gravedad
1	Deformación	1: Huellas/hundimientos sensibles al usuario pero < 5cm 2: Huellas/hundimientos entre 5 cm y 10 cm 3: Huellas/hundimientos >= 10 cm
2	Erosión	1: Sensible al usuario pero profundidad < 5 cm 2: Profundidad entre 5 cm y 10 cm 3: Profundidad >= 10 cm
3	Baches (Huecos)	1: Pueden repararse por conservación rutinaria 2: Se necesita una capa de material adicional 3: Se necesita una reconstrucción
4	Encalaminado	1: Sensible al usuario pero profundidad < 5 cm 2: Profundidad entre 5 cm y 10 cm 3: Profundidad >= 10 cm
5 y 6	Lodazal y cruce de agua	1: Transitabilidad baja o intransitabilidad en épocas de lluvia No se definen niveles de gravedad

Fuente: Manual de carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial.

El inicio y fin del nivel de gravedad de cada tipo de deterioro observado tienen que localizarse. Luego dichos datos básicos se procesan según la metodología descrita en el presente acápite. (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

A continuación, se describen los tipos de deterioros o fallas:

a) Deterioro o falla 1: Deformación o Ahuellamiento.

Descripción

Este rubro incluye:

- El ahuellamiento debido a la deformación de la capa de grava y/o de la subrasante en las huellas del tráfico.
- El ahuellamiento debido al desgaste superficial en las huellas del tráfico.
- Los hundimientos localizados relacionados con la pérdida de capacidad de soporte de la subrasante.

No se consideran en este rubro los surcos erosivos. (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

Causas

Esta falla puede proceder de las siguientes causas:

- Insuficiencia estructural acentuada por un volumen de tráfico excesivo.
- Geometría de la carretera (curvas agudas aumentan el desgaste superficial).
- Clima y drenaje (un contenido de agua excesivo conlleva una reducción de la capacidad de soporte de la capa granular y de la subrasante) (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

Niveles de Gravedad

1. Huellas o hundimientos sensibles al usuario, pero < 5 cm
2. Huellas o hundimientos entre 5 cm y 10 cm
3. Huellas o hundimientos \geq 10 cm

Posibles Medidas Correctivas

- Ninguna medida
- Perfilado sin compactación
- Perfilado con recapeo (regrava) parcial y compactación
- Recapeo (regrava)
- Reconstrucción.

b) Deterioro o Falla 2: Erosión

Descripción

Este rubro incluye los surcos erosivos creados por los escurrimientos de agua aproximadamente paralelos al eje de la carretera. Su gravedad resulta de la intensidad de los escurrimientos y del tipo de suelos (índice de plasticidad y granulometría). (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

Causas

Esta falla puede provenir de las siguientes causas:

- Topografía accidentada (fuertes pendientes y curvas aumentan la intensidad de los escurrimientos)
- Clima y drenaje (un drenaje deficiente favorece los escurrimientos sobre la superficie de la carretera). (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

Niveles de Gravedad

1. Sensible al usuario, pero profundidad < 5 cm
2. Profundidad entre 5 cm y 10 cm
3. Profundidad \geq 10 cm.

Posibles medidas correctivas

Según la gravedad de las erosiones y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas: (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

- Ninguna medida
- Perfilado sin compactación
- Perfilado con recapeo (regrava) parcial y compactación
- Recapeo (regrava)
- Reconstrucción.

c) Deterioro o Falla 3: Baches (Huecos)

Descripción

Los baches (huecos) resultan de aguas estancadas en la superficie de la carretera. El tráfico favorece su desarrollo. Generalmente, estorban a los vehículos cuando su tamaño alcanza el orden de 0.20 m. Su calificación estará de acuerdo con el tipo de medidas correctivas requeridas (mantenimiento rutinario, recapeo (regrava) no reconstrucción). (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

Causas

Esta falla puede provenir de las siguientes causas:

- Mal drenaje de la superficie de la carretera
- Clima y drenaje (un drenaje deficiente favorece las aguas estancadas sobre la superficie de la carretera). (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

Niveles de Gravedad

1. Pueden repararse por mantenimiento rutinario
2. Necesita una capa de material adicional
3. Necesita una reconstrucción

Posibles medidas correctivas

Según la gravedad de las erosiones y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas: (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

- Ninguna medida
- Perfilado sin compactación
- Perfilado con recapeo (regrava) parcial y compactación
- Recapeo (regrava)
- Reconstrucción.

d) Deterioro o Falla 4: Encalaminado

Descripción

Se trata de ondulaciones de la superficie. Resultan de la acción de las vibraciones transmitidas por los vehículos sobre los agregados del material granular. (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

Niveles de gravedad

1. Sensible al usuario, pero profundidad < 5 cm
2. Profundidad entre 5 cm y 10 cm
3. Profundidad >= 10 cm.

Posibles medidas correctivas

Según la gravedad de las erosiones y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas:

- Ninguna medida
- Perfilado sin compactación
- Perfilado con recapeo (regrava) parcial y compactación
- Recapeo (regrava)
- Reconstrucción. (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

e) Deterioro o Falla 5 y 6: Lodazal y Cruce de Agua

Descripción

Un lodazal es una sección de suelo fino que se caracteriza por su transitabilidad baja o intransitabilidad durante las épocas de lluvia. En épocas secas, si no se realizan las tareas de mantenimientos requeridas, los vehículos tienen dificultades debidas a las deformaciones del material. (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

Causas

Ambos deterioros o fallas resultan de un drenaje deficiente. (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

Niveles de gravedad

No se definen niveles de gravedad.

Posibles Medidas Correctivas

Según la molestia creada por el lodazal y el cruce de agua, así como los medios financieros disponibles, se consideran las siguientes medidas correctivas: (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

- Ninguna medida
- Mejoramiento del drenaje
- Mejoramiento geométrico.

Procesamiento de datos básicos de los deterioros

El objeto del proceso es calificar la condición superficial de la capa de rodadura de la carretera no pavimentada o afirmada por secciones de 500 m. (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

Para cada sección de 500 m se califica la condición superficial de la capa de rodadura, considerando cada tipo de deterioro o falla según el nivel de gravedad de dicho tipo y su clase de extensión. (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

El inicio y fin del nivel de gravedad de cada tipo de deterioro o falla observado tienen que localizarse. Luego dichos datos básicos se procesan aplicando la tabla de clasificación de extensión de deterioros, para la longitud de la sección 500 m que presenta el deterioro, la tabla de clasificación de densidad de los baches (huecos) y la tabla que describe el proceso de calificación de condición superficial de la capa de rodadura de la carretera no pavimentada o afirmada, según el tipo de deterioro o falla. (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

Tabla 17 Clasificación de extensión de fallas.

Clase de extensión de los deterioros/fallas de las carreteras no pavimentadas

Clase	Descripción	Criterio (porcentaje del área de la sección evaluada)
1	Leve	menor a 10 %
2	Moderado	entre 10 y 30 %
3	Severo	Mayor a 30 %

Fuente: Manual de carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial.

En cuanto a baches (huecos), se necesita una información adicional para calificar su “densidad” en la sección afectada, número de baches (huecos) por sección de 500 m. Se usa la escala siguiente. (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

Tabla 18 Clasificación de densidad de baches.

Clase de densidad de los baches (huecos) de los pavimentos flexibles

Clase	Descripción	Criterio de densidad de baches (huecos) (número / 500 m)
1	Leve	menor a 10
2	Moderado	entre 10 y 20
3	Severo	mayor a 20

Fuente: Manual de carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial.

Tabla 19 Calificación por tipo de falla.

Calificación para cada tipo de deterioro o falla de la capa de rodadura por secciones de 500m de carreteras afirmadas o no pavimentadas

Código de daño	Deterioro / Falla	Gravedad (G)	Medidas Área de deterioro (A) Número de deterioros (N) Longitud del deterioro (L)	Área de la Sección Evaluada (m²)	Longitud de la Sección Evaluada (m)	Área de la Sección Evaluada (m²)	Porcentaje de Extensión del deterioro (E) = $(A \times N) / (L \times A_e) \times 100$	Extensión Promedio Ponderada	Puntaje de Condición Según Extensión de Cada Tipo de Deterioro o Falla				Puntaje de Condición Resultante Por Cada Tipo de Deterioro o Falla	
									0. Sin Deterioros o Fallas	1. Leve EFP = Menor a 10%	2. Moderado EFP = entre 10% y 30%	3. Severo EFP = mayor a 30%		
1	Distorsión	1. Huecos/hundimientos menores al ancho pero > 5 cm	Área (A ₁): Dado 1 Gravedad 1 A ₁ = Longitud x Ancho (del defecto)	ancho	500	anchox500	EF ₁₁							
		2. Huecos/hundimientos entre 5 cm y 10 cm	Área (A ₂): Dado 1 Gravedad 2 A ₂ = Longitud x Ancho (del defecto)	ancho	500	anchox500	EF ₁₂							
		3. Huecos/hundimientos > 10 cm	Área (A ₃): Dado 1 Gravedad 3 A ₃ = Longitud x Ancho (del defecto)	ancho	500	anchox500	EF ₁₃							
2	Erosión	1. Deterioro al curvado pero profundidad < 5 cm	Área (A ₁): Dado 2 Gravedad 1 A ₁ = Longitud x Ancho (del defecto)	ancho	500	anchox500	EF ₂₁							
		2. Profundidad entre 5 cm y 10 cm	Área (A ₂): Dado 2 Gravedad 2 A ₂ = Longitud x Ancho (del defecto)	ancho	500	anchox500	EF ₂₂							
		3. Profundidad > 10 cm	Área (A ₃): Dado 2 Gravedad 3 A ₃ = Longitud x Ancho (del defecto)	ancho	500	anchox500	EF ₂₃							
3	Baches o huecos	1. Faltan repárese por conservación rutinaria	Número (N ₁): Dado 3 Gravedad 1											
		2. Se necesita una capa de material adicional	Número (N ₂): Dado 3 Gravedad 2											
		3. Se necesita una re-construcción	Número (N ₃): Dado 3 Gravedad 3											
4	Encalaminado	1. Deterioro al curvado pero profundidad < 5 cm	Área (A ₁): Dado 4 Gravedad 1 A ₁ = Longitud x Ancho (del defecto)	ancho	500	anchox500	EF ₄₁							
		2. Profundidad entre 5 cm y 10 cm	Área (A ₂): Dado 4 Gravedad 2 A ₂ = Longitud x Ancho (del defecto)	ancho	500	anchox500	EF ₄₂							
		3. Profundidad > 10 cm	Área (A ₃): Dado 4 Gravedad 3 A ₃ = Longitud x Ancho (del defecto)	ancho	500	anchox500	EF ₄₃							
5 x 0	CCL (LUGAR)	1. Transversal de base o intermedias en secciones de flanca	Área (A ₁): Dado 5 Gravedad 1 A ₁ = Longitud x Ancho (del defecto)	ancho	500	anchox500	EF ₅₁							
		2. Transversal de base o intermedias en secciones de flanca	Área (A ₂): Dado 5 Gravedad 2 A ₂ = Longitud x Ancho (del defecto)	ancho	500	anchox500	EF ₅₂							

Fuente: Manual de carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial.

La suma total no debe ser mayor a 500, en tal sentido la calificación de condición resulta de la diferencia de la suma total (500) menos la suma puntaje de condición, tal como se indica a continuación: (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

Tabla 20 Calificación de condición.

Calificación de Condición

CALIFICACION DE CONDICIÓN=	500 - SUMA PUNTAJE DE CONDICIÓN
CALIFICACION DE CONDICIÓN=	

Fuente: Manual de carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial.

La calificación de condición representa la condición de la capa de rodadura de las carreteras afirmadas o no pavimentadas y se sintetiza en tres tipos de condición: (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

- Bueno
- Regular
- Malo

Los rangos de calificación de condición para asignar la condición de la capa de rodadura en uno de los tipos de condición son: (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

Tabla 21 Tipos de condición según calificación de condición.

Tipos de Condición según calificación de condición

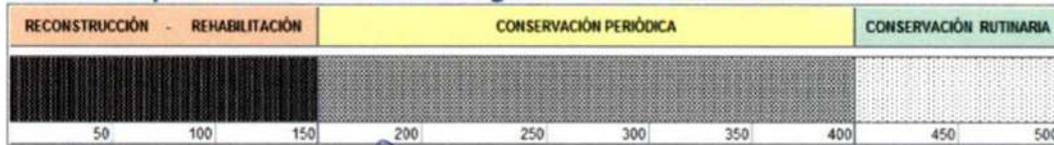
CONDICIÓN BUENO	> 400
CONDICIÓN REGULAR	> 150 y ≤ 400
CONDICIÓN MALO	≤ 150

Fuente: Manual de carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial

De acuerdo a la calificación de condición de la capa de rodadura se podrá estimar el tipo de conservación a realizar en cada sección de 500 m de longitud: (Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial, 2016)

Tabla 22 Tipo de conservación según calificación de condición.

Tipos de Conservación según calificación de condición



Fuente: Manual de carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial.

RESULTADOS DE LA EVALUACION

A continuación, mostramos los datos recolectados de campo en las hojas de identificación por tipo de fallas, siendo las fallas descritas por Ahuellamientos, Erosión y Baches.

Tabla 23 Resultados falla por ahuellamiento 1

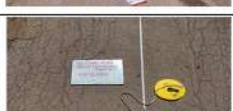
FALLA TIPO 1 AHUELLAMIENTO								
			GRAVEDAD 1	GRAVEDAD 2	GRAVEDAD 3	ANCHO	LARGO	Aij
	0+000	0+025	NO	SI	NO	1.50	25.00	37.50
	0+025	0+050	NO	NO	SI	2.00	25.00	50.00
	0+050	0+075	NO	NO	SI	1.80	25.00	45.00
	0+075	0+100	NO	NO	SI	1.80	25.00	45.00
	0+100	0+125	NO	NO	SI	2.00	25.00	50.00
	0+125	0+150	NO	SI	NO	1.50	25.00	37.50
	0+150	0+175	NO	SI	NO	1.50	25.00	37.50
	0+175	0+200	NO	NO	SI	2.00	25.00	50.00
	0+200	0+225	NO	NO	SI	2.00	25.00	50.00
	0+225	0+250	NO	NO	SI	2.00	25.00	50.00
	0+250	0+275	NO	SI	NO	1.00	25.00	25.00

Tabla 24 Resultados falla por ahuellamiento 2

FALLA TIPO 1 AHUELLAMIENTO								
			GRAVEDAD 1	GRAVEDAD 2	GRAVEDAD 3	ANCHO	LARGO	Aij
	0+275	0+300	NO	NO	SI	2.00	25.00	50.00
	0+300	0+325	NO	NO	SI	2.00	25.00	50.00
	0+325	0+350	NO	NO	SI	2.00	25.00	50.00
	0+350	0+375	NO	NO	SI	3.50	25.00	87.50
	0+375	0+400	NO	NO	SI	3.50	25.00	87.50
	0+400	0+425	NO	NO	SI	2.00	25.00	50.00
	0+425	0+450	NO	NO	SI	3.50	25.00	87.50
	0+450	0+475	NO	NO	SI	3.50	25.00	87.50
	0+475	0+500	NO	NO	SI	3.50	25.00	87.50

Tabla 25 Resultados por falla de Erosión 1

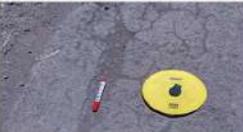
FALLA TIPO 2 EROSION								
			GRAVEDAD 1	GRAVEDAD 2	GRAVEDAD 3	ANCHO	LARGO	Aij
	0+000	0+025			SI	1.80	25.00	45.00
	0+025	0+050		SI		1.00	25.00	25.00
	0+050	0+075			SI	2.00	25.00	50.00
	0+075	0+100			SI	2.50	25.00	62.50
	0+100	0+125			SI	2.50	25.00	62.50
	0+125	0+150	SI			0.75	25.00	18.75
	0+150	0+175	SI			0.75	25.00	18.75
	0+175	0+200		SI		2.00	25.00	50.00
	0+200	0+225		SI		2.00	25.00	50.00
	0+225	0+250		SI		2.00	25.00	50.00
	0+250	0+275		SI		1.50	25.00	37.50

Tabla 26 Resultados de falla por Erosion 2

FALLA TIPO 2 EROSION								
			GRAVEDAD 1	GRAVEDAD 2	GRAVEDAD 3	ANCHO	LARGO	Aij
	0+275	0+300		NO	SI	2.50	25.00	62.50
	0+300	0+325			SI	2.50	25.00	62.50
	0+325	0+350		SI		1.80	25.00	45.00
	0+350	0+375		SI		1.80	25.00	45.00
	0+375	0+400		SI		1.80	25.00	45.00
	0+400	0+425		SI		1.80	25.00	45.00
	0+425	0+450		SI		1.80	25.00	45.00
	0+450	0+475		SI		1.80	25.00	45.00
	0+475	0+500		SI		1.80	25.00	45.00

Tabla 27 Resultados de falla por Baches 1

FALLA TIPO 3 BACHES Y HUECOS						
			GRAVEDAD 1	GRAVEDAD 2	GRAVEDAD 3	CANTIDAD
	0+000	0+025	NO	NO	SI	3
	0+025	0+050	NO	NO	SI	4
	0+050	0+075	NO	NO	SI	3
	0+075	0+100	NO	NO	SI	1
	0+100	0+125	NO	NO	SI	2
	0+125	0+150	NO	NO	SI	2
	0+150	0+175	NO	NO	SI	2
	0+175	0+200	NO	NO	SI	2
	0+200	0+225	NO	NO	SI	1
	0+225	0+250	NO	NO	SI	2
	0+250	0+275	NO	NO	SI	2

Tabla 28 Resultados de falla por baches 2

		FALLA TIPO 3 BACHES Y HUECOS				
			GRAVEDAD 1	GRAVEDAD 2	GRAVEDAD 3	CANTIDAD
	0+275	0+300	NO	NO	SI	2
	0+300	0+325	NO	NO	SI	1
	0+325	0+350	NO	NO	SI	2
	0+350	0+375	NO	NO	SI	4
	0+375	0+400	NO	NO	SI	2
	0+400	0+425	NO	NO	SI	2
	0+425	0+450	NO	NO	SI	4
	0+450	0+475	NO	NO	SI	2
	0+475	0+500	NO	NO	SI	2

RESUMEN DE RESULTADOS

A continuación, se presenta el resumen de resultados por cada tipo de falla calculado en función a la metodología de Evaluación de la Condición de Pavimentos Afirmados del Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial:

Tipo de Falla	Puntuación
Falla 1: Ahuellamiento	63.71 %
Falla 2: Erosión	52.00 %
Falla 3: Baches	100.00 %
Total	215.71 %

Tabla 29 Resumen de Resultados por tipo de Falla

CONCLUSIONES

1. Se ha identificado tres tipos de fallas de las 6 que describe el manual de conservación de carreteras. La primera es falla por deformaciones o ahuellamiento según el cálculo de la metodología de áreas con deterioro ha alcanzado un total de 63.71 %, la segunda es la falla por erosión que, alcanzo un total de 52.00 % y la tercera falla es la de Baches o huecos que, según el cálculo a alcanzado un 100% por la cantidad de 41 huecos en el tramo de 500 metros evaluados desde la progresiva 0+00 al km 0+500 para objeto del presente análisis. Entre los tres tipos de falla se alcanza un puntaje de 215.71.

Tabla 20 Calificación de condición.

Calificación de Condición

CALIFICACION DE CONDICIÓN=	500 - SUMA PUNTAJE DE CONDICIÓN
CALIFICACION DE CONDICIÓN=	

Fuente: Manual de carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial.

$$\text{Calificación de Condición} = 500 - 215.71$$

$$\text{Calificacion de Condición} = 284.29 \text{ puntos}$$

2. El cálculo indica que se debe de restar el valor calculado de un valor de 500, según la tabla N° 20, lo que nos arroja un valor de 284.29 puntos, en consecuencia, se califica la condición del pavimento según la tabla N° 21 como condición **“Regular”** por estar entre los límites mayor a 150 puntos y menor igual a 400 puntos.

Tabla 21 Tipos de condición según calificación de condición.

Tipos de Condición según calificación de condición

CONDICIÓN BUENO	> 400
CONDICIÓN REGULAR	 > 150 y ≤ 400
CONDICIÓN MALO	≤ 150

Fuente: Manual de carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial

3. De acuerdo a la calificación de la condición de la capa de rodadura del pavimento básico y considerando lo considerado en la tabla N° 22 “Tipo de Conservación según Calificación de Condición” al haber obtenido un valor de 284.29 puntos se propone que la intervención debe ser la de una conservación periódica con la finalidad de brindar un servicio de transitabilidad adecuado.



Fuente: Manual de carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial.

4.9.4. Validación Estadística de la Hipótesis Especifica 4

El margen de tolerancia para el valor de la deflexión admisible será del 5% como máximo.

Tabla 30 Análisis Estadístico de los Resultados de Deflexión

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS				
Deflexión Máxima			360.00	(0.01 mm)
Deflexión Mínima			48.00	(0.01 mm)
Deflexión Media \bar{D}			140.93	(0.01 mm)
Desviación Standard (S)			79.86	(0.01 mm)
Coeficiente de Variación (C.V.)			56.67	%
Deflexión Característica (D.C.)			272.29	(0.01 mm)
Radio de curvatura Máximo:			86.81	m
Radio de curvatura Mínimo:			8.80	m

Habiéndose tenido un valor de deflexión admisible de 133×0.01 mm y teniendo un valor de deflexión media de los 50 valores de deflexión de 140×0.01 mm y tomando en consideración que la desviación estándar fue de 79.86×0.01 mm, considerada muy alta y comprobado con el valor del Coeficiente de Variación de 56.67%, en ese sentido se tiene por necesario considerar un margen de aceptación para este tipo de evaluaciones considerando errores, por lo que un valor aceptable sería tener en consideración un error del 5% que está sustentado en los valores del Nivel de Confianza y el error de significancia considerados en la estadística paramétrica.

- Nivel de Confianza: 95%
- Margen de Error o de Significancia: 5% (0.05)

Este valor del 5% para nuestro caso en particular consideraría valores de 133×0.01 mm $\pm 6.65 \times 0.01$ mm; con un valor superior de 139.65×0.01 mm y un valor inferior de 126.35×0.01 mm.

En conclusión, es factible proponer la Metodología para la Evaluación de Pavimentos Básicos con el uso de la Viga Benkelman.

CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados

5.1.1. Procedimiento de recolección de datos con Viga Benkelman

Las deflexiones en el pavimento son deformaciones verticales las cuales para nuestro estudio deben estar dentro del comportamiento de las deformaciones elásticas de la capa de base mejorada o estabilizada. Como sabemos el módulo elástico del material de base mejorada este dado por el módulo resiliente de dicha capa. La ecuación gobernante de nuestro análisis de comportamiento elástico es la ecuación de Esfuerzo versus deformación; donde la pendiente es el módulo de Young, haciendo que el comportamiento del material de base sea linealmente elástico.

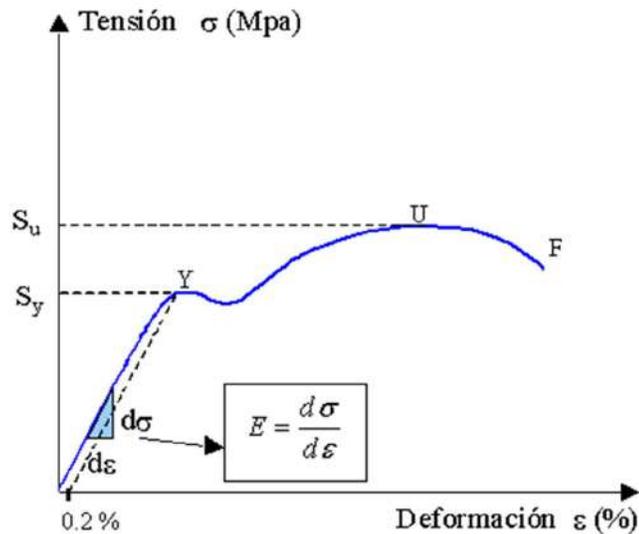


Ilustración 17 Diagrama Esfuerzo Vs Deformación. (fuente: Dinámica de Estructuras A. Chopra, 2014)

La recolección de datos para nuestra investigación la realizamos con el equipo de Viga Benkelman de marca "HUMBOLT" de un solo brazo, este equipo de propiedad del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a quienes en la persona de su decano agradezco por el apoyo en este proceso de instrumentación de la investigación, siendo este un equipo en excelentes condiciones.



Ilustración 18 Instrumento para medición deflectometría Viga Benkelman



Ilustración 19 Instrumentación para ensayo de deflectometría.

Estudio de tráfico

El estudio de tráfico que se tomó para la presente investigación es el realizado por la empresa Ingenieros Civiles, Contratistas Generales S.A., conocida por sus siglas ICCGSA, quienes lo realizaron el año 2012 como parte del Plan de Gestión Vial, "PGV", el cual reproducimos a continuación:

Tabla 31 Proyección de Tráfico Pesado (PGV - ICCGSA, 2012)

PROYECCION DE TRAFICO (OMNIBUS Y TRANSPORTE DE CARGA)									
CARRETERA:	"PUENTE CHUQUICAHUANA - ACOMAYO - RONDOCAN - MAYUBAMBA"								IMD
ITEM	Omnib. B2	Camión C2	Camión C3	Camión C4	Semitrayer				VEH.PESADOS
					T2S1	T2S2	T3S2	T3S3	
(1+r) 2012 -2023	1.053	1.053	1.053	1.053	1.053	1.053	1.053	1.053	
Tráfico Desviado 2015									
Traf. Inducido 2014		2							2
Traf. Generado 2013	1	9	1					1	12
2012	4	44	0					1	49
2013	5	55	1					2	64
2014	5	60	1					2	69
2015	6	65	1					2	75
2016	6	69	1					2	79
2017	6	73	1					3	83
2018	7	76	1					3	87
2019	7	80	1					3	92
2020	7	86	1					3	97
2021	8	89	2					3	102
2022	8	94	2					3	107
2023	9	99	2					3	113

Tabla 32 Proyección de Esal Tráfico Pesado 2013 - 2023 (PGV - ICCGSA, 2012)

PROYECCION DE ESAL										
CARRETERA:	"PUENTE CHUQUICAHUANA - ACOMAYO - RONDOCAN - MAYUBAMBA"								EE ANUAL	EE ACUMULADO
ITEM	Omnib. B2	Camión C2	Camión C3	Camión C4	Semitrayer			EE ANUAL	EE ACUMULADO	
					T2S1	T2S2	T3S3			
(1+r) 2012 -2023	1.053	1.053	1.053	1.053	1.053	1.053	1.053			
Tráfico Desviado 2015										
Traf. Inducido 2014		2								
Traf. Generado 2013	1	9	1				1			
FD	4.92937	1.27958	5.8884				8.9395			
Fsentido	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5			
Días año	365	365	365	365	365	365	365			
2012	4	44	0				1			
2013	4,689	12,921	1,075				3349	2.20E+04	2.20E+04	
2014	4,937	14,073	1,132				3527	2.40E+04	4.60E+04	
2015	5,199	58,887	1,183				2048	6.70E+04	1.10E+05	
2016	5,474	16,096	1,255				3911	2.70E+04	1.40E+05	
2017	5,765	16,949	1,321				4118	2.80E+04	1.70E+05	
2018	6,070	17,848	1,391				4336	3.00E+04	2.00E+05	
2019	6,392	18,794	1,465				4566	3.10E+04	2.30E+05	
2020	6,731	19,790	1,543				4808	3.30E+04	2.60E+05	
2021	7,087	20,839	1,624				5063	3.50E+04	3.00E+05	
2022	7,463	21,943	1,710				5331	3.60E+04	3.30E+05	
2023	7,859	23,106	1,801				5614	3.80E+04	3.70E+05	

Diseño Estructural de Pavimento

El diseño estructural de pavimento que ha sido tomado en cuenta para la presente investigación ha sido el calculado por la empresa Ingenieros Civiles, Contratistas Generales S.A., conocida por sus siglas ICCGSA, quienes lo realizaron el año 2012 como parte del Plan de Gestión Vial, "PGV", estando este basado en la metodología de Diseño Estructural de Pavimentos AASHTO 93, el cual reproducimos a continuación:

Tabla N° datos de ingreso para diseño de pavimento flexible con solución básica asfáltica

Tabla 33 Parámetros de Diseño y Calculo de SN requerido

TRAMO	EJES EQUIVALENTES	SECTOR		CBR
		DE	A	
1 MAYUMBAMBA PARURO KM 0+100 AL KM 12+500	3.70E+05	0+100	12+500	19.0

Tabla 34 Parámetros de Cálculo de SN requerido

AASHTO '93							
R(%)	Zr	So	Pi	Pt	EAL	Mr	SN
75	-0.674	0.45	3.80	2.00	3.70E+05	16819	1.94

Tabla 35 Parámetros de Cálculo de SN propuesto

PAVIMENTO FLEXIBLE CON SOLUCION BASICA ASFALTICA								
a1 (1/cm)	a2 (1/cm)	m2	a3 (1/cm)	m3	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	SN
0.168	0.054	1	0.048	1	2.5	15	15	1.95

Criterio para la toma de datos de campo con Viga Benkelman

El proceso de toma de datos de cada investigación debe adecuarse al objetivo de lo que la investigación quiere demostrar. Para nuestro caso las EG 2013 sugiere realizar la toma de deflectometría cada 250 metros variando de carril izquierdo, eje central y carril derecho y así sucesivamente, para poder dar por aprobado o rechazado cada tramo evaluado; sin embargo, el objetivo de nuestra tesis es demostrar que de existir una variabilidad considerable en los resultados de la

deflectometría estos afectarían al grado de desempeño de la estructura del pavimento. Tomando en cuenta la experiencia propia en campo, con una cuadrilla encabezada por una motoniveladora es posible realizar un frente de conformación de capa granular de 200 metros de manera adecuada, por lo que se decidió que la longitud de cada tramo a evaluar sea de 200 metros. Para la determinación de la variabilidad se optó por el criterio de tomar cada punto de medición de deflectometría a un distanciamiento de 25 metros, para poder identificar el verdadero perfil de deflexiones (Elaboración propia).

Tabla 36 Valores de deflectometría con Viga Benkelman

Ítem N°	Punto de Control Progresiva	Deflexión Observada (0.01 mm)	Deflexión Diferencial (0.01 mm)	Deflexión Admisible (0.01 mm)	Ítem N°	Punto de Control Progresiva	Deflexión Observada (0.01 mm)	Deflexión Diferencial (0.01 mm)	Deflexión Admisible (0.01 mm)
1	0+100	72.00	61.00	133.00	26	0+725	48.00	85.00	133.00
2	0+125	165.60	-32.60	133.00	27	0+750	292.80	-159.80	133.00
3	0+150	268.80	-135.80	133.00	28	0+775	158.40	-25.40	133.00
4	0+175	122.40	10.60	133.00	29	0+800	110.40	22.60	133.00
5	0+200	249.60	-116.60	133.00	30	0+825	72.00	61.00	133.00
6	0+225	268.80	-135.80	133.00	31	0+850	55.20	77.80	133.00
7	0+250	170.40	-37.40	133.00	32	0+875	194.40	-61.40	133.00
8	0+275	60.00	73.00	133.00	33	0+900	67.20	65.80	133.00
9	0+300	170.40	-37.40	133.00	34	0+925	194.40	-61.40	133.00
10	0+325	98.40	34.60	133.00	35	0+950	98.40	34.60	133.00
11	0+350	98.40	34.60	133.00	36	0+975	110.40	22.60	133.00
12	0+375	55.20	77.80	133.00	37	0+1000	122.40	10.60	133.00
13	0+400	98.40	34.60	133.00	38	0+1025	218.40	-85.40	133.00
14	0+425	194.40	-61.40	133.00	39	0+1050	146.40	-13.40	133.00
15	0+450	225.60	-92.60	133.00	40	0+1075	110.40	22.60	133.00
16	0+475	52.80	80.20	133.00	41	0+1100	189.60	-56.60	133.00
17	0+500	91.20	41.80	133.00	42	0+1125	360.00	-227.00	133.00
18	0+525	177.60	-44.60	133.00	43	0+1150	79.20	53.80	133.00
19	0+550	86.40	46.60	133.00	44	0+1175	304.80	-171.80	133.00
20	0+575	86.40	46.60	133.00	45	0+1200	268.80	-135.80	133.00
21	0+600	60.00	73.00	133.00	46	0+1225	206.40	-73.40	133.00
22	0+625	62.40	70.60	133.00	47	0+1250	218.40	-85.40	133.00
23	0+650	48.00	85.00	133.00	48	0+1275	86.40	46.60	133.00
24	0+675	55.20	77.80	133.00	49	0+1300	110.40	22.60	133.00
25	0+700	57.60	75.40	133.00	50	0+1325	127.20	5.80	133.00

5.1.2. Análisis, Interpretación y discusión de resultados

Los datos obtenidos en nuestras mediciones de deflectometría con equipo de Viga Benkelman de un brazo han arrojado valores con un grado de variabilidad considerable. Siendo el valor de la deflexión admisible de 1.33 mm. Para el cálculo de la deflexión admisible se tomó en cuenta la fórmula de deflexión en función al número de repeticiones de diseño en este caso el valor de Ejes Equivalente. (Silene & Ordoñez Huaman, 2006)

$$N_{18} = \frac{1.15}{D_{adm}^4}, \text{ de donde despejando obtenemos: } D_{adm} = \left(\frac{1.15}{N_{18}}\right)^{1/4}$$

Donde:

D_a : Deflexión Característica admisible (inicial) en mm.

N_{18} : Número de ejes estandar equivalentes de 8.2 tn acumulados en millones

Ahora veremos los gráficos de variabilidad de deflexiones por cada tramo en evaluación. Los sub tramos de evaluación fueron bajo la consideración de tomar 200 m. que es una longitud aceptable en campo con respecto a un rendimiento por frente de trabajo por día. Además, tomando en cuenta que la deflexión admisible para nuestra medición de ejes equivalentes es de $3.70 * 10^5$ EE para el periodo de diseño de 10 años de vida útil. (ICCGSA, 2012)

Tabla 37 Medición de Variabilidad de Deflexiones Tramo 01

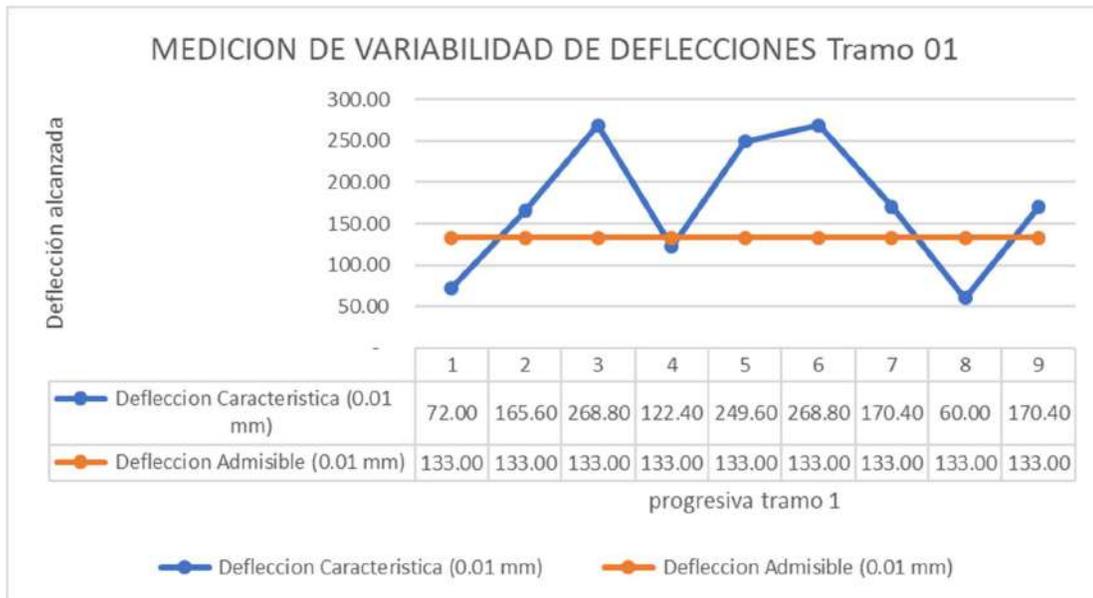


Tabla 38 Medición de Variabilidad de Deflexiones Tramo 02

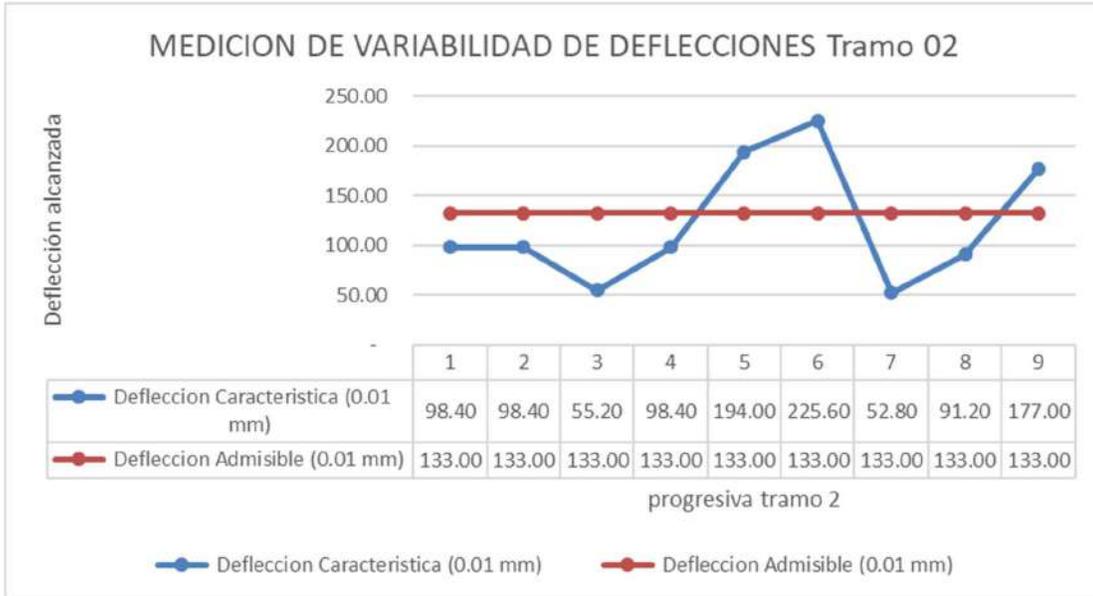


Tabla 39 Medición de Variabilidad de Deflexiones Tramo 03

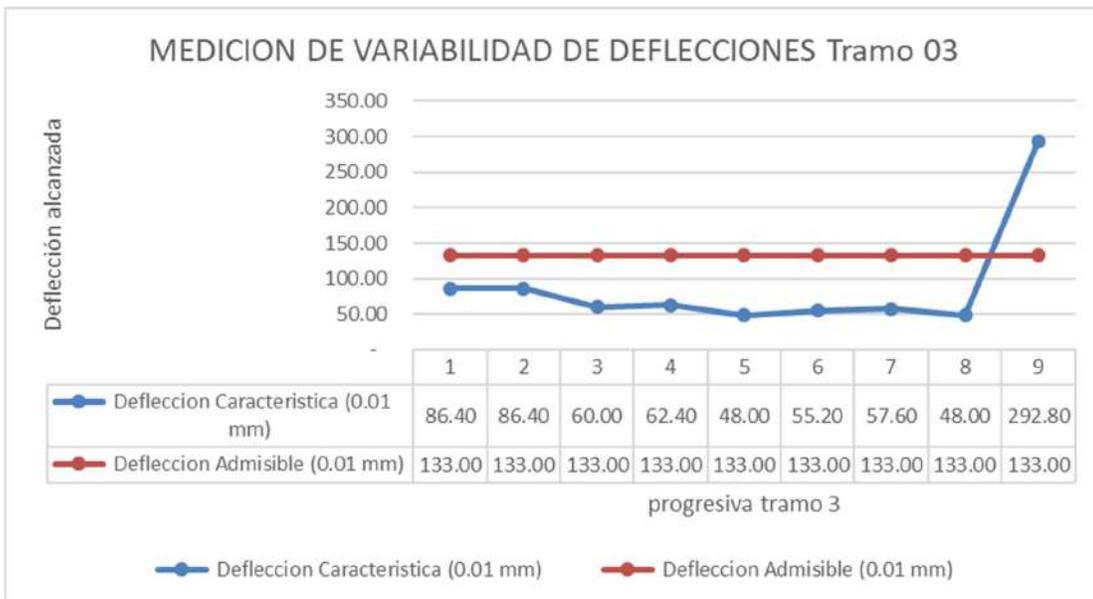


Tabla 40 Medición de Variabilidad de Deflexiones Tramo 04

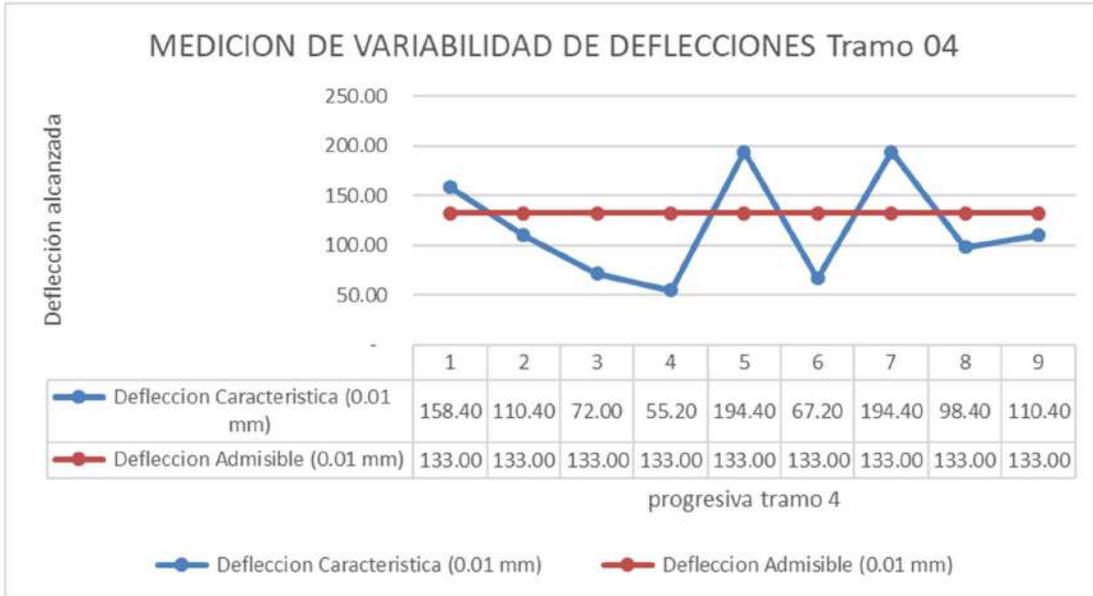
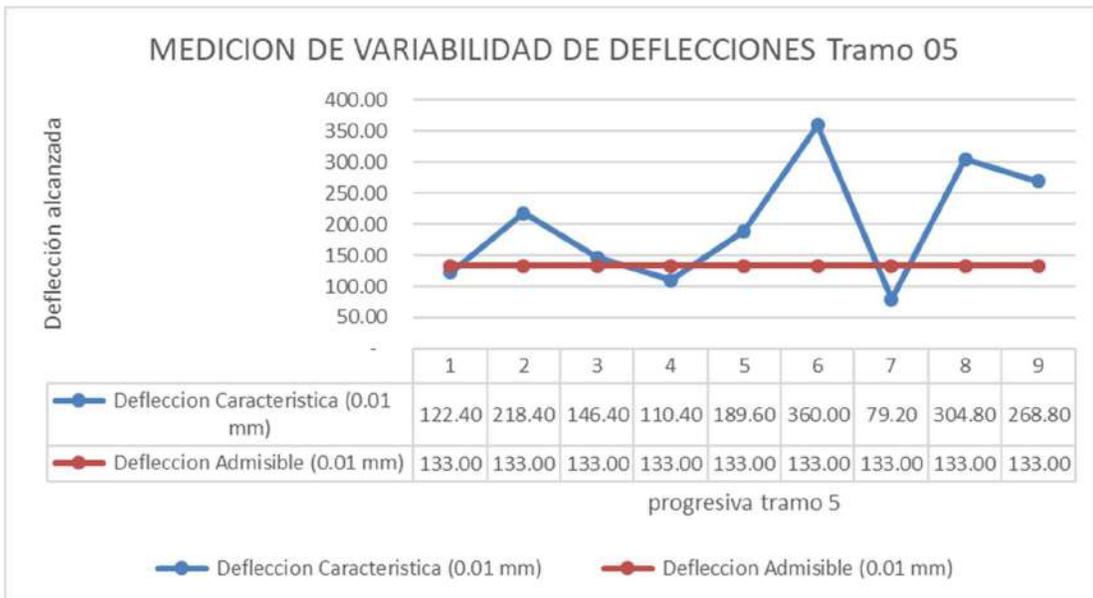


Tabla 41 Medición de Variabilidad de Deflexiones Tramo 05



Siendo la deflexión admisible calculada de 1.33 mm. Debemos tener en cuenta que esta deformación vertical corresponde a un valor de NUMERO ESTRUCTURAL (SN) de 0.81 (correspondiente a la capa de base mejorada), y a un espesor de 15 cm. (Ver cálculo de estructura de pavimento con tratamiento superficial asfáltico). Debemos interpretar que deflexiones mayores a la deflexión admisibles estarían vulnerando el espectro de trabajo de comportamiento elástico de nuestra estructura

de pavimento compuesta principalmente para nuestro caso por la capa de base mejorada teniendo en cuenta que la capa de tratamiento superficial asfáltico al tener un espesor menor de 5 cm. No es posible considerarlo como aporte estructural, siendo la capa de base mejorada la que absorbe la aplicación de los esfuerzos de manera absoluta para efectos reales. Así también debemos precisar que valores de deflexiones mayores a la deflexión admisible nos dan suficientes argumentos técnicos para precisar que los espesores de base mejorada son inferiores a los 15 cm. Indicados en el diseño estructural de nuestro pavimento en estudio. (Elaboración propia).

De los valores de deflexión del **tramo 01** podemos observar que hay valores que llegan a los 2.68 mm. Lo que excede en un 100% el valor permitido de deflexión. La interpretación de estos valores nos lleva a dar una alerta de que el control de espesores en el momento de conformación de esta capa estructural no sido el correcto. De los valores de deflexión del **tramo 02** podemos observar que hay valores que llegan a los 2.25 mm. Lo que excede en un 69% el valor permitido de deflexión. La interpretación de estos valores nos lleva a dar una alerta de que el control de espesores en el momento de conformación de esta capa estructural no sido el correcto. De los valores de deflexión del **tramo 03** podemos observar que hay valores que llegan a los 2.92 mm. Lo que excede en un 119% el valor permitido de deflexión. Además, podemos expresar que en este tramo se puede observar deflexiones continuas con valores por debajo de la deflexión admisible lo que confirma la tesis de que existe tramos con espesores superiores a los 15 cm. De espesor lo que verifica que no hubo el control geométrico (topográfico de control de espesores) en el proceso constructivo. Para los casos de los **tramos 04 y tramo 05**, estos continúan ratificando la variabilidad en los valores de deflexión lo que confirma la variabilidad de los espesores, lo que se transforma en valores de **Números Estructurales inferiores a los del diseño estructural** lo que trae como consecuencia un **Deficiente Desempeño Estructural del pavimento básico analizado**. La interpretación de estos valores nos lleva a dar una alerta de que el control de espesores en el momento de conformación de esta capa estructural no sido el correcto. La conclusión a la arribamos en base a la evidencia estadística de la variabilidad de los resultados que se encuentran por encima de los valores

permitidos de deflexión es que el proceso constructivo y el control correspondiente (supervisión del Proyecto) NO han sido los adecuados (Elaboración propia).

5.2. Pruebas de hipótesis

Discusión de la Hipótesis General ¿Se demostró la hipótesis general de la presente investigación?

Si se demostró el planteamiento de la Hipótesis General por los argumentos expresados a continuación. La hipótesis general de la investigación planteaba que la variabilidad del Número Estructural (SN) influye en el Desempeño Estructural del pavimento flexible durante su vida útil, y esta hipótesis si ha podido ser demostrada en función a la variabilidad de los resultados de la medición de deflexiones (deformaciones verticales) las cuales han demostrado que para tramos continuos de evaluación de 200 m. estas deformaciones son variables siendo medidos cada 25 m. con el apoyo de la Viga Benkelman. La Hipótesis general se apoya en que el Número Estructural según el cálculo de diseño en función al número de Ejes Equivalentes (ESAL) está representado por un determinado espesor de la capa estructural que para nuestro caso es la base mejorada; por lo que, al verificarse la variabilidad de las deflexiones, este patrón nos da la certeza para confirmar que, al tener valores irregulares de deflexión entonces los espesores entre puntos de medición continuos en distancias cortas (cada 25 m.) son diferentes, lo que confirma la falta de control topográfico en el proceso constructivo de conformación de la capa de base mejorada. (Elaboración propia)

Discusión de la Hipótesis Especifica 01 ¿Se demostró la hipótesis especifica 01 de la presente investigación?

Si se ha demostrado el planteamiento de la Hipótesis Especifica 01. Esta hipótesis planteaba que “Los valores de deflectometría afectan el desempeño estructural del pavimento flexible con tratamiento superficial asfáltico en la carretera Mayumbamba Paruro 2021 – 2023”, lo cual fue demostrado con la evidencia de la prueba estadística del Chi Cuadrado, además, al poder analizar la variabilidad de los valores de deflectometría, es decir de las deformaciones verticales medidas cada 25 m. estas deformaciones en gran número han estado por encima de la deflexión

admisible lo que nos hace interpretar que la estructura del pavimento está trabajando cerca de las deformaciones plásticas.

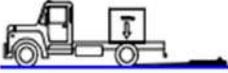
Discusión de la Hipótesis Específica 02 ¿Se demostró la hipótesis específica 02 de la presente investigación?

Si se demostró la hipótesis específica 02 debido a que al tener valores de rugosidad en su mayoría por encima del valor admisible en los 10 tramos evaluados podemos aseverar que hay evidencia científica para validar nuestra hipótesis específica 02. El nivel de serviciabilidad que está relacionado con el índice de rugosidad internacional (IRI) y en nuestro tramo evaluado este presenta un nivel inadecuado. Esto se puede correlacionar con los valores obtenidos en la medición de la deflectometría, puesto que espesores menores al espesor de diseño se deformarán prematuramente lo que en consecuencia traerá son valores de rugosidad mayores y niveles de serviciabilidad bajos.

5.3. Presentación de resultados

5.3.1. Resultados de Ensayo de Deflectometría con Viga Benkelman

Tabla 42 Valores deflexión con Viga Benkelman

MEDIDA DE LA DEFLEXIÓN DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN																				
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 1002, ASTM D 4695																				
DATOS DE LA ESTRUCTURA Y EQUIPO																				
ANÁLISIS DEFLECTOMÉTRICO CON LA VIGA BENKELMAN																				
PREYECTO : RED VIAL N°02 TRAMO : TRAMO: MAYUMBAMBA - PARURO UBICACIÓN : MAYUMBAMBA, PROVINCIA PARURO - CUSCO CARRIL : Izquierdo - Derecho FECHA : Cusco, martes, 20 de junio de 2023										RELACIÓN DE BRAZOS: 1: 2 CARGA : 8200 kg PRESIÓN : 80 PSI EAL : 3.70E+05 D ₁₅ : 133										
OPERADORES : Flavia La Torre Rojas - Técnico de Laboratorio de Suelos Concreto y Asfalto										N° DE REGISTRO : VIGA - HUMBOLDT										
SOLICITANTE : ING. EDWARD ROMADACA CAZAS																				
ESTACIÓN	LECTURAS DIAL (0.01 mm)						LADO	FC.	FC.	DEFLEXIONES CORREGIDAS (0.01 mm)								R. CURV. (m)	OBSERVACIONES	
	N° Ensayo	L=0	L=25	L=50	L=75	L=100				L=500	2° DIAL	CARRIL	Temp.	ESTAC.	Do	D25	D50			D75
0+100	0	8	13	15	20	30			Derecho	1.000	1.2	72	19	31	36	48	0	0	39.19	Cumple
0+125	0	20	30	46	64	69			Derecho	1.000	1.2	166	48	72	110	154	0	0	26.57	No cumple
0+150	0	66	74	85	99	112			Derecho	1.000	1.2	269	158	178	204	238	0	0	28.31	No cumple
0+175	0	20	33	38	46	51			Derecho	1.000	1.2	122	48	79	91	110	0	0	42.00	Cumple
0+200	0	25	81	94	99	104			Derecho	1.000	1.2	250	60	194	226	238	0	0	16.48	No cumple
0+225	0	30	79	99	104	112			Derecho	1.000	1.2	269	72	190	238	2	0	0	15.88	No cumple
0+250	0	23	56	61	66	71			Derecho	1.000	1.2	170	55	134	146	158	0	0	27.13	No cumple
0+275	0	9	14	18	20	25			Izquierdo	1.000	1.2	60	22	34	43	48	0	0	81.38	Cumple
0+300	0	30	53	61	66	71			Izquierdo	1.000	1.2	170	72	127	146	158	0	0	31.76	No cumple
0+325	0	8	13	23	36	41			Izquierdo	1.000	1.2	98	19	31	55	86	0	0	39.46	Cumple
0+350	0	13	23	30	38	41			Izquierdo	1.000	1.2	98	31	55	72	91	0	0	46.50	Cumple
0+375	0	8	8	10	15	23			Izquierdo	1.000	1.2	55	19	19	24	36	0	0	86.81	Cumple
0+400	0	20	23	28	36	41			Derecho	1.000	1.2	98	48	55	67	86	0	0	62.00	Cumple
0+425	0	38	71	74	76	81			Derecho	1.000	1.2	194	91	170	178	182	0	0	30.28	No cumple
0+450	0	23	61	79	89	94			Derecho	1.000	1.2	226	55	146	190	214	0	0	18.34	No cumple
0+475	0	5	8	13	13	22			Derecho	1.000	1.2	53	12	19	31	31	0	0	76.59	Cumple
0+500	0	5	10	28	33	38			Izquierdo	1.000	1.2	91	12	24	67	79	0	0	39.46	Cumple
0+525	0	23	33	46	61	74			Izquierdo	1.000	1.2	178	55	79	110	146	0	0	25.53	No cumple
0+550	0	18	22	30	33	36			Izquierdo	1.000	1.2	86	43	53	72	79	0	0	72.34	Cumple
0+575	0	20	10	30	33	36			Izquierdo	1.000	1.2	86	48	24	72	79	0	0	81.38	Cumple
0+600	0	7	8	14	19	25			Izquierdo	1.000	1.2	60	17	19	34	46	0	0	72.34	Cumple
0+625	0	8	10	17	22	26			Derecho	1.000	1.2	62	19	24	41	53	0	0	72.34	Cumple
0+650	0	3	5	13	18	20			Derecho	1.000	1.2	48	7	12	31	43	0	0	76.59	Cumple
0+675	0	5	10	15	20	23			Derecho	1.000	1.2	55	12	24	36	48	0	0	72.34	Cumple
0+700	0	4	7	12	17	24			Derecho	1.000	1.2	58	10	17	29	41	0	0	65.10	Cumple
0+725	0	5	8	13	18	20			Derecho	1.000	1.2	48	12	19	31	43	0	0	86.81	Cumple
0+750	0	38	56	99	112	122			Izquierdo	1.000	1.2	293	91	134	238	269	0	0	15.50	No cumple
0+775	0	30	46	56	64	66			Izquierdo	1.000	1.2	158	72	110	134	154	0	0	36.17	No cumple
0+800	0	13	23	30	38	46			Izquierdo	1.000	1.2	110	31	55	72	91	0	0	39.46	Cumple
0+825	0	5	15	20	25	30			Izquierdo	1.000	1.2	72	12	36	48	60	0	0	52.08	Cumple
0+850	0	8	10	15	20	23			Izquierdo	1.000	1.2	55	19	24	36	48	0	0	86.81	Cumple
0+875	0	36	58	69	76	81			Derecho	1.000	1.2	194	86	139	166	182	0	0	28.94	No cumple
0+900	0	8	13	18	23	28			Derecho	1.000	1.2	67	19	31	43	55	0	0	65.10	Cumple
0+925	0	13	46	51	71	81			Derecho	1.000	1.2	194	31	110	122	170	0	0	19.15	No cumple
0+950	0	8	13	25	36	41			Derecho	1.000	1.2	98	19	31	60	86	0	0	39.46	Cumple
0+975	0	5	13	20	38	46			Derecho	1.000	1.2	110	12	31	48	91	0	0	31.76	Cumple
1+000	0	13	20	30	41	51			Izquierdo	1.000	1.2	122	31	48	72	98	0	0	34.27	Cumple
1+025	0	20	33	71	76	91			Izquierdo	1.000	1.2	218	48	79	170	182	0	0	18.34	No cumple
1+050	0	13	46	51	58	61			Izquierdo	1.000	1.2	146	31	110	122	139	0	0	27.13	No cumple
1+075	0	8	13	20	38	46			Izquierdo	1.000	1.2	110	19	31	48	91	0	0	34.27	Cumple
1+100	0	10	33	56	69	79			Derecho	1.000	1.2	190	24	79	134	166	0	0	18.87	No cumple
1+125	0	2	56	106	136	150			Derecho	1.000	1.2	360	5	134	262	324	0	0	8.80	No cumple
1+150	0	15	23	25	30	33			Derecho	1.000	1.2	79	36	55	60	72	0	0	72.34	Cumple
1+175	0	25	46	56	122	127			Derecho	1.000	1.2	305	60	110	134	293	0	0	12.77	No cumple
1+200	0	20	56	94	107	112			Izquierdo	1.000	1.2	269	48	134	226	257	0	0	14.15	No cumple
1+225	0	28	46	79	81	86			Izquierdo	1.000	1.2	206	67	110	190	194	0	0	22.45	No cumple
1+250	0	15	56	81	86	91			Izquierdo	1.000	1.2	218	36	134	194	206	0	0	17.13	No cumple
1+275	0	13	23	28	30	36			Izquierdo	1.000	1.2	86	31	55	67	72	0	0	56.61	Cumple
1+300	0	18	28	38	41	46			Derecho	1.000	1.2	110	43	67	91	98	0	0	46.50	Cumple
1+325	0	15	30	41	48	53			Derecho	1.000	1.2	127	36	72	98	115	0	0	34.27	Cumple

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS	
Deflexión Máxima	360.00 (0.01 mm)
Deflexión Mínima	48.00 (0.01 mm)
Deflexión Media \bar{x}	140.93 (0.01 mm)
Desviación Standard (S)	79.86 (0.01 mm)
Coefficiente de Variación (C.V.)	56.67 %
Deflexión Característica (D.C.)	272.29 (0.01 mm)
Radio de curvatura Máximo:	86.81 m
Radio de curvatura Mínimo:	8.80 m

$$N_{18} = \frac{1.15}{D_1} \Rightarrow D_1 = \left(\frac{1.15}{N_{18}} \right)^{1/4}$$

Donde:
 D_1 : Deflexión característica admisible (inicia) en mm.
 N_{18} : Número de ejes estándar equivalentes de 8.2ton acumulados en millones

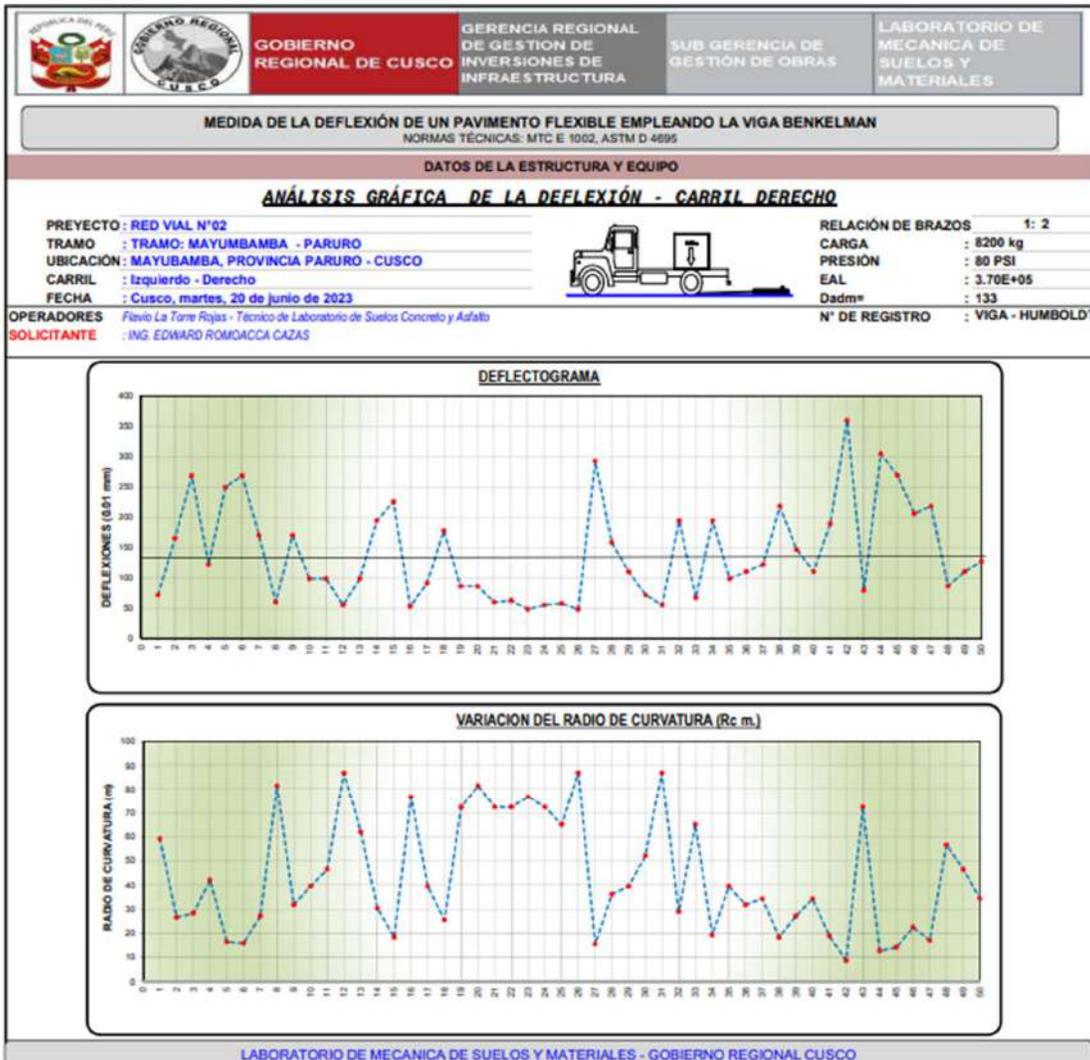


Ilustración 20 Deflectograma general

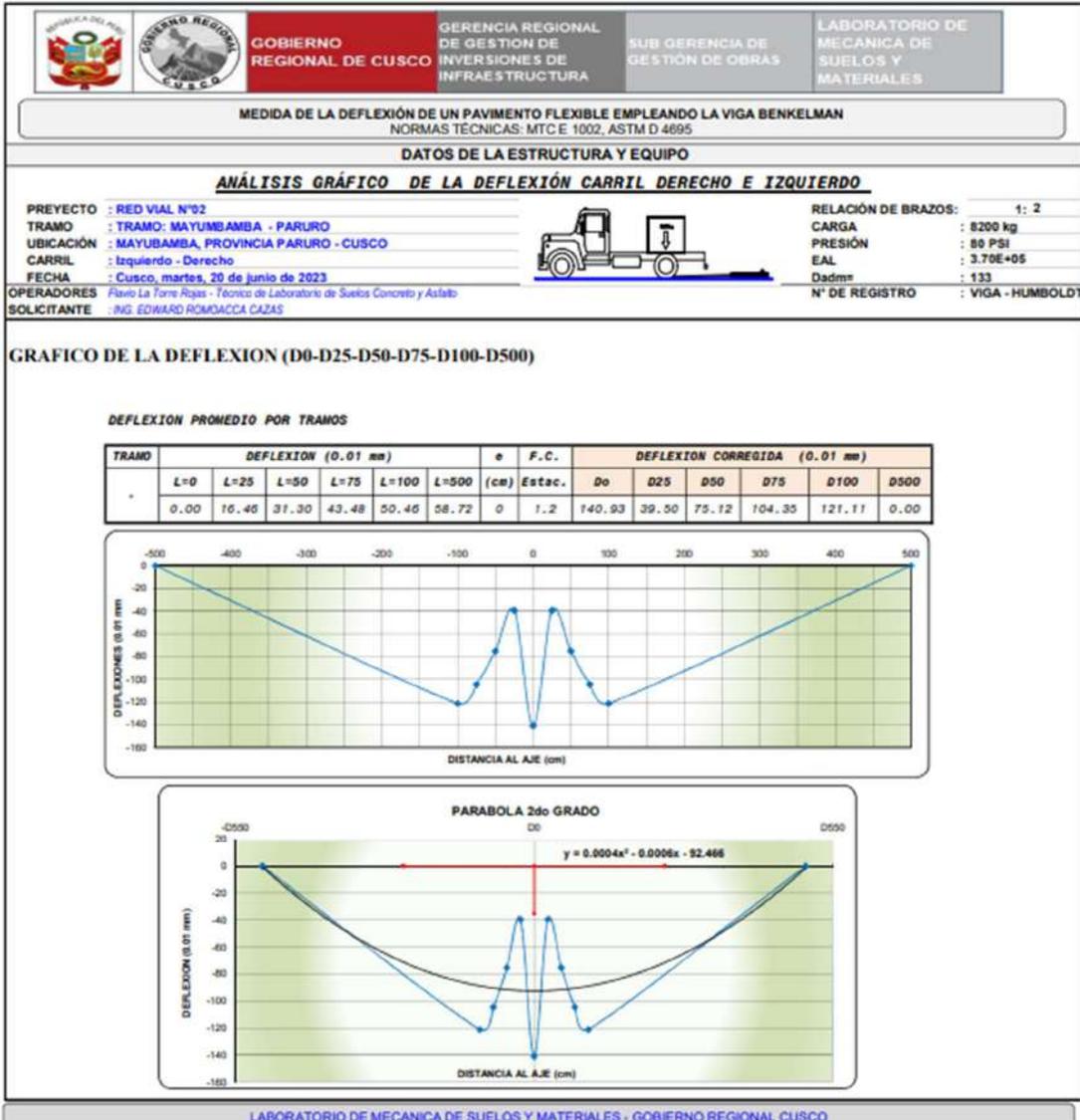


Ilustración 21 Grafico del cuenco de deflexiones

5.3.2. Resultados de Ensayo de Rugosidad con Rugosímetro MERLIN.

Tabla 43 Medición Rugosidad Tramo 01

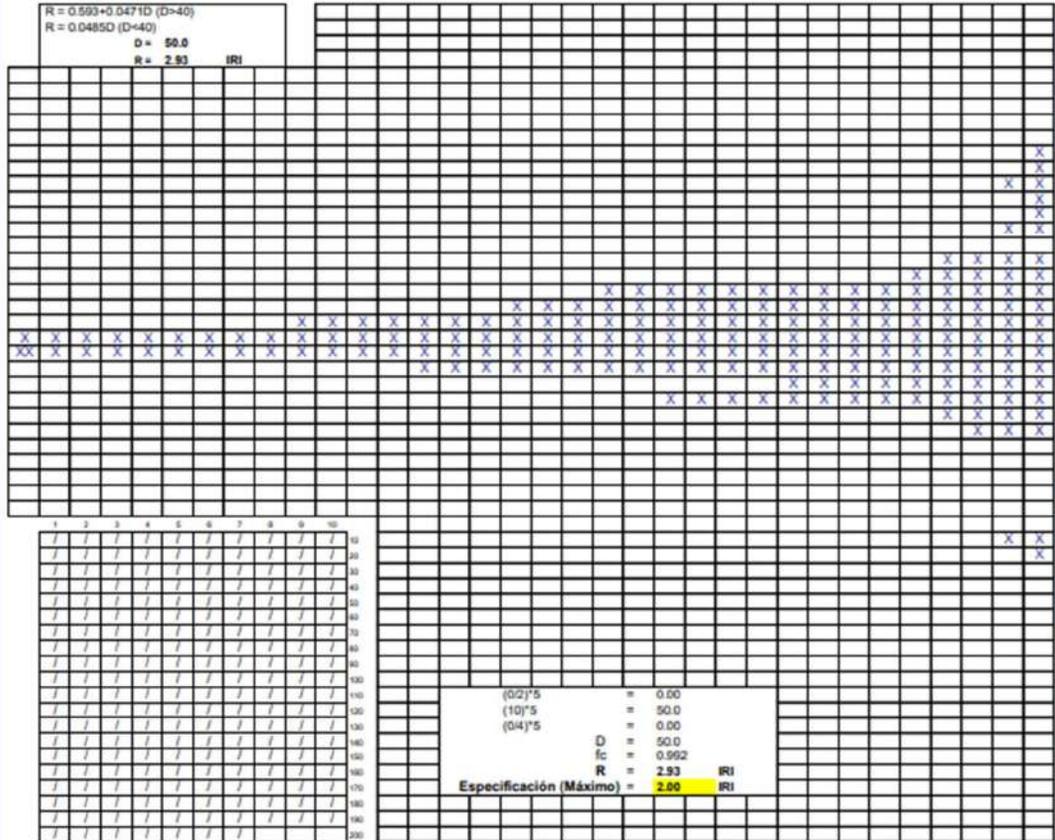
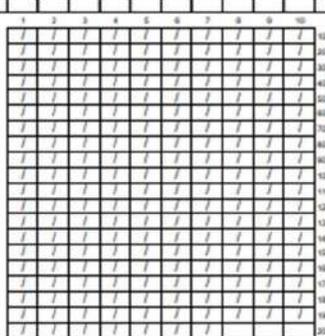
		GOBIERNO REGIONAL DE CUSCO	GERENCIA REGIONAL DE GESTIÓN DE INVERSIONES DE INFRAESTRUCTURA	SUB GERENCIA DE GESTIÓN DE OBRAS	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES
METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS CON EL EQUIPO MERLIN - (ASTM E1926)					
Proyecto	: <u>SERVICIO DE CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO EN LA RED VIAL N° 03</u>				
Ubicación de Proyecto	: <u>Mayubamba, Provincia Paruro, Departamento Cusco</u>				
Solicitante	: <u>Ing° Edward Romoacca Cazas</u>				
Fecha de Ensayo	: <u>Cusco, Agosto del 2023</u>				
Tipo	: <u>Carpeta asfáltica (Tratamiento Superficial)</u>				
Tramo	: <u>MAYUBAMBA - PARURO</u>				
	: <u>Km: 00+100 al 00+500</u>				
CÁLCULO GRÁFICO DE RUGOSIDAD - HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS					
<p>R = 0.593+0.0471D (D>40) R = 0.0485D (D=40) D = 50.0 R = 2.93 IRI</p>					
		<p>(0.2)'5 = 0.00 (10)'5 = 50.0 (0.4)'5 = 0.00 D = 50.0 Sc = 0.992 R = 2.93 IRI Especificación (Máximo) = 2.00 IRI</p>			
OBSERVACIONES :					
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES - GOBIERNO REGIONAL CUSCO					
TECNICO - LABORATORIO		INO° DE LABORATORIO		JEFE DE LABORATORIO DE SUELOS	
Nombre y firma: 		Nombre y firma:		Nombre y firma:	
					

Tabla 44 Medición de Rugosidad tramo 02

		GOBIERNO REGIONAL DE CUSCO	GERENCIA REGIONAL DE GESTION DE INVERSIONES DE INFRAESTRUCTURA	SUB GERENCIA DE GESTION DE OBRAS	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS CON EL EQUIPO MERLIN - (ASTM E1926)					
Proyecto	: <u>SERVICIO DE CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO EN LA RED VIAL N° 03</u>				
Ubicación de Proyecto	: <u>Mayubamba, Provincia Paruro, Departamento Cusco</u>				
Solicitante	: <u>Ing° Edward Romoacca Cazas</u>				
Fecha de Ensayo	: <u>Cusco, Agosto del 2023</u>				
Tipo	: <u>Carpeta asfáltica (Tratamiento Superficial)</u>				
Tramo	: <u>MAYUBAMBA - PARURO</u>				
	: <u>Km: 01+100 al 01+600</u>				

CÁLCULO GRÁFICO DE RUGOSIDAD - HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS																																																																																																																																																		
$R = 0.593 + 0.0471D$ (D=40) $R = 0.0485D$ (D=40) D = 54.2 R = 3.13 IRI	mm 50 49 48 47 46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1																																																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr> <tr><td>100</td><td>100</td><td>100</td><td>100</td><td>100</td><td>100</td><td>100</td><td>100</td><td>100</td><td>100</td></tr> <tr><td>90</td><td>90</td><td>90</td><td>90</td><td>90</td><td>90</td><td>90</td><td>90</td><td>90</td><td>90</td></tr> <tr><td>80</td><td>80</td><td>80</td><td>80</td><td>80</td><td>80</td><td>80</td><td>80</td><td>80</td><td>80</td></tr> <tr><td>70</td><td>70</td><td>70</td><td>70</td><td>70</td><td>70</td><td>70</td><td>70</td><td>70</td><td>70</td></tr> <tr><td>60</td><td>60</td><td>60</td><td>60</td><td>60</td><td>60</td><td>60</td><td>60</td><td>60</td><td>60</td></tr> <tr><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td></tr> <tr><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td></tr> <tr><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td></tr> <tr><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>$(2/5)^5$</td><td>=</td><td>2.00</td></tr> <tr><td>$(10)^5$</td><td>=</td><td>50.0</td></tr> <tr><td>$(4/9)^5$</td><td>=</td><td>2.22</td></tr> <tr><td>D</td><td>=</td><td>54.2</td></tr> <tr><td>f_c</td><td>=</td><td>0.992</td></tr> <tr><td>R</td><td>=</td><td>3.13 IRI</td></tr> <tr><td>Especificación (Máximo)</td><td>=</td><td>2.00 IRI</td></tr> </table>					$(2/5)^5$	=	2.00	$(10)^5$	=	50.0	$(4/9)^5$	=	2.22	D	=	54.2	f _c	=	0.992	R	=	3.13 IRI	Especificación (Máximo)	=	2.00 IRI
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																									
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100																																																																																																																																									
90	90	90	90	90	90	90	90	90	90																																																																																																																																									
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80																																																																																																																																									
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70																																																																																																																																									
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60																																																																																																																																									
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50																																																																																																																																									
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40																																																																																																																																									
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30																																																																																																																																									
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20																																																																																																																																									
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																									
$(2/5)^5$	=	2.00																																																																																																																																																
$(10)^5$	=	50.0																																																																																																																																																
$(4/9)^5$	=	2.22																																																																																																																																																
D	=	54.2																																																																																																																																																
f _c	=	0.992																																																																																																																																																
R	=	3.13 IRI																																																																																																																																																
Especificación (Máximo)	=	2.00 IRI																																																																																																																																																
frecuencia																																																																																																																																																		

OBSERVACIONES :

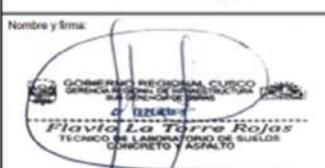
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - GOBIERNO REGIONAL CUSCO		
TECNICO - LABORATORIO	ING° DE LABORATORIO	JEFE DE LABORATORIO DE SUELOS
Nombre y firma:  Flavio La Torre Rojas TECNICO DE LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO	Nombre y firma:	Nombre y firma:

Tabla 45 Medición de Rugosidad tramo 03

		Gobierno Regional de Cusco	Gerencia Regional de Gestión de Inversiones de Infraestructura	Sub Gerencia de Gestión de Obras	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS CON EL EQUIPO MERLIN - (ASTM E1926)					
Proyecto	: <u>SERVICIO DE CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO EN LA RED VIAL N° 03</u>				
Ubicación de Proyecto	: <u>Mayubamba, Provincia Paruro, Departamento Cusco</u>				
Solicitante	: <u>Ing° Edward Romoacca Cazas</u>				
Fecha de Ensayo	: <u>Cusco, Agosto del 2023</u>				
Tipo	: <u>Carpeta asfáltica (Tratamiento Superficial)</u>				
Tramo	: <u>MAYUBAMBA - PARURO</u>				
	: <u>Km: 02+500 al 02+900</u>				

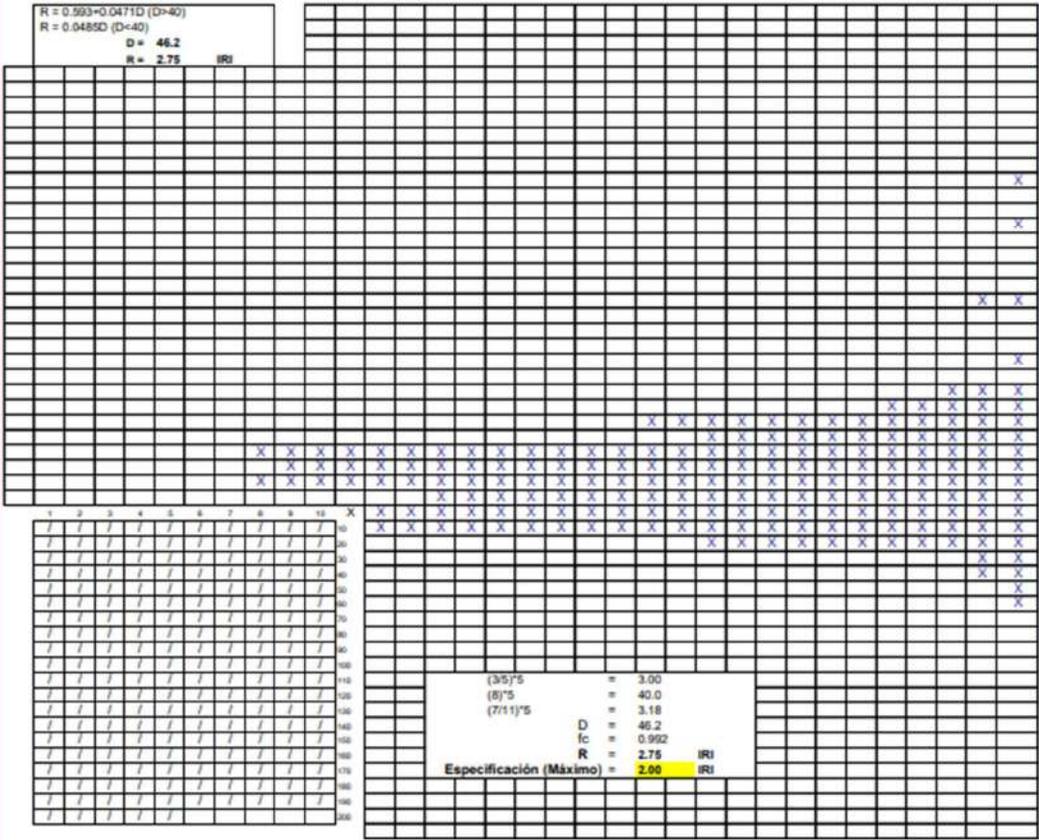
CÁLCULO GRÁFICO DE RUGOSIDAD - HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
$R = 0.993 + 0.0471D (D > 40)$ $R = 0.0485D (D < 40)$ $D = 46.2$ $R = 2.75 \text{ IRI}$					mm 50 49 48 47 46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td>6</td></tr> <tr><td>7</td><td>7</td><td>7</td><td>7</td><td>7</td><td>7</td><td>7</td><td>7</td><td>7</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>8</td><td>8</td><td>8</td><td>8</td><td>8</td><td>8</td><td>8</td><td>8</td><td>8</td></tr> <tr><td>9</td><td>9</td><td>9</td><td>9</td><td>9</td><td>9</td><td>9</td><td>9</td><td>9</td><td>9</td></tr> <tr><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>11</td><td>11</td><td>11</td><td>11</td><td>11</td><td>11</td><td>11</td><td>11</td><td>11</td><td>11</td></tr> <tr><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td></tr> <tr><td>13</td><td>13</td><td>13</td><td>13</td><td>13</td><td>13</td><td>13</td><td>13</td><td>13</td><td>13</td></tr> <tr><td>14</td><td>14</td><td>14</td><td>14</td><td>14</td><td>14</td><td>14</td><td>14</td><td>14</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td></tr> <tr><td>16</td><td>16</td><td>16</td><td>16</td><td>16</td><td>16</td><td>16</td><td>16</td><td>16</td><td>16</td></tr> <tr><td>17</td><td>17</td><td>17</td><td>17</td><td>17</td><td>17</td><td>17</td><td>17</td><td>17</td><td>17</td></tr> <tr><td>18</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td><td>18</td></tr> <tr><td>19</td><td>19</td><td>19</td><td>19</td><td>19</td><td>19</td><td>19</td><td>19</td><td>19</td><td>19</td></tr> <tr><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>21</td><td>21</td><td>21</td><td>21</td><td>21</td><td>21</td><td>21</td><td>21</td><td>21</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>22</td><td>22</td><td>22</td><td>22</td><td>22</td><td>22</td><td>22</td><td>22</td><td>22</td></tr> <tr><td>23</td><td>23</td><td>23</td><td>23</td><td>23</td><td>23</td><td>23</td><td>23</td><td>23</td><td>23</td></tr> <tr><td>24</td><td>24</td><td>24</td><td>24</td><td>24</td><td>24</td><td>24</td><td>24</td><td>24</td><td>24</td></tr> <tr><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td></tr> <tr><td>26</td><td>26</td><td>26</td><td>26</td><td>26</td><td>26</td><td>26</td><td>26</td><td>26</td><td>26</td></tr> <tr><td>27</td><td>27</td><td>27</td><td>27</td><td>27</td><td>27</td><td>27</td><td>27</td><td>27</td><td>27</td></tr> <tr><td>28</td><td>28</td><td>28</td><td>28</td><td>28</td><td>28</td><td>28</td><td>28</td><td>28</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>29</td><td>29</td><td>29</td><td>29</td><td>29</td><td>29</td><td>29</td><td>29</td><td>29</td></tr> <tr><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td></tr> <tr><td>31</td><td>31</td><td>31</td><td>31</td><td>31</td><td>31</td><td>31</td><td>31</td><td>31</td><td>31</td></tr> <tr><td>32</td><td>32</td><td>32</td><td>32</td><td>32</td><td>32</td><td>32</td><td>32</td><td>32</td><td>32</td></tr> <tr><td>33</td><td>33</td><td>33</td><td>33</td><td>33</td><td>33</td><td>33</td><td>33</td><td>33</td><td>33</td></tr> <tr><td>34</td><td>34</td><td>34</td><td>34</td><td>34</td><td>34</td><td>34</td><td>34</td><td>34</td><td>34</td></tr> <tr><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td></tr> <tr><td>36</td><td>36</td><td>36</td><td>36</td><td>36</td><td>36</td><td>36</td><td>36</td><td>36</td><td>36</td></tr> <tr><td>37</td><td>37</td><td>37</td><td>37</td><td>37</td><td>37</td><td>37</td><td>37</td><td>37</td><td>37</td></tr> <tr><td>38</td><td>38</td><td>38</td><td>38</td><td>38</td><td>38</td><td>38</td><td>38</td><td>38</td><td>38</td></tr> <tr><td>39</td><td>39</td><td>39</td><td>39</td><td>39</td><td>39</td><td>39</td><td>39</td><td>39</td><td>39</td></tr> <tr><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td></tr> <tr><td>41</td><td>41</td><td>41</td><td>41</td><td>41</td><td>41</td><td>41</td><td>41</td><td>41</td><td>41</td></tr> <tr><td>42</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td></tr> <tr><td>43</td><td>43</td><td>43</td><td>43</td><td>43</td><td>43</td><td>43</td><td>43</td><td>43</td><td>43</td></tr> <tr><td>44</td><td>44</td><td>44</td><td>44</td><td>44</td><td>44</td><td>44</td><td>44</td><td>44</td><td>44</td></tr> <tr><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td><td>45</td></tr> <tr><td>46</td><td>46</td><td>46</td><td>46</td><td>46</td><td>46</td><td>46</td><td>46</td><td>46</td><td>46</td></tr> <tr><td>47</td><td>47</td><td>47</td><td>47</td><td>47</td><td>47</td><td>47</td><td>47</td><td>47</td><td>47</td></tr> <tr><td>48</td><td>48</td><td>48</td><td>48</td><td>48</td><td>48</td><td>48</td><td>48</td><td>48</td><td>48</td></tr> <tr><td>49</td><td>49</td><td>49</td><td>49</td><td>49</td><td>49</td><td>49</td><td>49</td><td>49</td><td>49</td></tr> <tr><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td><td>50</td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>$(3/5)^5$</td><td>=</td><td>3.00</td></tr> <tr><td>$(6)^5$</td><td>=</td><td>40.0</td></tr> <tr><td>$(7/11)^5$</td><td>=</td><td>3.18</td></tr> <tr><td>D</td><td>=</td><td>46.2</td></tr> <tr><td>fc</td><td>=</td><td>0.992</td></tr> <tr><td>R</td><td>=</td><td>2.75 IRI</td></tr> <tr><td>Espeficiación (Máximo)</td><td>=</td><td>2.00 IRI</td></tr> </table>				$(3/5)^5$	=	3.00	$(6)^5$	=	40.0	$(7/11)^5$	=	3.18	D	=	46.2	fc	=	0.992	R	=	2.75 IRI	Espeficiación (Máximo)	=	2.00 IRI	frecuencia
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
37	37	37	37	37	37	37	37	37	37																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
38	38	38	38	38	38	38	38	38	38																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
39	39	39	39	39	39	39	39	39	39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
41	41	41	41	41	41	41	41	41	41																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
42	42	42	42	42	42	42	42	42	42																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
43	43	43	43	43	43	43	43	43	43																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
44	44	44	44	44	44	44	44	44	44																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
45	45	45	45	45	45	45	45	45	45																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
46	46	46	46	46	46	46	46	46	46																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
47	47	47	47	47	47	47	47	47	47																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
49	49	49	49	49	49	49	49	49	49																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
$(3/5)^5$	=	3.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
$(6)^5$	=	40.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
$(7/11)^5$	=	3.18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D	=	46.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
fc	=	0.992																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
R	=	2.75 IRI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Espeficiación (Máximo)	=	2.00 IRI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
OBSERVACIONES :																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - GOBIERNO REGIONAL CUSCO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
TECNICO - LABORATORIO Nombre y firma:  GOBIERNO REGIONAL CUSCO GERENCIA REGIONAL DE OBRAS LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES Flavia La Torre Rojas TECNICO EN LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASPHALTO	ING° DE LABORATORIO Nombre y firma:	JEFE DE LABORATORIO DE SUELOS Nombre y firma:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

Tabla 47 Medición de Rugosidad tramo 05

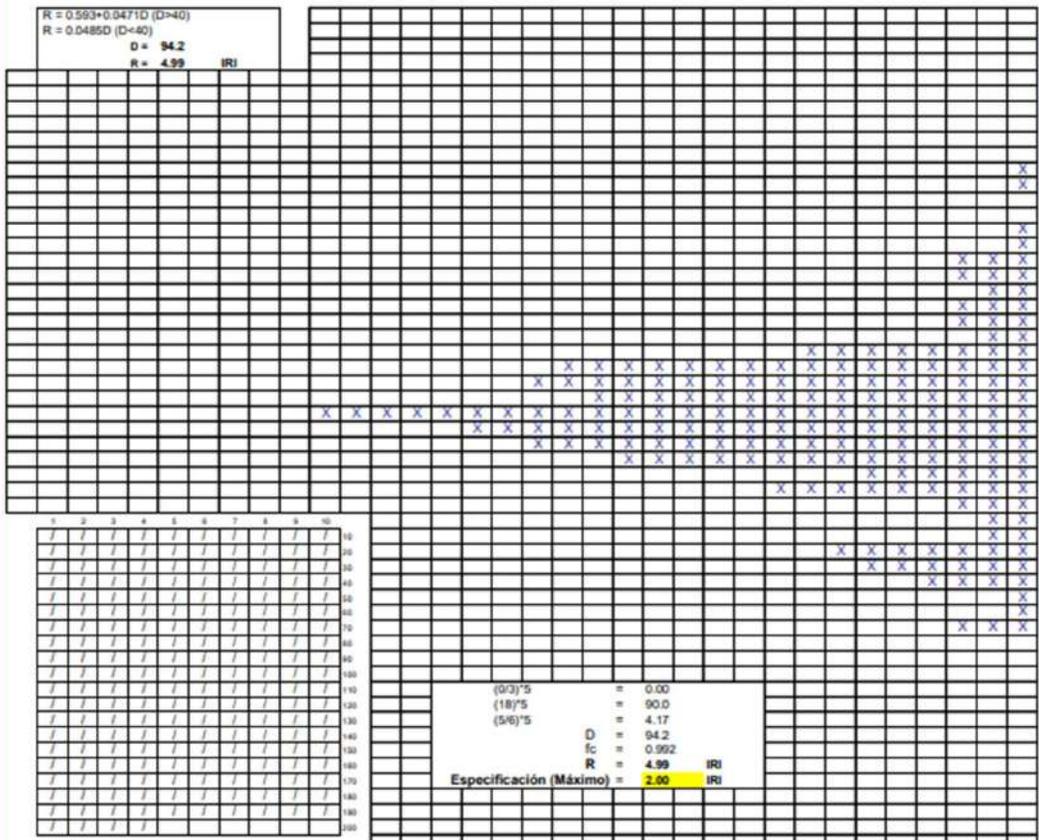
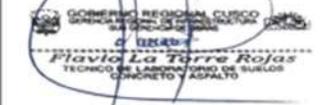
		GOBIERNO REGIONAL DE CUSCO	DIRECCIÓN REGIONAL DE GESTIÓN DE INVERSIONES DE INFRAESTRUCTURA	SUB GERENCIA DE GESTIÓN DE OBRAS	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES																								
METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS CON EL EQUIPO MERLIN - (ASTM E1926)																													
Proyecto	: <u>SERVICIO DE CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO EN LA RED VIAL N° 03</u>																												
Ubicación de Proyecto	: <u>Mayubamba, Provincia Paruro, Departamento Cusco</u>																												
Solicitante	: <u>Ing° Edward Romoacca Cazas</u>																												
Fecha de Ensayo	: <u>Cusco, Agosto del 2023</u>																												
Tipo	: <u>Carpeta asfáltica (Tratamiento Superficial)</u>																												
Tramo	: <u>MAYUBAMBA - PARURO</u>																												
	: <u>Km: 04+500 al 04+900</u>																												
CÁLCULO GRÁFICO DE RUGOSIDAD - HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS																													
$R = 0.593 + 0.0471D$ (D>40) $R = 0.0485D$ (D<40) D = 94.2 R = 4.99 IRI		mm																											
																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>0/3)*5</td><td>=</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>(18)*5</td><td>=</td><td>90.0</td></tr> <tr><td>(5/6)*5</td><td>=</td><td>4.17</td></tr> <tr><td>D</td><td>=</td><td>94.2</td></tr> <tr><td>fc</td><td>=</td><td>0.992</td></tr> <tr><td>R</td><td>=</td><td>4.99</td></tr> <tr><td>IRI</td><td>=</td><td>4.99</td></tr> <tr><td>Espeficiación (Máximo)</td><td>=</td><td>2.00 IRI</td></tr> </table>		0/3)*5	=	0.00	(18)*5	=	90.0	(5/6)*5	=	4.17	D	=	94.2	fc	=	0.992	R	=	4.99	IRI	=	4.99	Espeficiación (Máximo)	=	2.00 IRI	frecuencia			
0/3)*5	=	0.00																											
(18)*5	=	90.0																											
(5/6)*5	=	4.17																											
D	=	94.2																											
fc	=	0.992																											
R	=	4.99																											
IRI	=	4.99																											
Espeficiación (Máximo)	=	2.00 IRI																											
OBSERVACIONES :																													
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES - GOBIERNO REGIONAL CUSCO																													
TECNICO - LABORATORIO	ING° DE LABORATORIO	JEFE DE LABORATORIO DE SUELOS																											
Nombre y firma: 	Nombre y firma:	Nombre y firma:																											
																													

Tabla 48 Medición de Rugosidad tramo 06

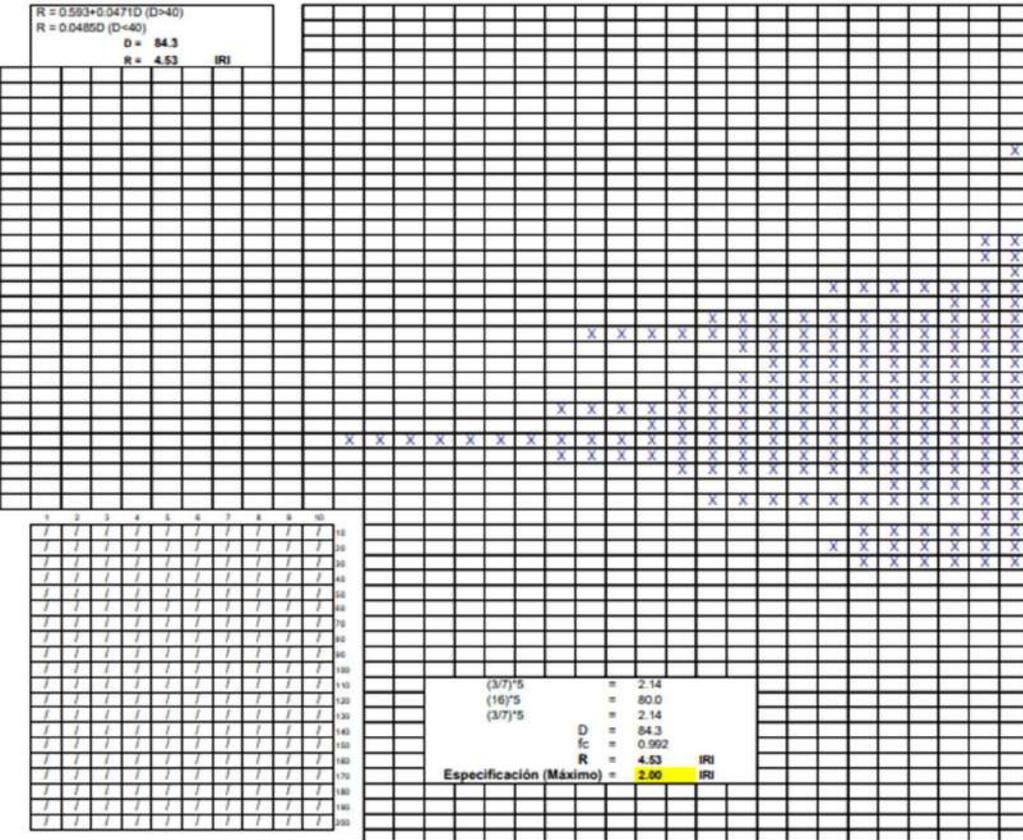
		GOBIERNO REGIONAL DE CUSCO	GERENCIA REGIONAL DE GESTION DE INVERSIONES DE INFRAESTRUCTURA	SUB GERENCIA DE GESTION DE OBRAS	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS CON EL EQUIPO MERLIN - (ASTM E1926)					
Proyecto	: <u>SERVICIO DE CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO EN LA RED VIAL N° 03</u>				
Ubicación de Proyecto	: <u>Mayubamba, Provincia Paruro, Departamento Cusco</u>				
Solicitante	: <u>Ing° Edward Romoacca Cazas</u>				
Fecha de Ensayo	: <u>Cusco, Agosto del 2023</u>				
Tipo	: <u>Carpeta asfáltica (Tratamiento Superficial)</u>				
Tramo	: <u>MAYUBAMBA - PARURO</u>				
	: <u>Km: 05+800 al 06+200</u>				
CÁLCULO GRÁFICO DE RUGOSIDAD - HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS					
<p>R = 0.593+0.0471D (D=40) R = 0.0485D (D=40) D = 84.3 R = 4.53 IRI</p>		mm			
		50			
		49			
		48			
		47			
		46			
		45			
		44			
		43			
		42			
		41			
		40			
		39			
		38			
		37			
		36			
		35			
		34			
		33			
		32			
		31			
		30			
		29			
		28			
		27			
		26			
		25			
		24			
		23			
		22			
		21			
		20			
		19			
		18			
		17			
		16			
		15			
		14			
		13			
		12			
		11			
		10			
		9			
		8			
		7			
		6			
		5			
		4			
		3			
		2			
		1			
		Frecuencia			
<p>(3/7)*5 = 2.14 (16)*5 = 80.0 (3/7)*5 = 2.14 D = 84.3 I_c = 0.592 R = 4.53 IRI Especificación (Máximo) = 2.00 IRI</p>					
OBSERVACIONES :					
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - GOBIERNO REGIONAL CUSCO					
TECNICO - LABORATORIO	ING° DE LABORATORIO	JEFE DE LABORATORIO DE SUELOS			
Nombre y firma 	Nombre y firma	Nombre y firma			
					

Tabla 49 Medición de Rugosidad tramo 07

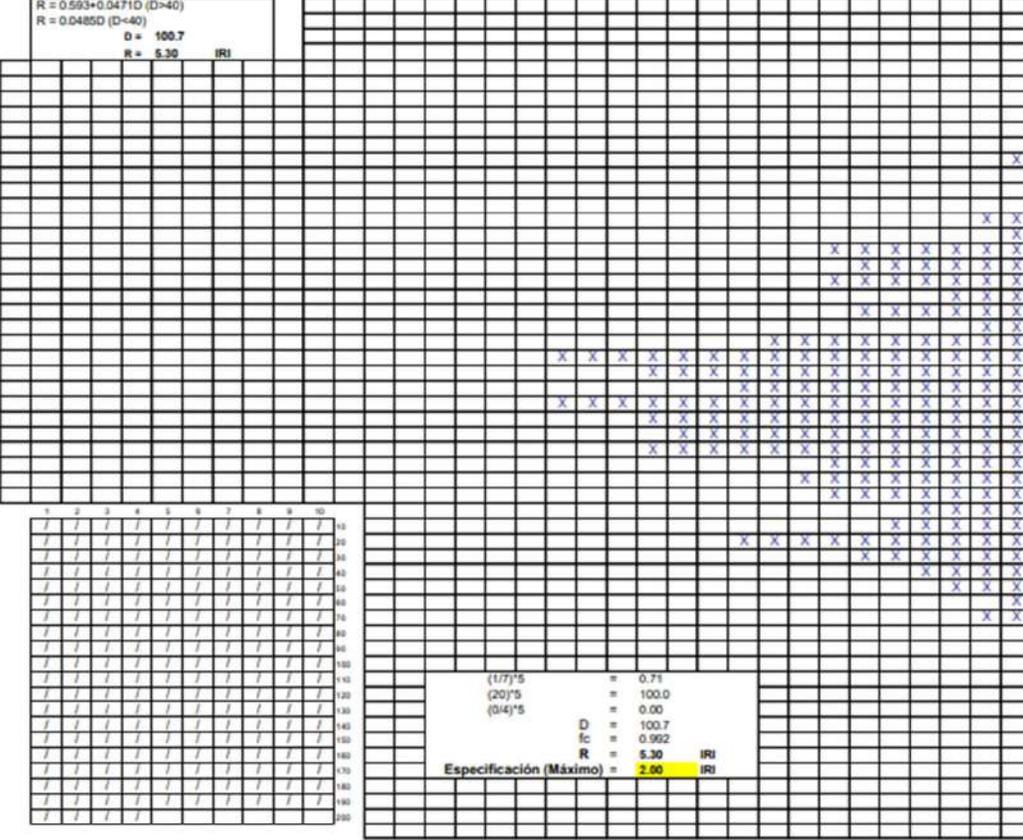
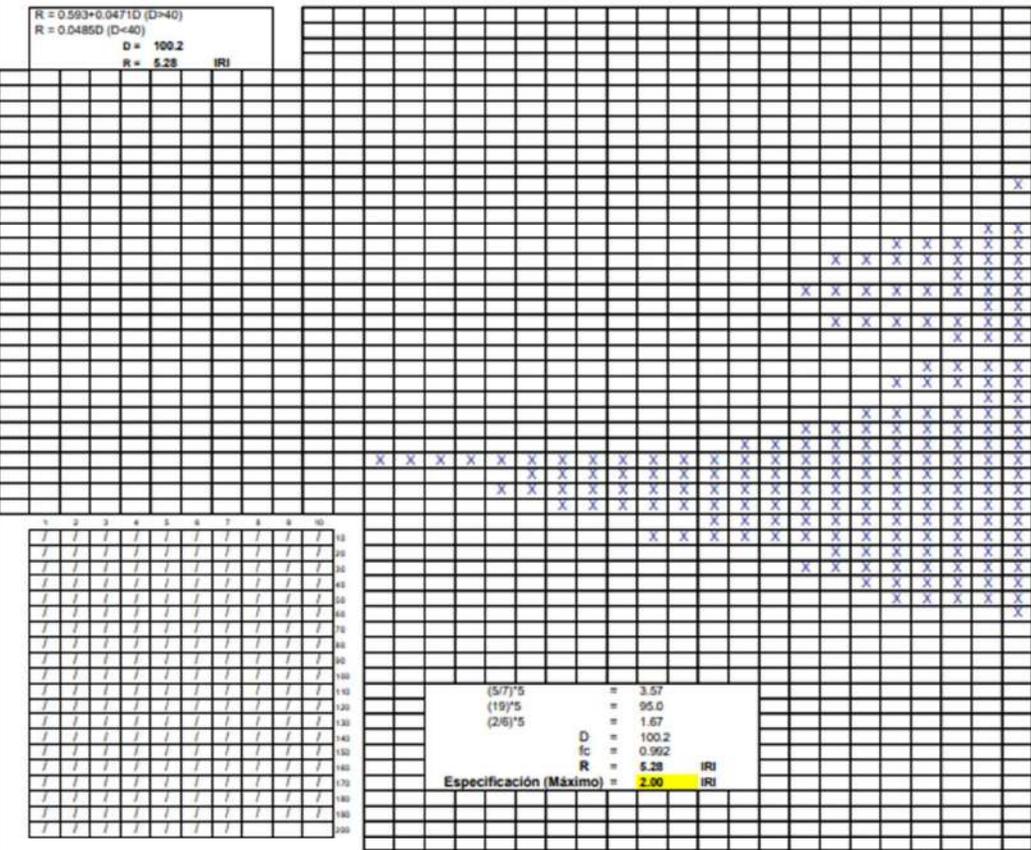
		GOBIERNO REGIONAL DE CUSCO	GERENCIA REGIONAL DE GESTIÓN DE INVERSIONES DE INFRAESTRUCTURA	SUB GERENCIA DE GESTIÓN DE OBRAS	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES
METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS CON EL EQUIPO MERLIN - (ASTM E1926)					
Proyecto	: <u>SERVICIO DE CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO EN LA RED VIAL N° 03</u>				
Ubicación de Proyecto	: <u>Mayubamba, Provincia Paruro, Departamento Cusco</u>				
Solicitante	: <u>Ing° Edward Romoacca Pazas</u>				
Fecha de Ensayo	: <u>Cusco, Agosto del 2023</u>				
Tipo	: <u>Carpeta asfáltica (Tratamiento Superficial)</u>				
Tramo	: <u>MAYUBAMBA - PARURO</u>				
	: <u>Km: 06+400 al 06+800</u>				
CÁLCULO GRÁFICO DE RUGOSIDAD - HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS					
R = 0.593+0.0471D (D=40) R = 0.0485D (D=40) D = 100.7 R = 5.30 IRI		mm 50 49 48 47 46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1			
		frecuencia			
OBSERVACIONES :					
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES - GOBIERNO REGIONAL CUSCO					
TECNICO - LABORATORIO	ING° DE LABORATORIO	JEFE DE LABORATORIO DE SUELOS			
Nombre y firma:  GOBIERNO REGIONAL CUSCO GERENCIA REGIONAL DE INVERSIONES DE INFRAESTRUCTURA SUB GERENCIA DE GESTIÓN DE OBRAS LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES Flavia La Torre Rojas TÉCNICO DE LABORATORIO DE SUELOS (GRANITO Y ASFALTO)	Nombre y firma:	Nombre y firma:			

Tabla 50 Medición de Rugosidad tramo 08

		GOBIERNO REGIONAL DE CUSCO	GERENCIA REGIONAL DE GESTIÓN DE INVERSIONES DE INFRAESTRUCTURA	SUB GERENCIA DE GESTIÓN DE OBRAS	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES
METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS CON EL EQUIPO MERLIN - (ASTM E1926)					
Proyecto	: <u>SERVICIO DE CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO EN LA RED VIAL N° 03</u>				
Ubicación de Proyecto	: <u>Mayubamba, Provincia Paruro, Departamento Cusco</u>				
Solicitante	: <u>Ing° Edward Romoacca Cazas</u>				
Fecha de Ensayo	: <u>Cusco, Agosto del 2023</u>				
Tipo	: <u>Carpeta asfáltica (Tratamiento Superficial)</u>				
Tramo	: <u>MAYUBAMBA - PARURO</u>				
	: <u>Km: 07+100 al 07+500</u>				

CÁLCULO GRÁFICO DE RUGOSIDAD - HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS																																																																																																																														
$R = 0.593 + 0.0471D \text{ (D} \geq 40)$ $R = 0.0485D \text{ (D} < 40)$ $D = 100.2$ $R = 5.28 \text{ IRI}$					mm 50 49 48 47 46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1																																																																																																																									
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr> <tr><td>110</td><td>100</td><td>90</td><td>80</td><td>70</td><td>60</td><td>50</td><td>40</td><td>30</td><td>20</td></tr> <tr><td>130</td><td>120</td><td>110</td><td>100</td><td>90</td><td>80</td><td>70</td><td>60</td><td>50</td><td>40</td></tr> <tr><td>140</td><td>130</td><td>120</td><td>110</td><td>100</td><td>90</td><td>80</td><td>70</td><td>60</td><td>50</td></tr> <tr><td>150</td><td>140</td><td>130</td><td>120</td><td>110</td><td>100</td><td>90</td><td>80</td><td>70</td><td>60</td></tr> <tr><td>160</td><td>150</td><td>140</td><td>130</td><td>120</td><td>110</td><td>100</td><td>90</td><td>80</td><td>70</td></tr> <tr><td>170</td><td>160</td><td>150</td><td>140</td><td>130</td><td>120</td><td>110</td><td>100</td><td>90</td><td>80</td></tr> <tr><td>180</td><td>170</td><td>160</td><td>150</td><td>140</td><td>130</td><td>120</td><td>110</td><td>100</td><td>90</td></tr> <tr><td>190</td><td>180</td><td>170</td><td>160</td><td>150</td><td>140</td><td>130</td><td>120</td><td>110</td><td>100</td></tr> <tr><td>200</td><td>190</td><td>180</td><td>170</td><td>160</td><td>150</td><td>140</td><td>130</td><td>120</td><td>110</td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	200	190	180	170	160	150	140	130	120	110	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>$(5/7)^5$</td><td>=</td><td>3.57</td></tr> <tr><td>$(19)^5$</td><td>=</td><td>95.0</td></tr> <tr><td>$(2/6)^5$</td><td>=</td><td>1.67</td></tr> <tr><td>D</td><td>=</td><td>100.2</td></tr> <tr><td>fc</td><td>=</td><td>0.992</td></tr> <tr><td>R</td><td>=</td><td>5.28 IRI</td></tr> <tr><td>Especificación (Máximo)</td><td>=</td><td>2.00 IRI</td></tr> </table>				$(5/7)^5$	=	3.57	$(19)^5$	=	95.0	$(2/6)^5$	=	1.67	D	=	100.2	fc	=	0.992	R	=	5.28 IRI	Especificación (Máximo)	=	2.00 IRI	frecuencia
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																					
110	100	90	80	70	60	50	40	30	20																																																																																																																					
130	120	110	100	90	80	70	60	50	40																																																																																																																					
140	130	120	110	100	90	80	70	60	50																																																																																																																					
150	140	130	120	110	100	90	80	70	60																																																																																																																					
160	150	140	130	120	110	100	90	80	70																																																																																																																					
170	160	150	140	130	120	110	100	90	80																																																																																																																					
180	170	160	150	140	130	120	110	100	90																																																																																																																					
190	180	170	160	150	140	130	120	110	100																																																																																																																					
200	190	180	170	160	150	140	130	120	110																																																																																																																					
$(5/7)^5$	=	3.57																																																																																																																												
$(19)^5$	=	95.0																																																																																																																												
$(2/6)^5$	=	1.67																																																																																																																												
D	=	100.2																																																																																																																												
fc	=	0.992																																																																																																																												
R	=	5.28 IRI																																																																																																																												
Especificación (Máximo)	=	2.00 IRI																																																																																																																												

OBSERVACIONES :		
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES - GOBIERNO REGIONAL CUSCO		
<p style="text-align: center;">TECNICO - LABORATORIO</p> <p>Nombre y firma:</p> <div style="text-align: center;">  Flavio La Torre Rojas <small>TECNICO EN LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO</small> </div>	<p style="text-align: center;">ING° DE LABORATORIO</p> <p>Nombre y firma:</p>	<p style="text-align: center;">JEFE DE LABORATORIO DE SUELOS</p> <p>Nombre y firma:</p>

Tabla 51 Medición de Rugosidad tramo 09

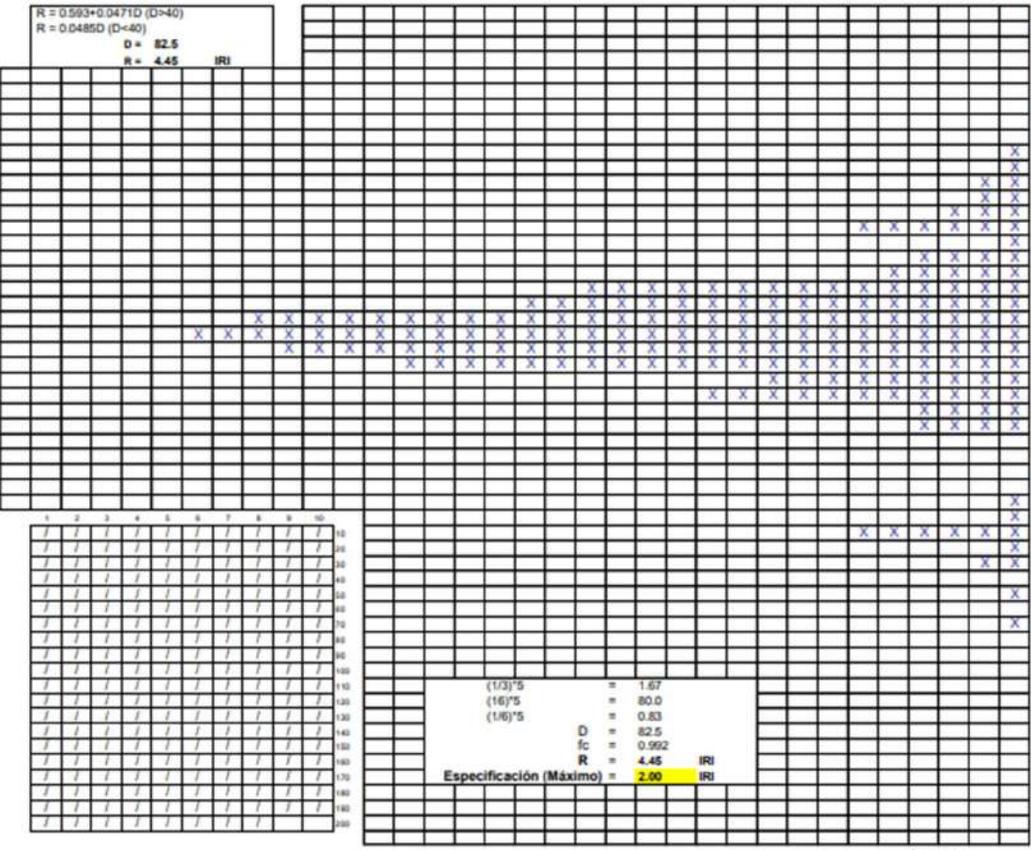
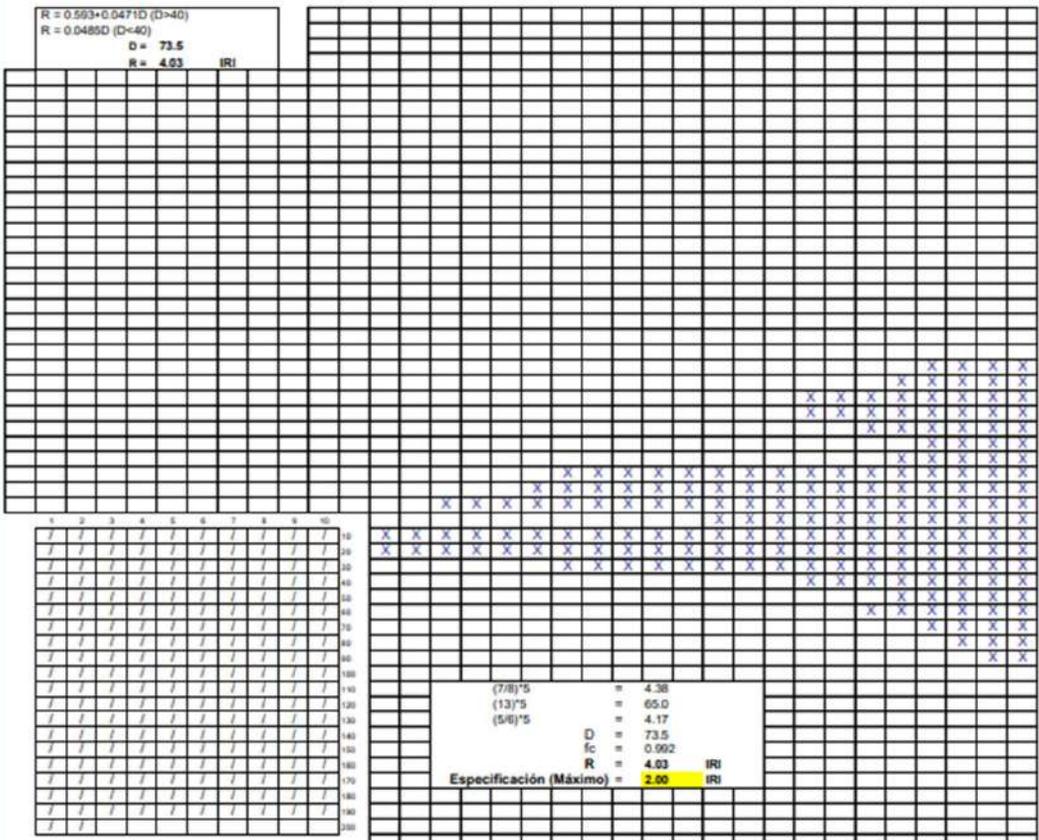
		GOBIERNO REGIONAL DE CUSCO	GERENCIA REGIONAL DE GESTIÓN DE INVERSIONES DE INFRAESTRUCTURA	SUB GERENCIA DE GESTIÓN DE OBRAS	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES																																																																																																																																																																																																																																							
METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS CON EL EQUIPO MERLIN - (ASTM E1926)																																																																																																																																																																																																																																												
Proyecto	: <u>SERVICIO DE CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO EN LA RED VIAL N° 03</u>																																																																																																																																																																																																																																											
Ubicación de Proyecto	: <u>Mayubamba, Provincia Paruro, Departamento Cusco</u>																																																																																																																																																																																																																																											
Solicitante	: <u>Ing° Edward Romoacca Cazas</u>																																																																																																																																																																																																																																											
Fecha de Ensayo	: <u>Cusco, Agosto del 2023</u>																																																																																																																																																																																																																																											
Tipo	: <u>Carpeta asfáltica (Tratamiento Superficial)</u>																																																																																																																																																																																																																																											
Tramo	: <u>MAYUBAMBA - PARURO</u>																																																																																																																																																																																																																																											
	: <u>Km: 08+100 al 08+500</u>																																																																																																																																																																																																																																											
CÁLCULO GRÁFICO DE RUGOSIDAD - HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS																																																																																																																																																																																																																																												
$R = 0.593 + 0.0471D$ (D=40) $R = 0.0485D$ (D<40) D = 82.5 R = 4.45 IRI																																																																																																																																																																																																																																												
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr> <tr><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>20</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>30</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>40</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>50</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>60</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>70</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>80</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>90</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>100</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>110</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>120</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>130</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>140</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>150</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>160</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>170</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>180</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>190</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>200</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	30	10	10	10	10	10	10	10	10	10	40	10	10	10	10	10	10	10	10	10	50	10	10	10	10	10	10	10	10	10	60	10	10	10	10	10	10	10	10	10	70	10	10	10	10	10	10	10	10	10	80	10	10	10	10	10	10	10	10	10	90	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	110	10	10	10	10	10	10	10	10	10	120	10	10	10	10	10	10	10	10	10	130	10	10	10	10	10	10	10	10	10	140	10	10	10	10	10	10	10	10	10	150	10	10	10	10	10	10	10	10	10	160	10	10	10	10	10	10	10	10	10	170	10	10	10	10	10	10	10	10	10	180	10	10	10	10	10	10	10	10	10	190	10	10	10	10	10	10	10	10	10	200	10	10	10	10	10	10	10	10	10	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>(1/31)°S</td><td>=</td><td>1.67</td></tr> <tr><td>(1/16)°S</td><td>=</td><td>80.0</td></tr> <tr><td>(1/6)°S</td><td>=</td><td>0.83</td></tr> <tr><td>D</td><td>=</td><td>82.5</td></tr> <tr><td>Ic</td><td>=</td><td>0.992</td></tr> <tr><td>R</td><td>=</td><td>4.45 IRI</td></tr> <tr><td>Especificación (Máximo)</td><td>=</td><td>2.00 IRI</td></tr> </table>				(1/31)°S	=	1.67	(1/16)°S	=	80.0	(1/6)°S	=	0.83	D	=	82.5	Ic	=	0.992	R	=	4.45 IRI	Especificación (Máximo)	=	2.00 IRI
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																																																																																																																			
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
20	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
30	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
40	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
50	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
60	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
70	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
80	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
90	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
100	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
110	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
120	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
130	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
140	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
150	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
160	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
170	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
180	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
190	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
200	10	10	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																																																																																																																																																			
(1/31)°S	=	1.67																																																																																																																																																																																																																																										
(1/16)°S	=	80.0																																																																																																																																																																																																																																										
(1/6)°S	=	0.83																																																																																																																																																																																																																																										
D	=	82.5																																																																																																																																																																																																																																										
Ic	=	0.992																																																																																																																																																																																																																																										
R	=	4.45 IRI																																																																																																																																																																																																																																										
Especificación (Máximo)	=	2.00 IRI																																																																																																																																																																																																																																										
OBSERVACIONES :																																																																																																																																																																																																																																												
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES - GOBIERNO REGIONAL CUSCO																																																																																																																																																																																																																																												
TECNICO - LABORATORIO	ING° DE LABORATORIO	JEFE DE LABORATORIO DE SUELOS																																																																																																																																																																																																																																										
Nombre y firma 	Nombre y firma	Nombre y firma																																																																																																																																																																																																																																										
 Flavia La Torre Rojas TÉCNICO EN LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO																																																																																																																																																																																																																																												

Tabla 52 Medición de Rugosidad tramo 10

		GOBIERNO REGIONAL DE CUSCO	DIRECCIÓN REGIONAL DE GESTIÓN DE INVERSIONES DE INFRAESTRUCTURA	SUB GERENCIA DE GESTIÓN DE OBRAS	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES																																																																							
METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS CON EL EQUIPO MERLIN - (ASTM E1926)																																																																												
Proyecto	: <u>SERVICIO DE CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO EN LA RED VIAL N° 03</u>																																																																											
Ubicación de Proyecto	: <u>Mayubamba, Provincia Paruro, Departamento Cusco</u>																																																																											
Solicitante	: <u>Ing° Edward Romoacca Cazas</u>																																																																											
Fecha de Ensayo	: <u>Cusco, Agosto del 2023</u>																																																																											
Tipo	: <u>Carpeta asfáltica (Tratamiento Superficial)</u>																																																																											
Tramo	: <u>MAYUBAMBA - PARURO</u>																																																																											
	: <u>Km: 09+300 al 09+700</u>																																																																											
CÁLCULO GRÁFICO DE RUGOSIDAD - HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS																																																																												
R = 0.593+0.0471D (D>40) R = 0.0485D (D<40) D = 73.5 R = 4.03 IRI					mm 50 49 48 47 46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr> <tr><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr> <tr><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td></tr> <tr><td>31</td><td>32</td><td>33</td><td>34</td><td>35</td><td>36</td><td>37</td><td>38</td><td>39</td><td>40</td></tr> <tr><td>41</td><td>42</td><td>43</td><td>44</td><td>45</td><td>46</td><td>47</td><td>48</td><td>49</td><td>50</td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>(7/8)*5</td><td>=</td><td>4.38</td></tr> <tr><td>(13)*5</td><td>=</td><td>65.0</td></tr> <tr><td>(5/8)*5</td><td>=</td><td>4.17</td></tr> <tr><td>D</td><td>=</td><td>73.5</td></tr> <tr><td>fc</td><td>=</td><td>0.992</td></tr> <tr><td>R</td><td>=</td><td>4.03 IRI</td></tr> <tr><td>Especificación (Máximo)</td><td>=</td><td>2.00 IRI</td></tr> </table>				(7/8)*5	=	4.38	(13)*5	=	65.0	(5/8)*5	=	4.17	D	=	73.5	fc	=	0.992	R	=	4.03 IRI	Especificación (Máximo)	=	2.00 IRI	frecuencia
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																			
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																																																																			
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																																																																			
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40																																																																			
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50																																																																			
(7/8)*5	=	4.38																																																																										
(13)*5	=	65.0																																																																										
(5/8)*5	=	4.17																																																																										
D	=	73.5																																																																										
fc	=	0.992																																																																										
R	=	4.03 IRI																																																																										
Especificación (Máximo)	=	2.00 IRI																																																																										
OBSERVACIONES :																																																																												
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES - GOBIERNO REGIONAL CUSCO																																																																												
TECNICO - LABORATORIO	ING° DE LABORATORIO	JEFE DE LABORATORIO DE SUELOS																																																																										
Nombre y firma:  	Nombre y firma:	Nombre y firma:																																																																										

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusión N° 01

Se concluye en general que, tras haber validado las hipótesis específicas 1, 2, 3 y 4 es factible validar que la variabilidad del Número Estructural Efectivo (espesor de las capas del pavimento) afectan el Desempeño estructural del pavimento en estudio, en consecuencia, es válido proponer la “Metodología de Evaluación de Pavimentos Básicos con el uso de la Viga Benkelman para la Región del Cusco.

Realizado la inspección del estado situacional de la superficie del pavimento y desarrollado los ensayos de campo de deflectometría podemos apreciar que la variabilidad del número estructural efectivo afecta el desempeño estructural del pavimento básico con tratamiento superficial asfáltico en la carretera Mayubamba Paruro 2023, en consecuencia, se ha demostrado con base estadística que la hipótesis general ha sido **probada**. Esto se pudo demostrar según el supuesto de que aplicando cargas estandarizadas (8.2 Tn.) cada 25 m. dentro del espectro de comportamiento elástico del material de base mejorada o estabilizada, las deflexiones correspondientes deben de ser similares (NO iguales, pero similares) para espesores de capa similares, por lo que llegamos a la conclusión de que la variabilidad de los espesores (variabilidad en los valores de Numero Estructural) tienen una relación directa con los valores de deflexión medidos con Viga Benkelman (Ver Tablas N° 17, 18,19,20,21 y 22 de la presente tesis), lo que afecta directamente el desempeño estructural de la vida útil del pavimento en carreteras de bajo volumen de tránsito con aplicación de solución básica asfáltica.

Conclusión N° 02

Concluimos que, tras haber validado mediante prueba de Hipótesis, la hipótesis específica 01 y basado en los resultados estadísticos de una Deflexión Admisible de $133 * 10^{-2}$ mm, una deflexión media de $140.93 * 10^{-2}$ mm, y una desviación estándar de $79.86 * 10^{-2}$ mm. Se ha logrado demostrar que la variabilidad de los valores de deflectometría afectan al Desempeño Estructural del pavimento.

Según el cálculo de la deflexión admisible para un numero de Ejes Equivalentes (ESAL de diseño) de $3.7 * 10^5$ el valor es de $133 * 10^{-2}$ mm. Lo cual tras haber sido sometido a comparación los valores de deflexión diferencial característica versus la

deflexión admisible mediante la prueba de hipótesis t de Student para dos muestras poblacionales, por lo que con base en el análisis estadístico de la hipótesis específica 01 se ha podido demostrar que la variabilidad de los valores medidos de deflexión **SI** afectan el desempeño de la estructura del pavimento durante su vida útil, debido a que la deflexión admisible es el valor que verifica el comportamiento dentro del espectro elástico y los valores que se encuentran por encima de este, contribuyen a la fatiga prematura del pavimento llegando prontamente a la falla estructural, por tener espesores menores al de diseño.

Conclusión N° 03

Se ha logrado demostrar que los valores de rugosidad superficial del pavimento evidencian el comportamiento o desempeño estructural del mismo, esto basado en la validación de la hipótesis específica 02 y los resultados estadísticos de un IRI aceptable de 3.5 m/km, un IRI promedio de valor superior de 4.02 m/km y con una Desviación Estándar de 1.01 m/km.

Como lo indico el Ing. Edgar Aguayo (2019) en el Primer Congreso Nacional de Carreteras – Instituto Latino Americano de Investigaciones y Estudios Viales, un valor adecuado de IRI está relacionado directamente con valores de deflexiones o deformaciones elásticas adecuadas. Esto lo debemos entender como que, los valores de las deformaciones en la superficie de rodadura están directamente relacionados con un buen comportamiento estructural del pavimento. La rugosidad de la superficie de rodadura del pavimento es la acumulación de las deformaciones verticales y cuya acumulación por unidad de longitud de vía se irá incrementando en función al desempeño de la estructura del pavimento (deformaciones permanentes). Por lo que concluimos con base en el análisis estadístico sobre los valores obtenidos en campo en función a la hipótesis específica 02 de la presente tesis han sido comprobados.

Conclusión N° 04

Al haber considerado una evaluación de las fallas superficiales del pavimento básico se concluye que la condición REGULAR con un puntaje de 284.29 puntos, sin embargo, se debe programar una intervención a nivel de conservación periódica.

Conclusión N° 05

En conclusión, la presente tesis propone la aplicación de la Metodología de Evaluación de Pavimentos básicos con el Uso de la Viga Benkelman para su aplicación en la Región del Cusco, basados en las particularidades del comportamiento elástico del material de base granular de nuestra región del Cusco.

para estos casos de evaluación de conservación vial se considere un margen del 5% en los valores de variabilidad de las deflexiones medidas con respecto de la deflexión admisible. El valor de la deflexión admisible calculado en función de número de ejes equivalentes sea un valor confiable, esto considerando la metodología de evaluación de un tramo de 1,350 metros de vía con mediciones cada 25 metros para casos de medición con Viga Benkelman.

Recomendación N° 01

Debo recomendar a los colegas proyectistas de expedientes técnicos de mantenimiento o conservación periódica de carreteras incluyan en sus estructuras de costos las partidas de control topográficos y la partida de acondicionamiento y preparación de la sub rasante natural, la cual debe hacer hincapié en el control adecuado de la pendiente longitudinal de la sub rasante, es decir un control previo al proceso constructivo de conformación de la capa de base mejorada. El objetivo es brindar un espesor capa de base mejorada o estabilizada que cumpla el Esal de diseño y un adecuado desempeño de la estructura del pavimento con deflexiones coherentes con la deflexión admisible del mismo.

Recomendación N° 02

Cabe recomendar a los supervisores o inspectores en conservación periódica hagan respetar el diseño estructural del pavimento lo cual parte desde la verificación de la topografía del perfil longitudinal de la pendiente de la carretera y el espesor de diseño se refleje en el adecuado comportamiento del pavimento durante su vida útil es decir que soporte mínimamente el número de ejes equivalentes para lo que fue diseñado.

Recomendación N° 03

La medición del índice de rugosidad internacional es un parámetro de producto terminado y cuyo valor de cumplimiento representa un estímulo económico para el

ejecutor, este objetivo lo lograrán si cumplen un adecuado proceso constructivo lo cual parte desde el control topográfico de la sub rasante natural, por lo que se recomienda a ejecutores y supervisores no solo tener en cuenta canteras de excelentes características mecánicas sino también tener un control topográfico de la sub rasante de manera permanente.

Recomendación N° 04

Recomiendo que la presente tesis sea utilizada como base para continuar con investigación sobre el comportamiento mecánico – elástico de la capa de base mejorada o estabilizada en pavimentos básicos, debido a que esta propuesta técnica es un instrumento técnico y económico para la realidad de nuestros caminos de bajo volumen de tránsito y se sigan proponiendo nuevos manuales de aplicación técnica para las condiciones reales de la región Cusco.

Bibliografía

- Abaza, K. (01 de febrero de 2005). *Asce Library*. Obtenido de Performance-Based Models for Flexible Pavement Structural Overlay Design:
[https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2005\)131:2\(149\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-947X(2005)131:2(149))
- Acurio, R. M. (2016). *Ingeniería de Pavimentos*. Lima: Fondo Editorial ICG.
- AGUILA, P. D. (2000). *METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS*. LIMA: FONDO EDITORIAL CAMINEROS.
- Anderson, S. W. (2008). *Estadística para la Administración y Economía*. Mexico D.F.: CENGAGE learning.
- Angel Gomez Ramos. (2013). *Glosario de Infraestructura Vial*. Lima: Fondo editorial ICG.
- Corredor, G. (14 de julio de 2004). *Apuntes de Pavimentos*. Obtenido de <https://www.libreriaingeniero.com/2021/07/apuntes-de-pavimentos-gustavo-corredor-vol-1.html>
- DG2018, M. (2018). *MANUAL DISEÑO GEOMETRICO DG 2018*. LIMA: FONDO EDITORIAL ICG.
- Estadístico, E. t. (20 de 07 de 2020). *Prueba t de Student [PARA MUESTRAS RELACIONADAS]*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=e8WZbDReQm8>
- FFBONTA. (16 de octubre de 2020). *El análisis e interpretación de datos de una investigación*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=omKhWunxiOo>
- Hossam, R., Ragaa, H., Sherif, B., & Hafez, A. (2020). *International Journal of Pavement Engineering*. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10298436.2018.1511786?scroll=top&needAccess=true>

- ICCGSA. (2012). *Plan de Gestion Vial* . Cusco: ICCGSA.
- Marlene, Z. A. (12 de noviembre de 2016). "*Modelo de Gestión de Conservación Vial para Reducir Costos de Mantenimiento Vial y Operación Vehicular del Camino Vecinal Raypa-Huanchay-Molino, Distrito Culebras-Huarmey*". Obtenido de <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/2544>
- MATERIALES, M. M. (2016). *MANUAL ENSAYO DE MATERIALES 2016*. LIMA: FONDO EDITORIAL ICG.
- MTC. (2018). *MANUAL DISEÑO GEOMETRICO DG 2018*. LIMA: Fondo Editorial ICG.
- Navarra batallas, w. (15 de octubre de 2016). *Modelo de gestion de conservacion vial para la red vial rural del cantón santo domingo*. Obtenido de <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2968161>
- PABLO, D. A. (1999). *METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE LA RUGOSIDAD DE LOS* . LIMA: FONDO EDITORIAL CAMINEROS.
- Ramos, A. G. (2013). *Glosario de Infraestructura Vial*. Lima: Fondo Editorial ICG Instituto de la Construccion y Gerencia.
- Ramos, A. G. (2013). *Manual Especificaciones Técnicas Generales EG 2013*. Lima: Fondo Editorial ICG.
- RODRIGUEZ, D. A. (2000). *METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS*. LIMA: FONDO EDITORIAL CAMINEROS.
- Rodriguez, R., & Del Castillo, H. (2000). *La Ingenieria de Suelos en las Vias Terrestres*. Mexico: Editorial Limusa S.A.
- Silene, M. G., & Ordoñez Huaman, A. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*. Lima: Instituto de la Construccion y Gerencia ICG.
- Taco, C. P. (10 de mayo de 2021). *Propuesta de mejoramiento de los atributos potenciales y análisis comparativo de la evaluación de pavimentos con la viga benkelman de la carretera Urcos-Hualla-Hualla mediante un rediseño y análisis de las propiedades de la carretera 2020*. Obtenido de <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/6021?locale-attribute=en>
- VIAL, M. M. (2016). *MANUAL CONSERVACION VIAL MTC 2016*. LIMA: FONDO EDITORIAL ICG.

ANEXOS

Anexo a) Matriz de consistencia

Tabla 54 Anexo A Matriz de Consistencia.

Título: IMPORTANCIA DEL NUMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO Y LA DEFLECTOMETRIA EN LA CARRETERA MAYUMBAMBA PARURO REGION CUSCO 2023.				
PROBLEMA DE ESTUDIO	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES
Deficiente desempeño estructural de las pavimentos flexibles con tratamiento superficial asfáltico en la carretera Mayumbamba Paruro Provincia Paruro Region Cusco Peru 2023	¿La variabilidad del número estructural efectivo, afecta el desempeño estructural del pavimento flexible con tratamiento superficial asfáltico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023?	Validar que la variabilidad del número estructural efectivo, afecta el desempeño estructural del pavimento flexible con tratamiento superficial asfáltico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023	Hipótesis General La variabilidad del número estructural efectivo afectará el desempeño estructural del pavimento flexible con tratamiento superficial asfáltico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023	<p>Variable Independiente (X)</p> <p>Numero Estructural</p> <p>Dimensiones:</p> <p>D-1: CBR Sub Rasante</p> <p>D-2: Estudio de Trafico</p> <p>Variable Interviniente</p> <p>Ensayos de campo/laboratorio</p>
	¿Los valores de deflectometría verifican el desempeño estructural del pavimento flexible con tratamiento superficial asfáltico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023?	Establecer que, los valores de deflectometría verifican el desempeño estructural del pavimento flexible con tratamiento superficial asfáltico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023	Hipótesis Específica Los valores de deflectometría verificarán el desempeño estructural del pavimento flexible con tratamiento superficial asfáltico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023	<p>Variable Dependiente (Y)</p> <p>Desempeño Estructural.</p>
	¿Los valores de rugosidad superficial demuestran el desempeño estructural del pavimento flexible con tratamiento superficial asfáltico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023?	Demstrar que los valores de rugosidad superficial evidencian el desempeño estructural del pavimento flexible con tratamiento superficial asfáltico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023	Los valores de rugosidad superficial demuestran el desempeño estructural del pavimento flexible con tratamiento superficial asfáltico en la carretera Mayumbamba Paruro 2023	<p>Dimensiones:</p> <p>D-1: Deflectometría</p> <p>D-2: Rugosidad Superficial</p>
<p>DISEÑO METODOLÓGICO</p> <p>Tipo de Investigación: Es del tipo Aplicada de enfoque cuantitativo</p> <p>Nivel de Investigación: Explorativo, debido a que pretendemos validar la importancia del número estructural en el desempeño del pavimento, es decir validar su comportamiento en el tiempo de vida útil por medio de ensayos no destructivos de campo.</p> <p>Método científico: Es Inductivo y Analítico, ya que se va realizar ensayos de campo para verificar el comportamiento o desempeño del pavimento para evidenciar deficiencia estructurales.</p> <p>Diseño: Experimental</p> <p>Población y muestra: Población: nuestra población estará dada por la estructura de pavimento flexible con tratamiento superficial asfáltico de la carretera Mayumbamba - Paruro que forma parte de los 285 km que comprenden la denominada Red Vial N° 02 de la region Cusco Muestra: corresponde a 10 km de la carretera Mayumbamba Paruro</p> <p>Muestreo: Probabilístico</p> <p>Técnicas e instrumentos de recolección de datos: Técnicas: Medición de valores en campo Instrumentos: ensayos geotécnicos de campo</p> <p>Técnicas e instrumentos de análisis y procesamiento de datos: Análisis: Estadística inferencial Análisis Probabilístico de Datos Procesamiento de datos: Programa de análisis de datos Análisis estadísticos de datos</p>				

Anexo b) Panel Fotográfico



Ilustración 22 Ubicación y emplazamiento CU 121 y CU 123



Ilustración 23 Desvío CU 121 empalme Mayubamba - Paruro



Ilustración 24 Emplazamiento desvío KM 0+00 Mayumbamba - Paruro



Ilustración 25 Vista de patologías en la superficie de rodamiento KM 0+025



Ilustración 26 Patología de superficie de rodadura en tratamiento superficial asfáltico $e = 1.5$ cm.



Ilustración 27 Unidad Vehicular placa EAB 230 camión eje simple posterior.



Ilustración 28 Unidad Vehicular placa EAB 230 camión eje simple posterior.



Ilustración 29 Emplazamiento del Km 0+00 Tramo Mayumbamba - Paruro



Ilustración 30 Medición de distancias para deflectometría cada 25 metros.



Ilustración 31 Medición de distancias para deflectometría cada 25 metros.



Ilustración 32 Medición de distancias para deflectometría cada 25 metros.



Ilustración 33 Medición de emplazamiento KM 0+025



Ilustración 34 Medición de emplazamiento KM 0+050



Ilustración 35 Medición de emplazamiento KM 0+075



Ilustración 36 Medición de emplazamiento KM 0+100



Ilustración 37 Medición de emplazamiento KM 0+100



Ilustración 38 Medición de emplazamiento KM 0+125



Ilustración 39 Medición de emplazamiento KM 0+125



Ilustración 40 Medición de emplazamiento KM 0+150



Ilustración 41 Medición de emplazamiento KM 0+150



Ilustración 42 Medición de emplazamiento KM 0+175



Ilustración 43 Medición de emplazamiento KM 0+175



Ilustración 44 Medición de emplazamiento KM 0+200



Ilustración 45 Medición de emplazamiento KM 0+200



Ilustración 46 Medición de emplazamiento KM 0+225



Ilustración 47 Medición de emplazamiento KM 0+250



Ilustración 48 Tesista en la medición de emplazamiento KM 0+225



Ilustración 49 Medición de emplazamiento KM 0+250



Ilustración 50 Medición de emplazamiento KM 0+250 (hacia adelante)



Ilustración 51 Medición de emplazamiento KM 0+250 (vista hacia atrás)



Ilustración 52 Medición de emplazamiento KM 0+275



Ilustración 53 Medición de emplazamiento KM 0+275



Ilustración 54 Medición de emplazamiento KM 0+300



Ilustración 55 Medición de emplazamiento KM 0+300



Ilustración 56 Medición de emplazamiento KM 0+325



Ilustración 57 Medición de emplazamiento KM 0+325



Ilustración 58 Tesista en el emplazamiento KM 0+325

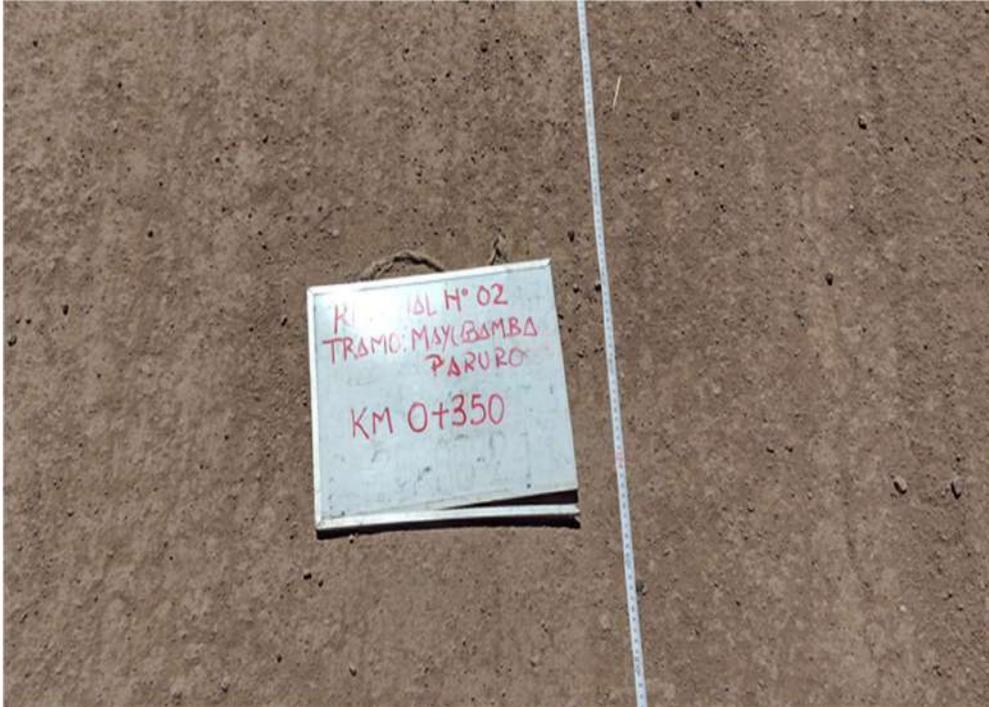


Ilustración 59 Medición de emplazamiento KM 0+350



Ilustración 60 Medición de emplazamiento KM 0+350



Ilustración 61 Medición de emplazamiento KM 0+375



Ilustración 62 Medición de emplazamiento KM 0+375



Ilustración 63 Medición de emplazamiento KM 0+400



Ilustración 64 Medición de emplazamiento KM 0+400



Ilustración 65 Medición de emplazamiento KM 0+425



Ilustración 66 Medición de emplazamiento KM 0+425



Ilustración 67 Medición de emplazamiento KM 0+450



Ilustración 68 Medición de emplazamiento KM 0+450



Ilustración 69 Medición de emplazamiento KM 0+475



Ilustración 70 Medición de emplazamiento KM 0+475



Ilustración 71 Medición de emplazamiento KM 0+500



Ilustración 72 Medición de emplazamiento KM 0+500



Ilustración 73 Patología superficial y estructural



Ilustración 74 Patología del pavimento.



Ilustración 75 Patología de pavimento



Ilustración 76 Pérdida de Tratamiento Superficial Asfáltico en parte del ancho de la plataforma



Ilustración 77 Deterioro de recubrimiento asfáltico



Ilustración 78 Deterioro hombro izquierdo de la vía



Ilustración 79 Fatiga de estructura de pavimento



Ilustración 80 Deterioro por fatiga de pavimento



Ilustración 81 Deterioro de Pavimento



Ilustración 82 Vista de la vía en estudio



Ilustración 83 Camión Volquete Eje trasero simple con peso de 8.2 Tn de carga aplicada y a 80 PSI (presión de inflado)



Ilustración 84 Instrumento de medición de deflexiones: VIGA BENKELMAN (de 01 brazo)



Ilustración 85 Instrumentación de Prueba de Deflectometría con Viga Benkelman



Ilustración 86 Instrumentación de Prueba de Deflectometría con Viga Benkelman



Ilustración 87 Tesista en Instrumentación de Prueba de Deflectometría con Viga Benkelman



Ilustración 88 Instrumentación de Prueba de Deflectometría con Viga Benkelman



Ilustración 89 Instrumentación de Dial de Medición de deflexiones con Viga Benkelman



Ilustración 90 Medición de deflexiones progresiva 0+00



Ilustración 91 Calibración de punto inicial para toma de deflexiones con Viga Benkelman



Ilustración 92 Medición de deflexiones progresiva 0+025



Ilustración 93 Medición de deflexiones progresiva 0+050



Ilustración 94 Medición de deflexiones progresiva 0+075



Ilustración 95 Medición de deflexiones progresiva 0+100



Ilustración 96 Medición de deflexiones progresiva 0+125



Ilustración 97 Tesista en Medición de deflexiones progresiva 0+125 con Viga Benkelman



Ilustración 98 Medición de deflexiones progresiva 0+150



Ilustración 99 Medición de deflexiones progresiva 0+175



Ilustración 100 Medición de deflexiones progresiva 0+200



Ilustración 101 Medición de deflexiones progresiva 0+225



Ilustración 104 Medición de Deflexiones km 0+250



Ilustración 105 Instrumentación de Prueba de Deflectometría



Ilustración 106 Instrumentación y medición de Deflexiones en Pavimento superficial



Ilustración 107 Medición de deflexiones en km 0+275



Ilustración 108 Medición de deflexiones en km 0+300



Ilustración 109 Medición de deflexiones km 0+300



Ilustración 110 Empalme Mayubamba Paruro



Ilustración 111 Proceso de calibración Viga Benkelman.



Ilustración 112 Medición de deflexiones km 0+325



Ilustración 113 Medición de deflexiones km 0+350



Ilustración 114 Medición de deflexiones 0+375



Ilustración 115 Medición de deflexiones km 0+400



Ilustración 116 Medición de deflexiones km 0+425



Ilustración 117 Medición de deflexiones km 0+450



Ilustración 118 Medición de deflexiones km 0+475



Ilustración 119 Medición de deflexiones km 0+500



Ilustración 120 Vista km 0+600



Ilustración 121 Proceso de Medición de Deflexiones.



Ilustración 122 Uso de Wincha para medición deflexiones d_{max} 5 m.



Ilustración 123 Uso de camión volquete eje simple posterior 80 PSI



Ilustración 124 Equipos y personal técnico en campo.



Ilustración 125 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 01



Ilustración 126 Medición de Rugosidad Superficial con MERLIN



Ilustración 127 Calibración de Equipo MERLIN



Ilustración 128 Tesista en proceso de Instrumentación de Rugosímetro



Ilustración 129 Medición de Rugosidad superficial Tramo 02



Ilustración 130 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 03

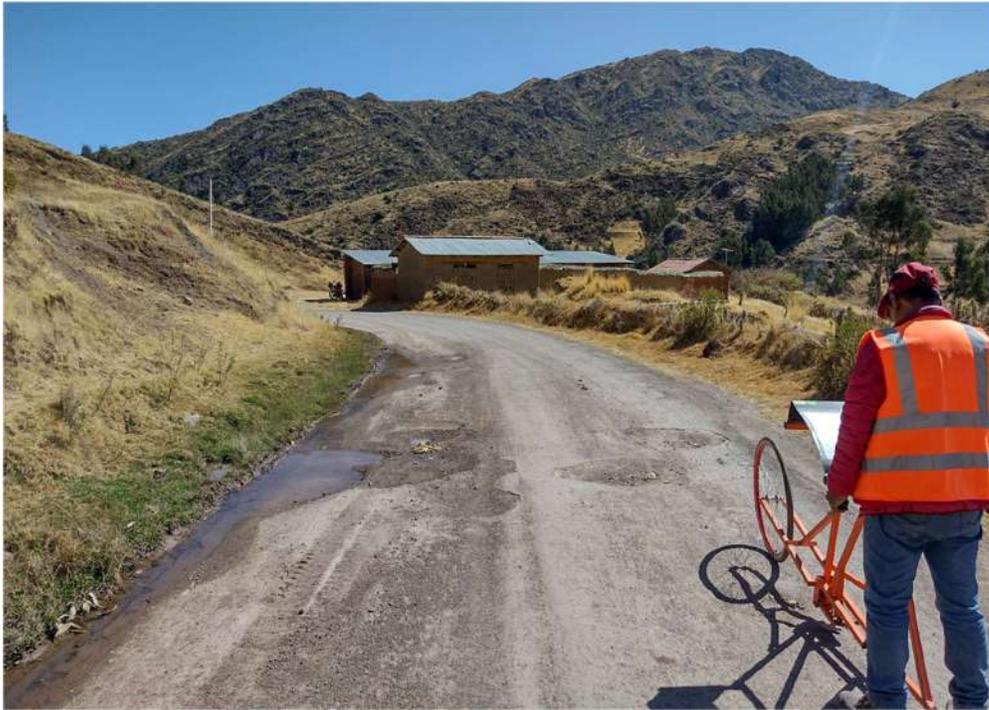


Ilustración 131 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 03



Ilustración 132 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 04



Ilustración 133 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 04



Ilustración 134 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 05



Ilustración 135 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 05



Ilustración 136 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 06



Ilustración 137 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 06



Ilustración 138 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 07



Ilustración 139 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 07



Ilustración 140 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 08



Ilustración 141 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 08



Ilustración 142 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 08



Ilustración 143 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 08



Ilustración 144 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 09



Ilustración 145 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 09



Ilustración 146 Tesista en Medición de Rugosidad Superficial Tramo 09



Ilustración 147 Tesista en Medición de Rugosidad Superficial Tramo 09



Ilustración 148 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10



Ilustración 149 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10



Ilustración 150 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10



Ilustración 151 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10



Ilustración 152 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10



Ilustración 153 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10



Ilustración 154 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10



Ilustración 155 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10



Ilustración 156 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10



Ilustración 157 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10



Ilustración 158 Medición de Rugosidad Superficial Tramo 10



Ilustración 159 Condición socio económica de la zona.

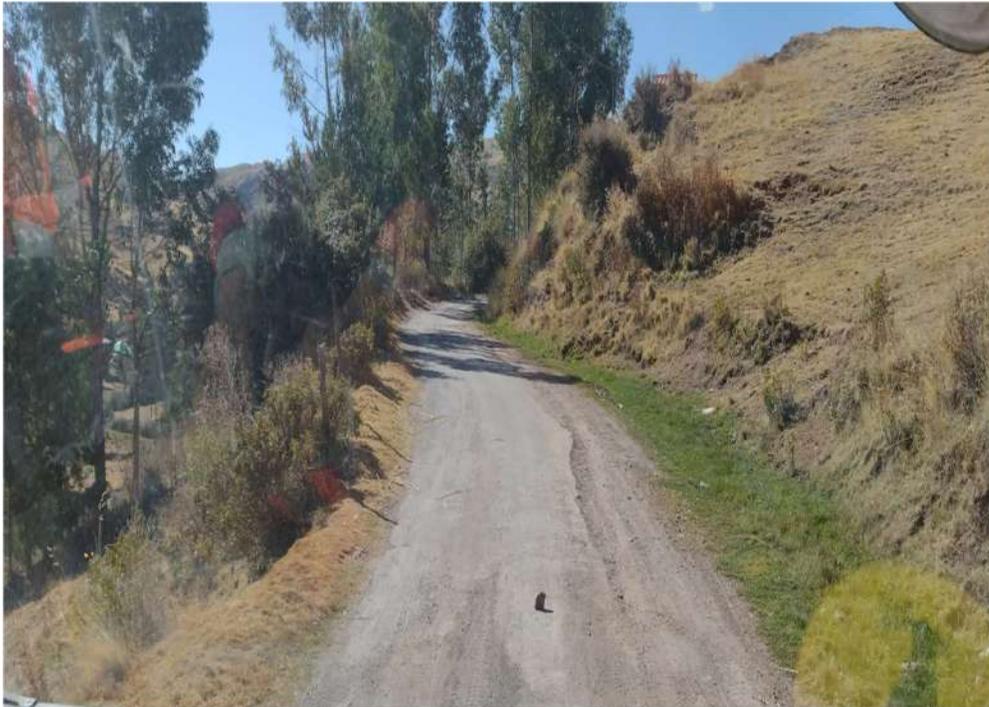


Ilustración 160 Ancho variable de la plataforma.

Anexo c) Metodológica de Evaluación de Pavimentos Básicos con el uso de Viga Benkelman para la Región Cusco.

METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE PAVIMENTOS BÁSICOS CON EL USO DE VIGA BENKELMAN PARA LA REGION CUSCO

OBJETIVO

Detallar el procedimiento para la evaluación de deflexiones en pavimentos básicos posterior a la ejecución de la conservación periódica con el uso de Viga Benkelman en la Región del Cusco.

FINALIDAD

Siendo la deflexión una deformación vertical de los pavimentos básicos y cuando esta es medida a través del uso de Viga Benkelman cada 25 metros en una longitud de 1,350 metros (con un total de 50 datos continuos), el valor de la deflexión admisible podrá ser sometida a una escala de cumplimiento (evaluación) en función del valor de la Desviación Estándar y del Coeficiente de Variación y en consecuencia podrá definirse su estado de conservación o estado de desempeño para programarse un tipo de intervención.

ALCANCE

El campo de aplicación está definido para la evaluación de Pavimentos Básicos con o sin la aplicación de un tratamiento superficial asfáltico y mediante el cual se determinará para el caso de pavimento básico nuevo su aprobación técnica y en el caso de pavimentos básicos antiguos la determinación de la vida útil remanente de un pavimento y evaluar estructuralmente los pavimentos con fines de mantenimiento, mejoramiento o rehabilitación, y así mismo evaluar los métodos de diseño de pavimentos y control de ejecución de obras, evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura debido a las sollicitaciones de tráfico, antes de que la estructura llegue a la fatiga.

El dispositivo mecánico utilizado es la Viga Benkelman de brazo simple o doble, equipo que mide los desplazamientos verticales de un punto de contacto situado entre las ruedas duales del eje de carga, para una presión de inflado en los

neumáticos de 80 psi y una carga de 8.2 t en el eje posterior del camión. (MTC, Ensayo de Materiales, 2016)

La superficie de pavimento a medir mediante este método debe estar seca y libre de suciedad o material suelto que, bajo tránsito normal, será removido. (MTC, Ensayo de Materiales, 2016)

REFERENCIAS NORMATIVAS

ASTM D 4695: "Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements".

MTC E 1002 "MEDIDA DE LA DEFLEXION DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN"

EQUIPOS Y MATERIALES

EQUIPO

Viga simple de un solo brazo, con su correspondiente dial (al 0,01 mm y recorrido de 12 mm) y las siguientes características: De acuerdo al esquema de la Figura 01, la viga consta esencialmente de dos partes: (MTC, Ensayo de Materiales, 2016)

1. Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos: dos delanteros fijos A y uno trasero regulable B. (MTC, Ensayo de Materiales, 2016)

2. Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote C, uno de cuyos extremos se apoya sobre el terreno - punto D; y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago del dial de movimiento vertical - punto E (DC = 2,44m, CE = 0,61 m). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que, al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas. El extremo D o punta de la viga es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero del camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo C, con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo E produzca un movimiento vertical en el vástago,

generando así una lectura en el dial. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto D se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial. La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto D de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto D al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el dial - EE' no están en escala real, sino que dependen de la relación de brazos existentes (ilustración 01). (MTC, Ensayo de Materiales, 2016)

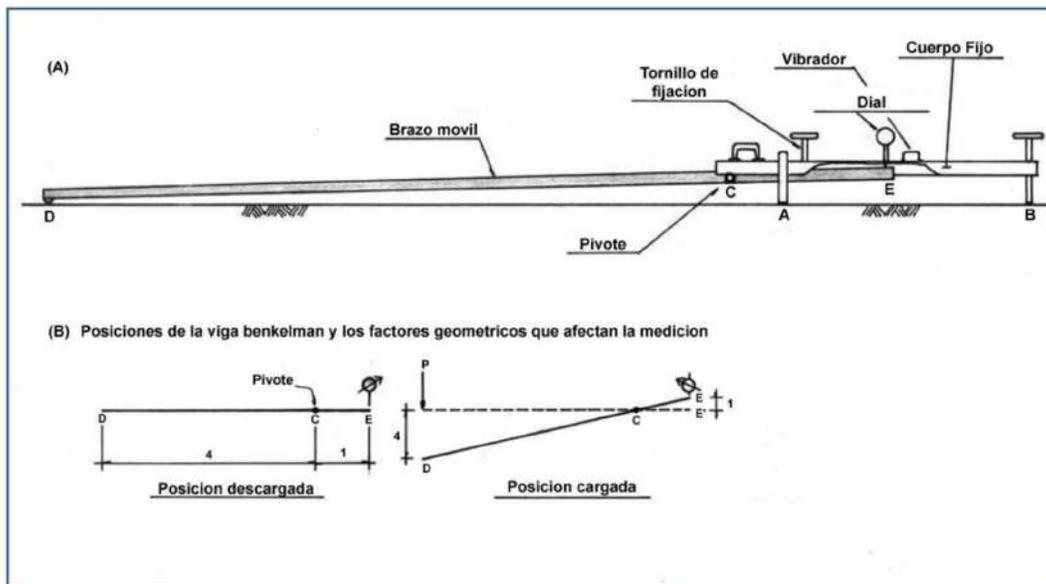


Ilustración 161 Diagrama de Viga Benkelman

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales, MTC 2016

Viga Benkelman de doble brazo, con sus correspondientes diales (al 0,01 mm y recorrido de 12 mm) y las siguientes dimensiones: (MTC, Ensayo de Materiales, 2016)

- Longitud del primer brazo (brazo largo), desde el pivote al punto de prueba es 2,44 m.

- Longitud del primer brazo (brazo largo), desde el pivote al punto de apoyo del vástago del dial es 0,61m.

- Longitud del segundo brazo (brazo corto), desde el pivote al punto de prueba es 2,19 m.

- Longitud del segundo brazo de ensayo, desde el pivote al punto de apoyo del vástago de su dial registrador = 0,5475 m

La única diferencia entre la viga Benkelman simple y de doble brazo, radica en el segundo brazo adicional (brazo corto), cuyo punto de apoyo sobre el terreno se encuentra a 25 cm de distancia del primer brazo (brazo largo).

Un camión para ensayo con las siguientes características, el eje trasero pesará en la balanza 8,2 toneladas, igualmente distribuidos en sus ruedas duales y estará equipado con llantas de caucho y cámaras neumáticas. Las llantas deberán ser 10" x 20"; 12 lonas e infladas a 5,6 kg/cm² (80 libras por pulgada cuadrada). La distancia entre los puntos medios de la banda de rodamiento de ambas llantas de cada rueda dual deber ser de 32 cm.

Reloj convencional con indicador de segundos.

Termómetro convencional o sistema de termopares con escala de -10 °C a 50 °C y precisión de 1 °C.

Manómetro, que disponga de una boquilla adecuada para medir la presión de inflado.

Cinta métrica, de 25 m de longitud. Puede sustituirse por una cinta métrica de bolsillo de 3 ó 5 m de longitud.

Martillo y clavos de acero, o taladro, adecuados para practicar orificios en el pavimento hasta 5 cm de profundidad.

Cuña o calzo de parada, de chapa metálica o de madera.

Tizas y pintura para marcar el pavimento. Silbato y otro avisador acústico.

Aceite o material de similar inercia térmica y viscosidad.

PROCEDIMIENTO

Identificación del tramo, se deberá realizar un recorrido previo de reconocimiento e identificación de la homogeneidad del tramo general, esto en presencia y coordinación del residente y supervisor. Para el procedimiento, se recomienda se haga en una longitud de 1,350 metros por cada 10 km de longitud de carretera, pudiendo tomarse aleatoriamente el tramo.

Siendo esta metodología de evaluación para pavimentos básicos, donde los anchos de la plataforma a evaluar son variables, definiendo un ancho mínimo de 2.7 metros y un ancho se recomienda tomar los datos de deflexión con Viga Benkelman a 75 cm del borde de la plataforma.

Se procederá a marcar cada 25 metros con pintura o similar las marcas para realizar cada una de las 50 mediciones continuas.

Se procederá a realizar el emplazamiento del camión volquete de 8.2 Tn en la posición adecuada, marcándose los puntos de lectura y calibrándose el equipo de Viga Benkelman para dar inicio a la toma de lecturas. El supervisor deberá realizar la verificación de los protocolos de presión de inflado en los neumáticos de contacto posterior, así como la verificación del protocolo de calibración del deformímetro o dial de medición.

La rueda dual externa del camión deberá ser colocada sobre el punto seleccionado; para la correcta ubicación de la misma, deberá colocarse en la parte trasera extrema del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga. Desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal indicada en 5.1 de modo que simultáneamente el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual. (MTC, Manual de Ensayos de Materiales, 2016)

Viga Simple

Uso de Viga Simple, una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo, se coloca la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del neumático (punto D). Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3 pulgadas alrededor del punto. Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo

del brazo móvil de la viga colocándolo nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado. Dado que esto último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizará previamente la siguiente operación: Se coloca la Viga en la posición como si estuviera entre las llantas, pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir, empleando una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad. Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión, se efectúa una marca en la viga de manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones. (MTC, Manual de Ensayos de Materiales, 2016)

De igual forma con la finalidad de obtener el cuenco de deflexiones, se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 30, 40 y 70 cm). Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea tener una idea gráfica del tipo de curvas de deflexiones que se producen. (MTC, Manual de Ensayos de Materiales, 2016)

Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la varilla vertical y la marca inicial, se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. Se pondrá el dial en cero, se activará el vibrador y mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y las marcas adicionales y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento, registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero. (MTC, Manual de Ensayos de Materiales, 2016)

Viga Doble

Se coloca la viga sobre el pavimento, detrás del camión, perpendicularmente al eje de carga, de modo que la punta de prueba del primer brazo coincida con el punto de ensayo y la viga no roce contra las llantas de la rueda dual.

Se liberan los seguros de los brazos y se ajusta la base de la viga por medio del tornillo trasero, de manera que los dos brazos de medición queden en contacto con los diales. (MTC, Manual de Ensayos de Materiales, 2016)

Se ajustan a los diales de modo que sus vástagos tengan un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm. Se giran las circunferencias de los diales hasta que las agujas queden en cero y se verifica la lectura golpeándolos suavemente con un lápiz. Girar la circunferencia si es necesario y repetir la operación hasta obtener la posición 0 (cero).

Se pone en marcha el cronómetro y vibrador, se hace avanzar suave y lentamente el camión; se leen los diales cada 60 segundos. Cuando dos lecturas sucesivas de cada uno de ellos no difieran en más de 0,01 mm, se da por finalizada la recuperación, registrándose las últimas lecturas observadas (L0 y L25).

Con el fin de medir la temperatura del pavimento se practica un orificio (antes de comenzar el ensayo y simultáneamente con el trazado de la línea), cuyas dimensiones serán: 4 cm de profundidad y 10 mm de diámetro, aproximadamente, emplazado sobre la línea paralela al eje del camino, que pasa por el punto de determinación de la deflexión y a 50 cm del mismo, en el sentido de avance del camión. Se llena con aceite no menos de 10 minutos antes de iniciar el ensayo, se inserta el termómetro y se lee la temperatura, retirando el mismo antes del desplazamiento del camión. (MTC, Manual de Ensayos de Materiales, 2016)

Cálculos e Informe Cálculos

Calculo General para Viga Simple

Se debe calcular la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final. Para el caso de la deflexión a 25 cm, se debe encontrar la diferencia entre la lectura a 25 cm y la lectura final, lo mismo se realiza para las deflexiones tomadas a cualquier distancia. (MTC, Manual de Ensayos de Materiales, 2016)

$$D = (LF - LR) * RB$$

D: Deflexión a la distancia R, expresada en 0.01 mm.

LR: Lectura a la distancia R

LF: Lectura máxima

RB: Relación de brazos de la viga Benkelman (normalmente es 1:2 ó 1:4)

Calculo General para Viga Doble

Cuando las medidas se toman con viga doble el cálculo es directo, es decir se multiplican las lecturas por la relación de brazos de la viga Benkelman doble. Asimismo, la diferencia entre la viga simple y la doble, radica en que con la viga doble solamente se toman las lecturas en el eje de carga y a 25 cm del mismo. (MTC, Manual de Ensayos de Materiales, 2016)

$$D = LD * RB$$

D: Deflexión, expresada en 0.01 mm.

LD: Lectura del dial.

RB: Relación de brazos de la viga Benkelman (normalmente es 1:2 ó 1:4)

Llenándose la siguiente tabla con los 50 datos de lecturas de deflexión con Viga Benkelman.

Tabla 55 Tabla de Análisis Deflectométrico

MEDIDA DE LA DEFLEXIÓN DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN																			
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 1002, ASTM D 4695																			
DATOS DE LA ESTRUCTURA Y EQUIPO																			
ANÁLISIS DEFLECTOMÉTRICO CON LA VIGA BENKELMAN																			
PREYECTO	: RED VIAL N°02										RELACIÓN DE BRAZOS:	1: 2							
TRAMO	: TRAMO: MAYUMBAMBA - PARURO										CARGA	6200 kg							
UBICACIÓN	: MAYUBAMBA, PROVINCIA PARURO - CUSCO										PRESIÓN	80 PSI							
CARRIL	: Izquierdo - Derecho										EAL	3.70E+05							
FECHA	: Cusco, martes, 20 de junio de 2023										D _{30mm}	133							
OPERADORES	: Flavio La Torre Rojas - Técnico de Laboratorio de Suelos Concreto y Asfalto										N° DE REGISTRO	VIGA - HUMBOLDT							
SOLICITANTE	: ING. EDWARD ROMOACCA CAZAS																		
ESTACIÓN	LECTURAS DIAL (0.01 mm)							LADO	FC.	FC.	DEFLEXIONES CORREGIDAS (0.01 mm)							R. CURV. (m)	OBSERVACIONE S Do ≤ Dadm
	N° Ensayo	L=0	L=25	L=50	L=75	L=100	L=500				2° DIAL	CARRIL	Temp.	ESTAC.	Do	D25	D50		
0+100	0	8	13	15	20	30		Derecho	1.000	1.2	72	19	31	36	48	0	0	59.19	Cumple
0+125	0	20	30	46	64	89		Derecho	1.000	1.2	166	48	72	110	154	0	0	26.57	No cumple
0+150	0	66	74	85	99	112		Derecho	1.000	1.2	269	158	178	204	238	0	0	28.31	No cumple
0+175	0	20	33	38	46	51		Derecho	1.000	1.2	122	48	79	91	110	0	0	42.00	Cumple
0+200	0	25	81	94	99	104		Derecho	1.000	1.2	250	60	194	226	238	0	0	16.48	No cumple
0+225	0	30	79	99	1.04	112		Derecho	1.000	1.2	269	72	190	238	2	0	0	15.88	No cumple
0+250	0	23	56	61	66	71		Derecho	1.000	1.2	170	55	134	146	158	0	0	27.13	No cumple
0+275	0	9	14	18	20	25		Izquierdo	1.000	1.2	60	22	34	43	48	0	0	81.38	Cumple
0+300	0	30	53	61	66	71		Izquierdo	1.000	1.2	170	72	127	146	158	0	0	31.75	No cumple
0+325	0	8	13	23	36	41		Izquierdo	1.000	1.2	98	19	31	55	86	0	0	39.48	Cumple
0+350	0	13	23	30	38	41		Izquierdo	1.000	1.2	98	31	55	72	91	0	0	46.50	Cumple
0+375	0	8	8	10	15	23		Izquierdo	1.000	1.2	55	19	19	24	36	0	0	86.81	Cumple

Cálculo de Evaluación

Se debe de hacer el cálculo de la Deflexión Admisible, D_{adm} , que estará calculada en función del Número de Ejes Equivalentes del estudio de tráfico de la intervención, con el uso de la siguiente formula:

$$N_{18} = \frac{1.15}{D_{adm}^4}, \text{ de donde despejando obtenemos: } D_{adm} = \left(\frac{1.15}{N_{18}}\right)^{1/4}$$

Donde: D_a : Deflexión Característica admisible (inicial) en mm.

N_{18} : Número de ejes estandar equivalentes de 8.2 tn acumulados en millones

Luego realizamos los cálculos estadísticos indicados en la siguiente tabla:

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS	
Deflexión Máxima	(0.01 mm)
Deflexión Mínima	(0.01 mm)
Deflexión Media \bar{D}	(0.01 mm)
Desviación Standard (S)	(0.01 mm)
Coeficiente de Variación (C.V.)	%
Deflexión Característica (D.C.)	(0.01 mm)
Radio de curvatura Máximo:	m
Radio de curvatura Mínimo:	m

Tabla 56 Análisis Estadístico de Resultados

De donde es factible identificar a la Deflexión media o promedio, la Desviación Estándar y el Coeficiente de variación.

La deflexión admisible deberá ser primeramente comparada con el valor de la deflexión promedio

$$E = \frac{D_{adm} - D_{prom}}{D_{adm}} * 100\%$$

Ecuación 4 Calculo de Deflexión diferencial

Para pavimentos básicos nuevos el valor de “E” deberán estar en $\pm 5\%$ con respecto al valor de la Deflexión Admisible, con lo cual el tramo a evaluar estar listo y

expedido con una calificación de bueno o excelente dándose por aprobado. Caso contrario se deberá pasar al siguiente paso para determinar su estado de conservación.

Paso siguiente, identificado el valor de la desviación estándar y el valor de la Deflexión promedio se procederá a calcular el valor del Coeficiente de Variación.

$$\text{Coeficiente de Variación (C.V.)} = \frac{\text{Desviación Estandar } (\sigma)}{D_{prom}} * 100\%$$

Ecuación 5 Calculo de Coeficiente de Variación

Paso siguiente, calculado el valor del Coeficiente de Variación este deberá ser evaluado según la siguiente tabla:

ESTADO O CONDICION PAVIMENTO EVALUADO	PARAMETRO NUMERICO DEL C. V.
BUENO	< 5%
REGULAR	≥ 6% hasta ≤ 15%
MALO	≥ 16% hasta ≤ 40%
PESIMO	≥ 41%

Tabla 57 Escala de Calificación en función de la variabilidad de deflexiones de campo