

Tabla 62. Personal utilizado para la evaluación estructural del pavimento

Cantidad de personas	Función a desempeñar
02	Tesista de la presente evaluación e Ingeniero de Campo del Laboratorio de Asfaltos
02	Provistas de señales preventivas antes y después de 100 m del punto de ensayo
01	Conductor de Camión X1N-834
01	Conductor del Vehículo X3M-214

Fuente: Elaboración propia 2019

- Las distancias tomadas en el ensayo con la Viga bekelman simple de un solo brazo de metal en el cuenco de deflexiones fueron de: 25 cm, 50 cm, 1 m y finalmente a 8 m. Con cinta masking tape se marcó en la Viga para una mejor maniobrabilidad en el ensayo, estas marcas se cambiaron en cada nueva medida del eje en cada tramo homogéneo.



Figura 99. Marcado con cinta masking en el brazo de la Viga a 25 cm, 50 cm, 1 m y 2 m. Fuente: Elaboración Propia 2019

- En cuanto a las medidas de seguridad se utilizaron chalecos, cascos, conos de seguridad y señales preventivas junto con personal que pueda dirigir el tránsito y ordenar el tráfico, a 100 m antes y después del punto de ensayo, debido a la evaluación estructural con la Viga Benkelman en el pavimento flexible. Además, se pidió apoyo a la Comisaría de San Sebastián en días anteriores previo al día de evaluación del pavimento flexible el día 11 de septiembre del 2019, ante cualquier eventualidad o incidente que pudiera ocurrir durante el transcurso del ensayo de campo.



Figura 101. Señales informativas a 100 m antes de la evaluación del punto de ensayo. Fuente: Elaboración propia 2019



Figura 100. Señales informativas a 100 m después de la evaluación del punto del ensayo. Fuente: Elaboración propia 2019

- Según la norma existe una tolerancia de 3" o 7.62 cm en la ubicación alrededor de punto a ensayar. Los puntos ensayados se ubicaron con tiza, alineadas sobre las progresivas relativas referenciales marcadas con pintura en la superficie del pavimento,



establecidos en el ensayo de replanteo para la evaluación estructural en el carril de ascendente, desde Sector T'icapata hasta CC de Pumamarca, en la carretera ENACO – Abra Ccorao.



Figura 102. Verificación de la presión de inflado cada hora, cuyo valor debe estar entre 75-85 PSI. Fuente: Elaboración propia 2019



Figura 103. Medición de la temperatura en la superficie del pavimento con el termómetro digital de contacto directo. Fuente: Elaboración propia 2019

- En la evaluación del pavimento flexible del tramo Sector T'icapata – CC de Pumamarca, algunas progresivas relativas referenciales estuvieron sobre las alcantarillas, puentes, fallas o el borde del pavimento no se notaba, debido a la falta de mantenimiento de la vía, por lo tanto, en dichas zonas se modificó la ubicación del punto de



ensayo o se obtuvo la deflexión en la huella interna del camión de ensayo, por motivos de seguridad y limpieza.



Figura 104. Toma de datos en la huella interna del camión por motivos de seguridad o limpieza en el punto de ensayo. Fuente: Elaboración propia 2019



Figura 105. Ubicación del punto de ensayo a 0.75 m del borde del pavimento, en la progresiva relativa 0+500 Km. Fuente: Elaboración Propia 2019



Figura 106. Ubicación del camión en el punto de ensayo de la progresiva relativa 1+100 km del carril de ascendente. Fuente: Elaboración propia 2019



Figura 107. Ubicación del camión en el punto de ensayo de la progresiva relativa 2+000 km del carril de descendente. Fuente: Elaboración propia 2019

- Los periodos de frecuencia de ensayo de los puntos a medir fueron ubicados en el replanteo de progresivas relativas para la evaluación estructural desde el Sector de T'icapata hasta la CC de Pumamarca, se intercalaron los puntos de ensayo entre el carril ascendente y el carril de descendente, de manera que el intervalo de muestreo final del tramo de estudio sea de 100 m.
- En total se tuvo 22 puntos de ensayo en la evaluación estructural del pavimento flexible del tramo Sector T'icapata – CC de Pumamarca, de carretera ENACO – Abra Ccorao, 11 en el carril de ascendente derecho y 11 en el carril de descendente izquierdo.

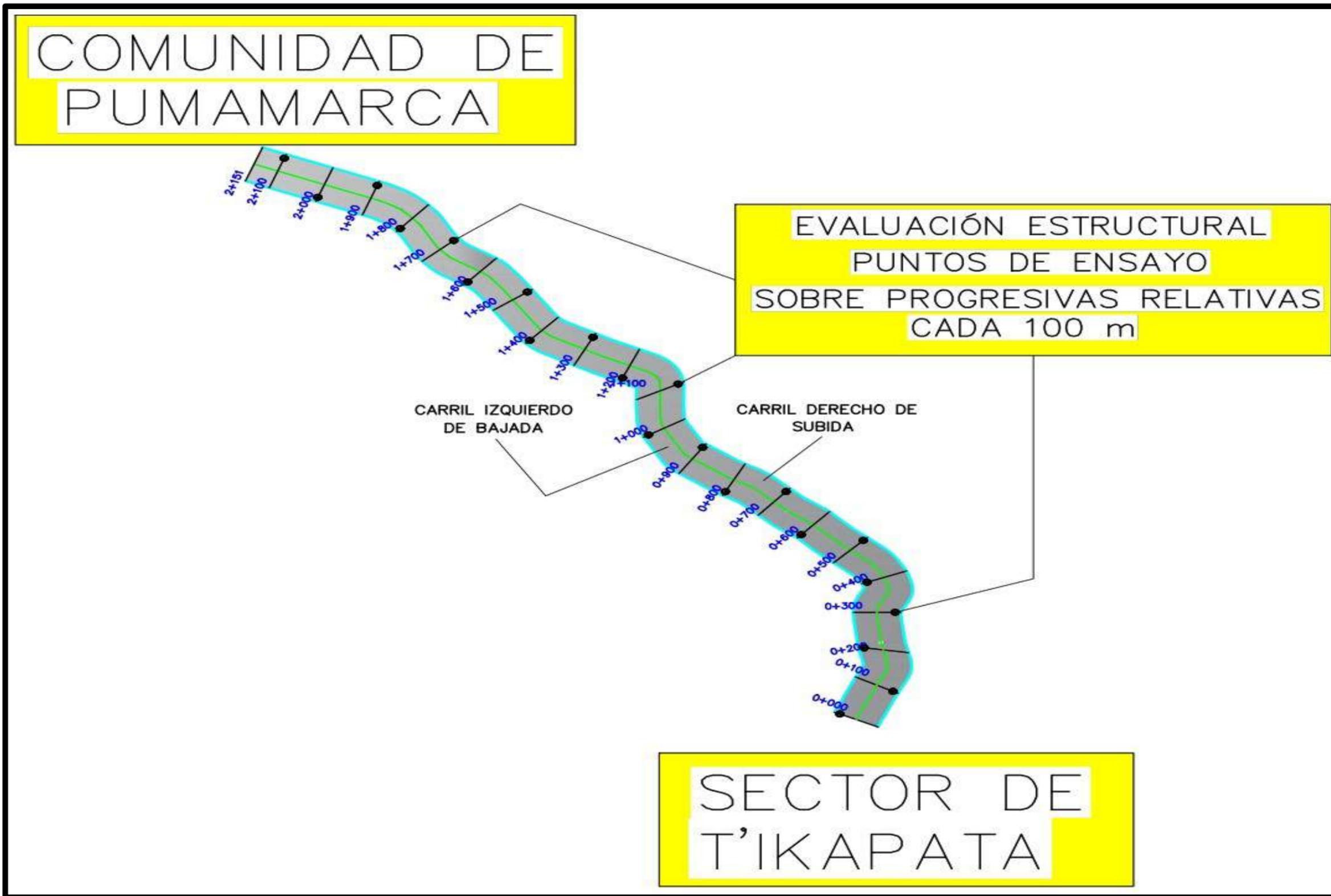


Figura 108. Localización de los puntos a ensayar sobre la línea transversal al eje de la vía, en la evaluación estructural del pavimento flexible del tramo Sector T'icapata – CC de Pumamarca, de la carretera ENACO – Abra Ccorao. Fuente: Elaboración propia 2019



- Con respecto al uso de la Viga Benkelman simple de un brazo, Marca ELE Modelo 471460, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Andina del Cusco, se detalla a continuación el procedimiento de uso.
- La Viga Benkelman tiene los siguientes accesorios, los cuales, se manipularon adecuadamente, estos son: abrazadera de metal, tornillos de fijación y dial ELE de 0.1 mm de precisión, los cuales se señalan en la figura 70.

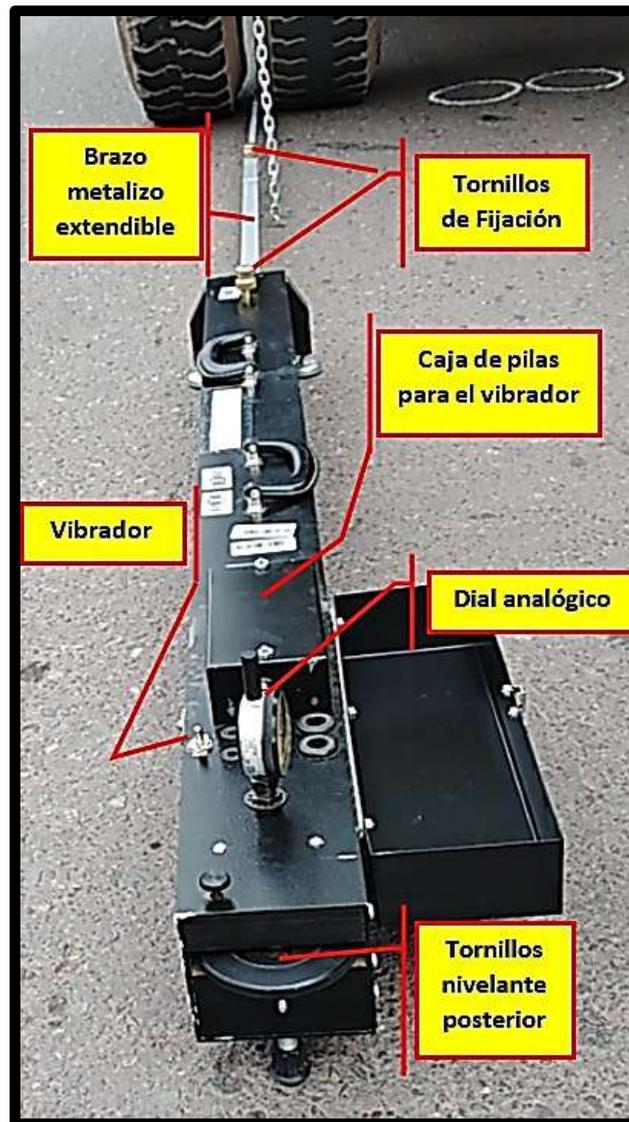


Figura 109. Viga Benkelman del Laboratorio de Suelos y Asfaltos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Fuente: Elaboración propia 2019



- La instalación en el pavimento de la Viga Benkelman en el pavimento para medir las deflexiones, se realiza en un periodo de 1-3 minutos, colocando los 04 tornillos de fijación en el brazo metálico de manera que el brazo metálico de dos cuerpos, permanezca alineada y fija.

También se acopla el dial deformímetro analógico debidamente calibrado; con un vástago en la parte inferior, que mide el desplazamiento vertical que ocurre en el extremo del brazo apoyado en el punto de ensayo de la superficie del pavimento.

- Una vez acoplado los accesorios en la Viga Benkelman, se posiciona el camión normalizado sobre el punto de ensayo con una tolerancia de 3" en su alrededor. A continuación, se coloca el brazo metálico de la Viga Benkelman en la abertura de una rueda dual en el eje de la rueda, para colocar correctamente en el extremo del brazo en el eje de la rueda dual, nos apoyamos en el extremo de la cadena, el cual sirve de plomada para facilitar la toma de datos en campo.
- Antes de proceder con la toma de datos y una vez finalizado las mediciones, se debe de accionar el botón de vibrado en la Viga Benkelman, para asegurarnos que se hayan eliminado todo tipo de tensiones e interferencias en el funcionamiento de conjunto de piezas que miden la deformación del pavimento.

c) Toma de datos

- Según lo indicado en la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC E - 1002, se realizó la toma de deflexiones adicionales a distancias de 25 cm, 50 cm, 1 m y 8 m. Las deflexiones que se tomaran en campo se nombraron como, D0, D25, D50, D100 y D800 como se muestra en la figura a continuación:

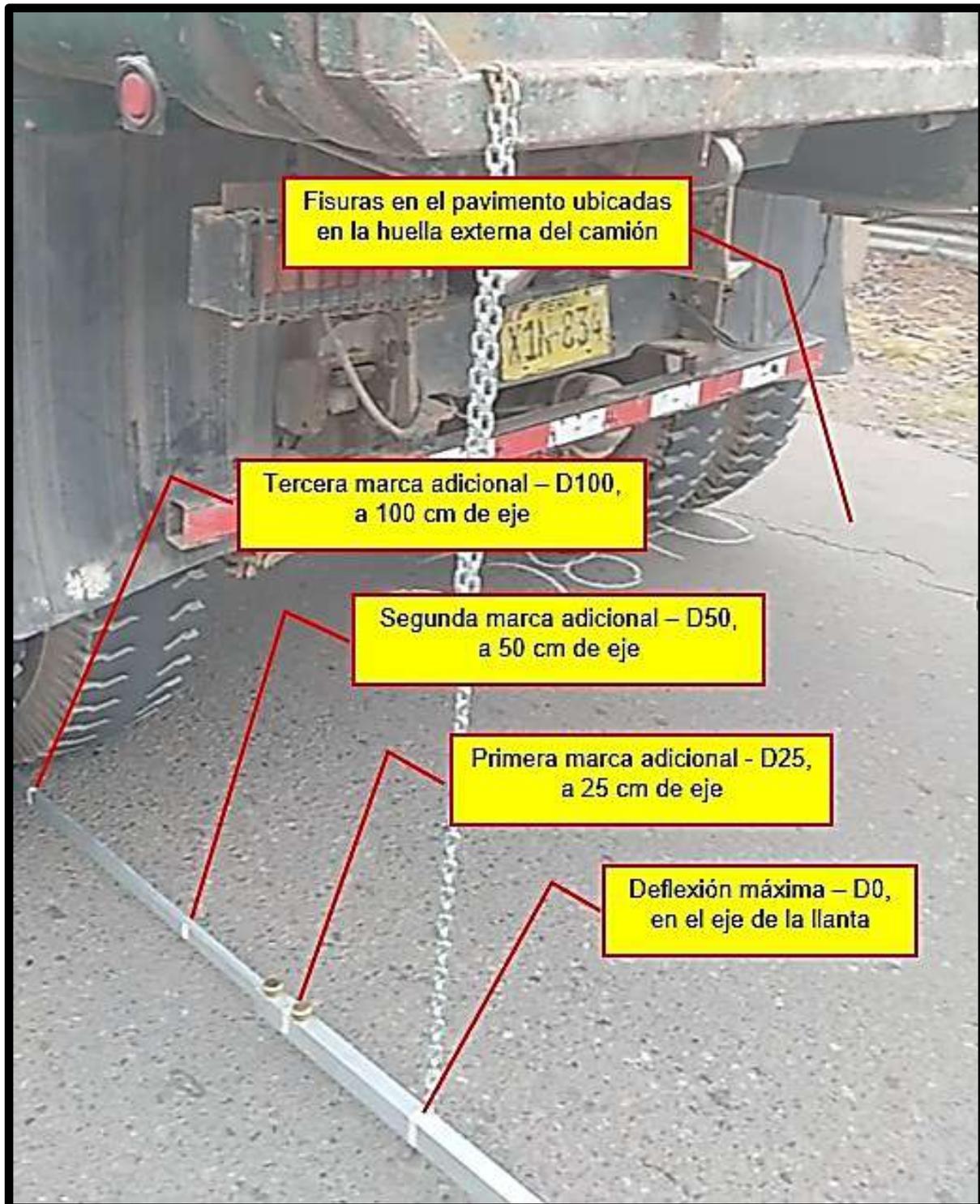


Figura 110. Marcas adicionales donde se tomaron las deflexiones en el pavimento. En la figura el punto de ensayo se tomó en la huella interior por presencia de fallas longitudinales ubicadas en la huella exterior del camión. Fuente: Elaboración Propia 2019



- La hoja de datos tomados en campo se encuentra firmado por el ingeniero de prácticas del Laboratorio de Suelos y Asfaltos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Andina del Cusco. Éstos datos recolectados se muestran a continuación y se adjunta el original escaneado en el anexo.

Tabla 63. Datos recolectados de la evaluación estructural del pavimento flexible del tramo en estudio

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS ESTIMACIONES DEL PORCENTAJE DE VIDA REMANENTE ÚTIL OBTENIDAS A PARTIR DE UNA EVALUACIÓN FUNCIONAL Y UNA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO TICAPATA - PUMAMARCA EN LA					ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
TRABAJO DE CAMPO : HOJA DE CAMPO PARA RECOPIACIÓN DE DEFLEXIONES										
DEPARTAMENTO :	CUSCO						PRESIÓN DE INFLADO:	80 PSI		
PROVINCIA :	CUSCO						CARGA DE EJE:	8.2 tn		
DISTRITO :	SAN SEBASTIÁN						MODELO DE LA VIGA BENKELMAN:	ELE 47-1460		
LUGAR:	SECTOR TICAPATA - COMUNIDAD DE PUMAMARCA						PRECISIÓN DEL DIAL:	0.1 mm		
DÍA:	1						PROGRESIVA INICIAL:	1+683 Km		
FECHA:	23/08/2019						PROGRESIVA FINAL:	3+834 Km		
TESISTA:	BACH. VLADIMIR BENITO CÁRDENAS						FORMA DE MEDICIÓN:	INTERCALADA		
PROGRESIVA ORIGINAL DE LA CARRETERA ENACAO -ABRA CCORAO	PROGRESIVA RELATIVA	CARRIL	LECTURAS DE DEFLEXIÓN EN CAMPO (mm)					ESPESOR DE ASFALTO EN PULGADAS	TEMPERATURA (°C)	OBSERVACIONES
			L ₀	L ₂₅	L ₅₀	L ₁₀₀	L _∞			
1+683 Km	0+000 Km	IZQUIERDO	1.10	1.50	1.68	1.80	1.80	2.5	21.40	
1+783 Km	0+100 Km	DERECHO	1.00	1.41	1.59	1.61	1.61	2.5	21.60	
1+883 Km	0+200 Km	IZQUIERDO	3.30	3.53	3.75	3.78	3.78	2.5	19.90	
1+983 Km	0+300 Km	DERECHO	3.25	3.26	3.49	3.71	3.74	2.5	20.00	
2+083 Km	0+400 Km	IZQUIERDO	2.90	2.95	3.00	3.10	3.15	2.5	20.50	
2+183 Km	0+500 Km	DERECHO	3.00	3.26	3.53	3.64	3.73	2.5	19.00	
2+283 Km	0+600 Km	IZQUIERDO	2.05	2.13	2.24	2.31	2.36	2.5	19.80	
2+383 Km	0+700 Km	DERECHO	3.00	3.20	3.38	3.54	3.61	2.5	20.60	
2+483 Km	0+800 Km	IZQUIERDO	0.80	0.95	1.13	1.25	1.25	2.5	20.20	
2+583 Km	0+900 Km	DERECHO	3.00	3.05	3.15	3.21	3.21	2.5	18.60	
2+683 Km	1+000 Km	IZQUIERDO	1.50	1.60	1.76	1.78	1.80	2.5	22.20	
2+783 Km	1+100 Km	DERECHO	3.00	3.03	3.18	3.33	3.33	2.5	19.10	
2+883 Km	1+200 Km	IZQUIERDO	6.00	6.03	6.05	6.10	6.23	2.5	20.50	
2+983 Km	1+300 Km	DERECHO	3.00	3.59	3.61	3.66	3.74	2.5	19.10	
3+083 Km	1+400 Km	IZQUIERDO	3.00	3.03	3.05	3.25	3.40	2.5	19.60	
3+183 Km	1+500 Km	DERECHO	3.00	3.36	3.53	3.61	3.75	2.5	23.60	
3+283 Km	1+600 Km	IZQUIERDO	2.55	2.61	2.96	3.24	3.25	2.5	17.60	
3+383 Km	1+700 Km	DERECHO	3.00	3.19	3.36	3.46	3.70	2.5	22.60	
3+483 Km	1+800 Km	IZQUIERDO	2.75	2.86	3.16	3.28	3.29	2.5	18.50	
3+583 Km	1+900 Km	DERECHO	3.00	3.43	3.68	3.80	3.81	2.5	17.60	
3+683 Km	2+000 Km	IZQUIERDO	3.00	3.25	3.41	3.44	3.53	2.5	21.60	
3+783 Km	2+100 Km	DERECHO	3.00	3.25	3.38	3.50	3.55	2.5	18.50	

Fuente: Elaboración propia 2019



3.8. Procedimientos de análisis de datos

3.8.1. Cálculo del Índice Medio Diario Anual (IMDA) y los Ejes Equivalentes

Los datos obtenidos del conteo vehicular en las dos estaciones durante los 7 días desde el 03 al 09 de junio del presente año, ubicadas al inicio y al final del tramo de Sector de T'icapata – Comunidad de Pumamarca, de la carretera ENACO – Abra Ccorao, fueron consolidados en Excel para su fácil manejo, estos se adjuntan en el Disco Compacto en el anexo. A continuación, se muestran los resúmenes semanales tanto de la Estación 1 como de la Estación 2.

Tabla 64. Resumen semanal del conteo vehicular en la Estación 1

UNIVERSIDAD:		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO																			
PROYECTO:		ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS ESTIMACIONES DEL PORCENTAJE DE VIDA REMANENTE ÚTIL OBTENIDAS A PARTIR DE UNA EVALUACIÓN FUNCIONAL Y UNA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO TICAPATA - PUMAMARCA EN LA CARRETERA ENACO - ABRA CCORAO																			
TESISTA:		BACH. VLADIMIR BENITO CÁRDENAS																			
RESUMEN SEMANAL - ESTACIÓN 1																					
TRAMO DE LA CARRETERA		SECTOR DE TICAPATA - COMUNIDAD DE PUMAMARCA														ESTACIÓN		1			
PROGRESIVA		1+683 Km DE LA CARRETERA ENACO - ABRA CCORAO																			
UBICACIÓN		PARADERO TICAPATA - CALLE ARMAVCALLE																			
DÍA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	Veh/día
	PICK UP	PANEL	RURAL Combi	2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3					
LUNES	521	429	318	19	90	5	7	-	166	40	3	-	-	-	5	-	-	-	-	1603	Veh/día
MARTES	497	418	303	17	82	-	3	-	147	24	5	-	-	-	2	-	-	-	-	1498	Veh/día
MIÉRCOLES	513	403	292	14	88	2	4	-	148	26	6	-	-	-	2	-	-	-	-	1498	Veh/día
JUEVES	506	429	307	20	81	-	4	-	160	29	3	-	-	-	4	-	-	-	-	1543	Veh/día
VIERNES	575	487	357	19	95	1	5	-	176	38	10	-	-	-	3	-	-	-	-	1766	Veh/día
SÁBADO	578	487	348	21	94	1	7	-	172	30	9	-	-	-	4	-	-	-	-	1751	Veh/día
DOMINGO	605	508	373	14	97	1	6	-	165	27	9	-	-	-	4	-	-	-	-	1809	Veh/día
PROMEDIO TOTAL	542	452	328	18	90	1	5	0	162	31	6	0	0	0	3	0	0	0	0	1638	Veh/día

ENCUESTADOR : Vladimir, Benito Cárdenas

ASESOR: Ing. Robert Milton, Merino Yépez

Fuente: Elaboración Propia 2019



Tabla 65. Resumen semanal del conteo vehicular en la Estación 2

	UNIVERSIDAD:	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
	PROYECTO:	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS ESTIMACIONES DEL PORCENTAJE DE VIDA REMANENTE ÚTIL OBTENIDAS A PARTIR DE UNA EVALUACIÓN FUNCIONAL Y UNA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO TICAPATA - PUMAMARCA EN LA CARRETERA ENACO - ABRA CCORAO	
	TESISTA:	BACH. VLADIMIR BENITO CÁRDENAS	

RESUMEN SEMANAL - ESTACIÓN 2

TRAMO DE LA CARRETERA	SERTOR DE TICAPATA - COMUNIDAD DE PUMAMARCA	ESTACIÓN	2
PROGRESIVA	3+834 Km DE LA CARRETERA ENACO - ABRA CCORAO		
UBICACIÓN	COMUNIDAD DE PUMAMARCA (SEÑAL INFORMATIVA)		

DÍA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	Veh/día
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
LUNES	511	450	302	14	83	1	5	-	158	32	4	-	-	-	2	-	-	-	-	1562	Veh/día
MARTES	423	359	262	13	71	1	5	-	136	20	3	-	-	-	4	-	-	-	-	1297	Veh/día
MIÉRCOLES	415	348	246	10	68	-	3	-	129	17	4	-	-	-	2	-	-	-	-	1242	Veh/día
JUEVES	450	377	282	12	72	-	4	-	141	19	2	-	-	-	2	-	-	-	-	1361	Veh/día
VIERNES	468	390	293	13	79	1	5	-	149	28	4	-	-	-	2	-	-	-	-	1432	Veh/día
SÁBADO	504	403	291	11	85	-	4	-	150	27	2	-	-	-	2	-	-	-	-	1479	Veh/día
DOMINGO	570	467	347	17	94	1	6	-	155	24	2	-	-	-	5	-	-	-	-	1688	Veh/día
PROMEDIO TOTAL	477	399	289	13	79	1	5	0	145	24	3	0	0	0	3	0	0	0	0	1437	Veh/día

ENCUESTADOR : Mijhail, Benito Cárdenas

ASESOR: Ing. Robert Milton, Merino Yépez

Fuente: Elaboración Propia 2019

De los cuadros indicados en el Marco Teórico se obtienen los Factores de Corrección Estacionales para vehículos ligeros y pesados para cada estación de conteo vehicular. Según el área de influencia, el peaje más cercano al tramo de estudio es el Peaje de Saylla, el cual posee los siguientes factores de corrección:



Tabla 66. Factores de Corrección Estacional (Mes de Junio)

Tipo de Vehículo	Factor
Vehículo Ligero	1.0650
Vehículo Pesado	1.0339

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (1017)

Tabla 67. Corrección por el factor estacional en la Estación 1

UNIVERSIDAD: UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS ESTIMACIONES DEL PORCENTAJE DE VIDA REMANENTE ÚTIL OBTENIDAS A PARTIR DE UNA EVALUACIÓN FUNCIONAL Y UNA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO TICAPATA - PUMAMARCA EN LA CARRETERA ENACO - ABRA CCORAO																		TESISTA: BACH. VLADIMIR BENITO CÁRDENAS		
CORRECCIÓN POR EL FACTOR SEMANAL - ESTACIÓN 1																						
TRAMO DE LA CARRETERA		SERTOR DE TICAPATA - COMUNIDAD DE PUMAMARCA														ESTACIÓN		1				
PROGRESIVA		1+683 Km DE LA CARRETERA ENACO - ABRA CCORAO																				
UBICACIÓN		PARADERO TICAPATA - CALLE ARMA Y CALLE																				
DÍA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	Veh/día	
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3			
PROMEDIO TOTAL	542	452	328	18	90	1	5	0	162	31	6	0	0	0	3	0	0	0	0	1638	Veh/día	
TIPO DE VEHÍCULO	VEHÍCULO LIGERO						VEHÍCULO PESADO															
FACTOR DE CORRECCIÓN	1.0650						1.0339															
PROMEDIO CORREGIDO	577	481	350	19	95	2	5	0	167	32	7	0	0	0	4	0	0	0	0	1738	Veh/día	
NÚMERO DE VEHÍCULOS POR TIPO	1524						215														1738	Veh/día

Fuente: Elaboración Propia 2019



Tabla 68. Corrección por el factor estacional en la Estación 2

	UNIVERSIDAD:	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
	PROYECTO:	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS ESTIMACIONES DEL PORCENTAJE DE VIDA REMANENTE ÚTIL OBTENIDAS A PARTIR DE UNA EVALUACIÓN FUNCIONAL Y UNA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO TICAPATA - PUMAMARCA EN LA CARRETERA ENACO - ABRA CCORAO	
	TESISTA:	BACH. VLADIMIR BENITO CÁRDENAS	

CORRECCIÓN POR EL FACTOR ESTACIONAL - ESTACIÓN 2

TRAMO DE LA CARRETERA	SERTOR DE TICAPATA - COMUNIDAD DE PUMAMARCA	ESTACIÓN	2
PROGRESIVA	3+834 Km DE LA CARRETERA ENACO - ABRA CCORAO		
UBICACIÓN	COMUNIDAD DE PUMAMARCA (SEÑAL INFORMATIVA)		

DÍA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	Veh/día	
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3			
PROMEDIO TOTAL	477	399	289	13	79	1	5	0	145	24	3	0	0	0	3	0	0	0	0	1437	Veh/día	
TIPO DE VEHÍCULO	VEHÍCULO LIGERO						VEHÍCULO PESADO															
FACTOR DE CORRECCIÓN	1.0650						1.0339															
PROMEDIO CORREGIDO	508	425	308	14	84	1	5	0	150	25	3	0	0	0	3	0	0	0	0	1525	Veh/día	
NÚMERO DE VEHÍCULOS POR TIPO	1339						186														1525	Veh/día

Fuente: Elaboración Propia 2019

Obtenemos los 2 Índices Medios Diarios Semanales – IMDS de las dos estaciones. Tomaremos el promedio de ambos Índices para calcular el Índice Medio Diario Anual (IMDA).



Tabla 69. Promedio de Índice Medio Diario Semanal en las estaciones

	UNIVERSIDAD:	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
	PROYECTO:	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS ESTIMACIONES DEL PORCENTAJE DE VIDA REMANENTE ÚTIL OBTENIDAS A PARTIR DE UNA EVALUACIÓN FUNCIONAL Y UNA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO TICAPATA - PUMAMARCA EN LA CARRETERA ENACO - ABRA CCORAO	
	TESISTA:	BACH. VLADIMIR BENITO CÁRDENAS	

PROMEDIO DE ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL

TRAMO DE LA CARRETERA	SERTOR DE TICAPATA - COMUNIDAD DE PUMAMARCA	ESTACIÓN	1 y 2
-----------------------	---------------------------------------------	----------	-------

DÍA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	Veh/día
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
PROMEDIO CORREGIDO ESTACIÓN 1	577	481	350	19	95	2	5	0	167	32	7	0	0	0	4	0	0	0	0	1738	Veh/día
PROMEDIO CORREGIDO ESTACIÓN 2	508	425	308	14	84	1	5	0	150	25	3	0	0	0	3	0	0	0	0	1525	Veh/día
ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL UTILIZADO	543	453	329	16	90	1	5	0	159	28	5	0	0	0	3	0	0	0	0	1632	Veh/día

Fuente: Elaboración Propia 2019

Por lo tanto, el Índice Medio Diario Anual – IMDA, del tramo de la carretera Sector T'icapata – Comunidad de Pumamarca de la carretera ENACO – Abra Ccorao, es de 1632 vehículos por día; de los cuales el 87.73 % son vehículos ligeros y el 12.30 % son vehículos de carga o pesados.



3.8.2. Estimación del porcentaje de vida remanente útil a partir una evaluación funcional con nivel topográfico en el pavimento flexible del tramo Sector T'icapata – CC de Pumamarca, de carretera ENACO – Abra Ccorao

a) Procesamiento o cálculos de la prueba

Los datos obtenidos con la aplicación Nivelación Topográfica en formato CSV y posteriormente adaptados al formato N° 6 de recolección de datos, indicado en los instrumentos metodológicos de la presente investigación. Los errores de cierre en cada nivelación cerrada deben de ser compensados con el formato N° 7.

La tolerancia en el error de cierre de cada nivelación fue de 15 mm, la cual hallada fue hallada por la siguiente forma:

$$T_n = m\sqrt{k} = 15 * \sqrt{1} = 15 \text{ mm}$$

Donde m=se consideró un valor de 15 mm (se recomienda un valor que varía entre 12 y 15 mm para nivelaciones de tercer orden)

k=aproximadamente en todos los tramos de nivelación es de 1 km, excepto en el último tramo fue de 0.3 km.

La compensación que se realizó para cada tramo de nivelación, se realizó por el método de distribución del error según el número estaciones de cambio.

$$C = -\frac{E_n}{N}$$

Donde C es la altura a compensar en cada punto de cambio, E_n es el error de cada tramo de nivelación cerrada, N es el número de estaciones de cambio que realizó en el proceso de la nivelación cerrada.

A continuación, se muestran los errores compensados en cada tramo:



Tabla 70. Errores a compensar por tramo de nivelación

Tramos	Error a compensar
0 – 510 km	-0.012 m
510 – 1115 km	+0.012 m
1525 - 1525 km	+0.011 m
1525 – 2015 km	-0.007 m
2015 – 2151 km	-0.002 m

Fuente: Elaboración propia 2019

b) Diagramas, tablas junto a sus interpretaciones.

A continuación, se presenta dicha compensación de cotas, distribuyendo el error en los puntos de cambio de la nivelación; de los 100 metros del carril de izquierdo de descendente, en el sentido, Comunidad de Pumamarca hacia el Sector de T'icapata, el consolidado se adjunta en el disco compacto en el anexo de la presente investigación.

Tabla 71. Datos compensados de la nivelación cerrada en evaluación estructural del pavimento flexible del tramo en estudio

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS ESTIMACIONES DEL PORCENTAJE DE VIDA REMANENTE ÚTIL OBTENIDAS A PARTIR DE UNA EVALUACIÓN FUNCIONAL Y UNA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO TICAPATA - PUMAMARCA EN LA CARRETERA ENACO - ABRA CCORAO										TRABAJO DE CAMPO : LIBRETA DE CAMPO DE LA NIVELACIÓN CERRADA		
DEPARTAMENTO :	CUSCO	DATOS DE PUNTOS DE CONTROL REFERENCIALES TOMADOS CON GPS DIFERENCIAL TRIMBLE:												
PROVINCIA :	CUSCO	DESCRIPCIÓN:	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN	UBICACIÓN								
DISTRITO :	SAN SEBASTIÁN	PUNTO DE CONTROL 1	8503698.925	185221.456	3452.636	SECTOR DE TICAPATA								
LUGAR:	SECTOR TICAPATA - COMUNIDAD DE PUMAMARCA	PUNTO DE CONTROL 2	8503802.728	185192.76	3455.949	SECTOR DE TICAPATA								
DÍA:	1	PUNTO DE CONTROL 3	8505062.327	183962.785	3557.868	COMUNIDAD DE PUMAMARCA								
FECHA:	23/08/2019													
TESISTA:	BACH. VLADIMIR BENITO CÁRDENAS	PROGRESIVA DE INICIO											0+000 Km	
PRECISIÓN DE NIVEL:	0.002 m o 2 mm	PROGRESIVA FINAL											0+510 Km	
TIPO DE MEDICIÓN:	EVALUACIÓN CLASE II													
PUNTO VISADO	DISTANCIA (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	VISTA ATRÁS	ALTURA INSTRUMENTAL	VISTA INTERMEDIA	VISTA ADELANTE	COTA TERRENO CALCULADAS	CARRIL	SENTIDO DE LA NIVELACIÓN	ALTURA A COMPENSAR	ALTURA INSTRUMENTAL CORREGIDA	COTA TERRENO COMPENSADA	OBSERVACIÓN	
P.C. 3			1.299	3559.167			3557.8680				3559.167	3557.8680	COMUNIDAD DE PUMAMARCA	
1	0.00	0.00			1.436		3557.731	IZQUIERDO	IDA			3557.731		
2	0.50	0.50			1.437		3557.730	IZQUIERDO	IDA			3557.730		
3	0.50	1.00			1.438		3557.729	IZQUIERDO	IDA			3557.729		

Continúa...



PUNTO VISADO	DISTANCIA (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	VISTA ATRÁS	ALTURA INSTRUMENTAL	VISTA INTERMEDIA	VISTA ADELANTE	COTA TERRENO CALCULADAS	CARRIL	SENTIDO DE LA NIVELACIÓN	ALTURA A COMPENSAR	ALTURA INSTRUMENTAL CORREGIDA	COTA TERRENO COMPENSADA
4	0.50	1.50			1.447		3557.720	IZQUIERDO	IDA			3557.720
5	0.50	2.00			1.457		3557.710	IZQUIERDO	IDA			3557.710
6	0.50	2.50			1.468		3557.699	IZQUIERDO	IDA			3557.699
7	0.50	3.00			1.480		3557.687	IZQUIERDO	IDA			3557.687
8	0.50	3.50			1.491		3557.676	IZQUIERDO	IDA			3557.676
9	0.50	4.00			1.501		3557.666	IZQUIERDO	IDA			3557.666
10	0.50	4.50			1.514		3557.653	IZQUIERDO	IDA			3557.653
11	0.50	5.00			1.525		3557.642	IZQUIERDO	IDA			3557.642
12	0.50	5.50			1.535		3557.632	IZQUIERDO	IDA			3557.632
13	0.50	6.00			1.543		3557.624	IZQUIERDO	IDA			3557.624
14	0.50	6.50			1.553		3557.614	IZQUIERDO	IDA			3557.614
15	0.50	7.00			1.560		3557.607	IZQUIERDO	IDA			3557.607
16	0.50	7.50			1.567		3557.600	IZQUIERDO	IDA			3557.600
17	0.50	8.00			1.575		3557.592	IZQUIERDO	IDA			3557.592
18	0.50	8.50			1.579		3557.588	IZQUIERDO	IDA			3557.588
19	0.50	9.00			1.587		3557.580	IZQUIERDO	IDA			3557.580
20	0.50	9.50			1.597		3557.570	IZQUIERDO	IDA			3557.570
21	0.50	10.00			1.605		3557.562	IZQUIERDO	IDA			3557.562
22	0.50	10.50			1.613		3557.554	IZQUIERDO	IDA			3557.554
23	0.50	11.00			1.631		3557.536	IZQUIERDO	IDA			3557.536
24	0.50	11.50			1.640		3557.527	IZQUIERDO	IDA			3557.527
25	0.50	12.00			1.649		3557.518	IZQUIERDO	IDA			3557.518
26	0.50	12.50			1.656		3557.511	IZQUIERDO	IDA			3557.511
27	0.50	13.00			1.665		3557.502	IZQUIERDO	IDA			3557.502
28	0.50	13.50			1.674		3557.493	IZQUIERDO	IDA			3557.493
29	0.50	14.00			1.681		3557.486	IZQUIERDO	IDA			3557.486
30	0.50	14.50			1.690		3557.477	IZQUIERDO	IDA			3557.477
31	0.50	15.00			1.696		3557.471	IZQUIERDO	IDA			3557.471
32	0.50	15.50			1.706		3557.461	IZQUIERDO	IDA			3557.461
33	0.50	16.00			1.715		3557.452	IZQUIERDO	IDA			3557.452
34	0.50	16.50			1.724		3557.443	IZQUIERDO	IDA			3557.443
35	0.50	17.00			1.731		3557.436	IZQUIERDO	IDA			3557.436
36	0.50	17.50			1.740		3557.427	IZQUIERDO	IDA			3557.427
37	0.50	18.00			1.749		3557.418	IZQUIERDO	IDA			3557.418
38	0.50	18.50			1.757		3557.410	IZQUIERDO	IDA			3557.410
39	0.50	19.00			1.767		3557.400	IZQUIERDO	IDA			3557.400
40	0.50	19.50			1.778		3557.389	IZQUIERDO	IDA			3557.389
41	0.50	20.00			1.808		3557.359	IZQUIERDO	IDA			3557.359

Continúa...



PUNTO VISADO	DISTANCIA (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	VISTA ATRÁS	ALTURA INSTRUMENTAL	VISTA INTERMEDIA	VISTA ADELANTE	COTA TERRENO CALCULADAS	CARRIL	SENTIDO DE LA NIVELACIÓN	ALTURA A COMPENSAR	ALTURA INSTRUMENTAL CORREGIDA	COTA TERRENO COMPENSADA	OBSERVACIÓN
42	0.50	20.50			1.796		3557.371	IZQUIERDO	IDA			3557.371	
43	0.50	21.00			1.809		3557.358	IZQUIERDO	IDA			3557.358	
44	0.50	21.50			1.816		3557.351	IZQUIERDO	IDA			3557.351	
45	0.50	22.00			1.827		3557.340	IZQUIERDO	IDA			3557.340	
46	0.50	22.50			1.839		3557.328	IZQUIERDO	IDA			3557.328	
47	0.50	23.00			1.848		3557.319	IZQUIERDO	IDA			3557.319	
48	0.50	23.50			1.858		3557.309	IZQUIERDO	IDA			3557.309	
49	0.50	24.00			1.865		3557.302	IZQUIERDO	IDA			3557.302	
50	0.50	24.50			1.873		3557.294	IZQUIERDO	IDA			3557.294	
51	0.50	25.00	1.214	3558.502		1.879	3557.288	IZQUIERDO	IDA	0.000631579	3558.501	3557.287	
52	0.50	25.50			1.224		3557.278	IZQUIERDO	IDA			3557.277	
53	0.50	26.00			1.234		3557.268	IZQUIERDO	IDA			3557.267	
54	0.50	26.50			1.242		3557.260	IZQUIERDO	IDA			3557.259	
55	0.50	27.00			1.249		3557.253	IZQUIERDO	IDA			3557.252	
56	0.50	27.50			1.254		3557.248	IZQUIERDO	IDA			3557.247	
57	0.50	28.00			1.260		3557.242	IZQUIERDO	IDA			3557.241	
58	0.50	28.50			1.268		3557.234	IZQUIERDO	IDA			3557.233	
59	0.50	29.00			1.273		3557.229	IZQUIERDO	IDA			3557.228	
60	0.50	29.50			1.279		3557.223	IZQUIERDO	IDA			3557.222	
61	0.50	30.00			1.286		3557.216	IZQUIERDO	IDA			3557.215	
62	0.50	30.50			1.292		3557.210	IZQUIERDO	IDA			3557.209	
63	0.50	31.00			1.299		3557.203	IZQUIERDO	IDA			3557.202	
64	0.50	31.50			1.309		3557.193	IZQUIERDO	IDA			3557.192	
65	0.50	32.00			1.317		3557.185	IZQUIERDO	IDA			3557.184	
66	0.50	32.50			1.324		3557.178	IZQUIERDO	IDA			3557.177	
67	0.50	33.00			1.329		3557.173	IZQUIERDO	IDA			3557.172	
68	0.50	33.50			1.335		3557.167	IZQUIERDO	IDA			3557.166	
69	0.50	34.00			1.342		3557.160	IZQUIERDO	IDA			3557.159	
70	0.50	34.50			1.347		3557.155	IZQUIERDO	IDA			3557.154	
71	0.50	35.00			1.350		3557.152	IZQUIERDO	IDA			3557.151	
72	0.50	35.50			1.355		3557.147	IZQUIERDO	IDA			3557.146	
73	0.50	36.00			1.361		3557.141	IZQUIERDO	IDA			3557.140	
74	0.50	36.50			1.366		3557.136	IZQUIERDO	IDA			3557.135	
75	0.50	37.00			1.371		3557.131	IZQUIERDO	IDA			3557.130	
76	0.50	37.50			1.376		3557.126	IZQUIERDO	IDA			3557.125	
77	0.50	38.00			1.382		3557.120	IZQUIERDO	IDA			3557.119	
78	0.50	38.50			1.389		3557.113	IZQUIERDO	IDA			3557.112	
79	0.50	39.00			1.396		3557.106	IZQUIERDO	IDA			3557.105	
80	0.50	39.50			1.403		3557.099	IZQUIERDO	IDA			3557.098	
81	0.50	40.00			1.409		3557.093	IZQUIERDO	IDA			3557.092	

Continúa...



PUNTO VISADO	DISTANCIA (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	VISTA ATRÁS	ALTURA INSTRUMENTAL	VISTA INTERMEDIA	VISTA ADELANTE	COTA TERRENO CALCULADAS	CARRIL	SENTIDO DE LA NIVELACIÓN	ALTURA A COMPENSAR	ALTURA INSTRUMENTAL CORREGIDA	COTA TERRENO COMPENSADA	OBSERVACIÓN
82	0.50	40.50			1.416		3557.086	IZQUIERDO	IDA			3557.085	
83	0.50	41.00			1.423		3557.079	IZQUIERDO	IDA			3557.078	
84	0.50	41.50			1.431		3557.071	IZQUIERDO	IDA			3557.070	
85	0.50	42.00			1.440		3557.062	IZQUIERDO	IDA			3557.061	
86	0.50	42.50			1.447		3557.055	IZQUIERDO	IDA			3557.054	
87	0.50	43.00			1.455		3557.047	IZQUIERDO	IDA			3557.046	
88	0.50	43.50			1.464		3557.038	IZQUIERDO	IDA			3557.037	
89	0.50	44.00			1.472		3557.030	IZQUIERDO	IDA			3557.029	
90	0.50	44.50			1.480		3557.022	IZQUIERDO	IDA			3557.021	
91	0.50	45.00			1.489		3557.013	IZQUIERDO	IDA			3557.012	
92	0.50	45.50			1.496		3557.006	IZQUIERDO	IDA			3557.005	
93	0.50	46.00			1.505		3556.997	IZQUIERDO	IDA			3556.996	
94	0.50	46.50			1.512		3556.990	IZQUIERDO	IDA			3556.989	
95	0.50	47.00			1.520		3556.982	IZQUIERDO	IDA			3556.981	
96	0.50	47.50			1.525		3556.977	IZQUIERDO	IDA			3556.976	
97	0.50	48.00			1.534		3556.968	IZQUIERDO	IDA			3556.967	
98	0.50	48.50			1.540		3556.962	IZQUIERDO	IDA			3556.961	
99	0.50	49.00			1.549		3556.953	IZQUIERDO	IDA			3556.952	
100	0.50	49.50			1.555		3556.947	IZQUIERDO	IDA			3556.946	
101	0.50	50.00			1.565		3556.937	IZQUIERDO	IDA			3556.936	
102	0.50	50.50			1.571		3556.931	IZQUIERDO	IDA			3556.930	
103	0.50	51.00			1.580		3556.922	IZQUIERDO	IDA			3556.921	
104	0.50	51.50			1.585		3556.917	IZQUIERDO	IDA			3556.916	
105	0.50	52.00			1.593		3556.909	IZQUIERDO	IDA			3556.908	
106	0.50	52.50			1.600		3556.902	IZQUIERDO	IDA			3556.901	
107	0.50	53.00			1.607		3556.895	IZQUIERDO	IDA			3556.894	
108	0.50	53.50			1.615		3556.887	IZQUIERDO	IDA			3556.886	
109	0.50	54.00			1.623		3556.879	IZQUIERDO	IDA			3556.878	
110	0.50	54.50			1.626		3556.876	IZQUIERDO	IDA			3556.875	
111	0.50	55.00			1.633		3556.869	IZQUIERDO	IDA			3556.868	
112	0.50	55.50			1.638		3556.864	IZQUIERDO	IDA			3556.863	
113	0.50	56.00			1.644		3556.858	IZQUIERDO	IDA			3556.857	
114	0.50	56.50			1.648		3556.854	IZQUIERDO	IDA			3556.853	
115	0.50	57.00			1.653		3556.849	IZQUIERDO	IDA			3556.848	
116	0.50	57.50			1.657		3556.845	IZQUIERDO	IDA			3556.844	
117	0.50	58.00			1.663		3556.839	IZQUIERDO	IDA			3556.838	
118	0.50	58.50			1.668		3556.834	IZQUIERDO	IDA			3556.833	
119	0.50	59.00			1.703		3556.799	IZQUIERDO	IDA			3556.798	
120	0.50	59.50			1.679		3556.823	IZQUIERDO	IDA			3556.822	
121	0.50	60.00			1.685		3556.817	IZQUIERDO	IDA			3556.816	

Continúa...



PUNTO VISADO	DISTANCIA (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	VISTA ATRÁS	ALTURA INSTRUMENTAL	VISTA INTERMEDIA	VISTA ADELANTE	COTA TERRENO CALCULADAS	CARRIL	SENTIDO DE LA NIVELACIÓN	ALTURA A COMPENSAR	ALTURA INSTRUMENTAL CORREGIDA	COTA TERRENO COMPENSADA	OBSERVACIÓN
122	0.50	60.50			1.690		3556.812	IZQUIERDO	IDA			3556.811	
123	0.50	61.00			1.693		3556.809	IZQUIERDO	IDA			3556.808	
124	0.50	61.50			1.697		3556.805	IZQUIERDO	IDA			3556.804	
125	0.50	62.00			1.702		3556.800	IZQUIERDO	IDA			3556.799	
126	0.50	62.50			1.707		3556.795	IZQUIERDO	IDA			3556.794	
127	0.50	63.00			1.713		3556.789	IZQUIERDO	IDA			3556.788	
128	0.50	63.50			1.720		3556.782	IZQUIERDO	IDA			3556.781	
129	0.50	64.00			1.725		3556.777	IZQUIERDO	IDA			3556.776	
130	0.50	64.50			1.730		3556.772	IZQUIERDO	IDA			3556.771	
131	0.50	65.00			1.738		3556.764	IZQUIERDO	IDA			3556.763	
132	0.50	65.50			1.740		3556.762	IZQUIERDO	IDA			3556.761	
133	0.25	65.75	1.088	3557.847		1.743	3556.759	IZQUIERDO	IDA	0.001263158	3557.846	3556.758	
134	0.25	66.00			1.093		3556.754	IZQUIERDO	IDA			3556.753	
135	0.50	66.50			1.130		3556.717	IZQUIERDO	IDA			3556.716	
136	0.50	67.00			1.110		3556.737	IZQUIERDO	IDA			3556.736	
137	0.50	67.50			1.119		3556.728	IZQUIERDO	IDA			3556.727	
138	0.50	68.00			1.123		3556.724	IZQUIERDO	IDA			3556.723	
139	0.50	68.50			1.129		3556.718	IZQUIERDO	IDA			3556.717	
140	0.50	69.00			1.136		3556.711	IZQUIERDO	IDA			3556.710	
141	0.50	69.50			1.145		3556.702	IZQUIERDO	IDA			3556.701	
142	0.50	70.00			1.150		3556.697	IZQUIERDO	IDA			3556.696	
143	0.50	70.50			1.155		3556.692	IZQUIERDO	IDA			3556.691	
144	0.50	71.00			1.163		3556.684	IZQUIERDO	IDA			3556.683	
145	0.50	71.50			1.167		3556.680	IZQUIERDO	IDA			3556.679	
146	0.50	72.00			1.172		3556.675	IZQUIERDO	IDA			3556.674	
147	0.50	72.50			1.180		3556.667	IZQUIERDO	IDA			3556.666	
148	0.50	73.00			1.185		3556.662	IZQUIERDO	IDA			3556.661	
149	0.50	73.50			1.192		3556.655	IZQUIERDO	IDA			3556.654	
150	0.50	74.00			1.198		3556.649	IZQUIERDO	IDA			3556.648	
151	0.50	74.50			1.203		3556.644	IZQUIERDO	IDA			3556.643	
152	0.50	75.00			1.210		3556.637	IZQUIERDO	IDA			3556.636	
153	0.50	75.50			1.216		3556.631	IZQUIERDO	IDA			3556.630	
154	0.50	76.00			1.223		3556.624	IZQUIERDO	IDA			3556.623	
155	0.50	76.50			1.228		3556.619	IZQUIERDO	IDA			3556.618	
156	0.50	77.00			1.233		3556.614	IZQUIERDO	IDA			3556.613	
157	0.50	77.50			1.238		3556.609	IZQUIERDO	IDA			3556.608	
158	0.50	78.00			1.243		3556.604	IZQUIERDO	IDA			3556.603	
159	0.50	78.50			1.249		3556.598	IZQUIERDO	IDA			3556.597	
160	0.50	79.00			1.254		3556.593	IZQUIERDO	IDA			3556.592	
161	0.50	79.50			1.259		3556.588	IZQUIERDO	IDA			3556.587	
162	0.50	80.00			1.262		3556.585	IZQUIERDO	IDA			3556.584	

Continúa...



PUNTO VISADO	DISTANCIA (m)	DISTANCIA ACUMULADA (m)	VISTA ATRÁS	ALTURA INSTRUMENTAL	VISTA INTERMEDIA	VISTA ADELANTE	COTA TERRENO CALCULADAS	CARRIL	SENTIDO DE LA NIVELACIÓN	ALTURA A COMPENSAR	ALTURA INSTRUMENTAL CORREGIDA	COTA TERRENO COMPENSADA
163	0.50	80.50			1.269		3556.578	IZQUIERDO	IDA			3556.577
164	0.50	81.00			1.275		3556.572	IZQUIERDO	IDA			3556.571
165	0.50	81.50			1.281		3556.566	IZQUIERDO	IDA			3556.565
166	0.50	82.00			1.287		3556.560	IZQUIERDO	IDA			3556.559
167	0.50	82.50			1.293		3556.554	IZQUIERDO	IDA			3556.553
168	0.50	83.00			1.296		3556.551	IZQUIERDO	IDA			3556.550
169	0.50	83.50			1.300		3556.547	IZQUIERDO	IDA			3556.546
170	0.50	84.00			1.306		3556.541	IZQUIERDO	IDA			3556.540
171	0.50	84.50			1.309		3556.538	IZQUIERDO	IDA			3556.537
172	0.50	85.00			1.314		3556.533	IZQUIERDO	IDA			3556.532
173	0.50	85.50			1.319		3556.528	IZQUIERDO	IDA			3556.527
174	0.50	86.00			1.325		3556.522	IZQUIERDO	IDA			3556.521
175	0.50	86.50			1.332		3556.515	IZQUIERDO	IDA			3556.514
176	0.50	87.00			1.346		3556.501	IZQUIERDO	IDA			3556.500
177	0.50	87.50			1.342		3556.505	IZQUIERDO	IDA			3556.504
178	0.50	88.00			1.348		3556.499	IZQUIERDO	IDA			3556.498
179	0.50	88.50			1.354		3556.493	IZQUIERDO	IDA			3556.492
180	0.50	89.00			1.360		3556.487	IZQUIERDO	IDA			3556.486
181	0.50	89.50			1.365		3556.482	IZQUIERDO	IDA			3556.481
182	0.50	90.00			1.372		3556.475	IZQUIERDO	IDA			3556.474
183	0.50	90.50			1.377		3556.470	IZQUIERDO	IDA			3556.469
184	0.50	91.00			1.385		3556.462	IZQUIERDO	IDA			3556.461
185	0.50	91.50			1.392		3556.455	IZQUIERDO	IDA			3556.454
186	0.50	92.00			1.398		3556.449	IZQUIERDO	IDA			3556.448
187	0.50	92.50			1.404		3556.443	IZQUIERDO	IDA			3556.442
188	0.50	93.00			1.415		3556.432	IZQUIERDO	IDA			3556.431
189	0.50	93.50			1.417		3556.430	IZQUIERDO	IDA			3556.429
190	0.50	94.00			1.425		3556.422	IZQUIERDO	IDA			3556.421
191	0.50	94.50			1.432		3556.415	IZQUIERDO	IDA			3556.414
192	0.50	95.00			1.439		3556.408	IZQUIERDO	IDA			3556.407
193	0.50	95.50			1.445		3556.402	IZQUIERDO	IDA			3556.401
194	0.50	96.00			1.449		3556.398	IZQUIERDO	IDA			3556.397
195	0.50	96.50			1.455		3556.392	IZQUIERDO	IDA			3556.391
196	0.50	97.00			1.459		3556.388	IZQUIERDO	IDA			3556.387
197	0.50	97.50			1.466		3556.381	IZQUIERDO	IDA			3556.380
198	0.50	98.00			1.473		3556.374	IZQUIERDO	IDA			3556.373
199	0.50	98.50			1.478		3556.369	IZQUIERDO	IDA			3556.368
200	0.50	99.00			1.485		3556.362	IZQUIERDO	IDA			3556.361
201	0.50	99.50			1.489		3556.358	IZQUIERDO	IDA			3556.357
202	0.50	100.00			1.494		3556.353	IZQUIERDO	IDA			3556.352

Fuente: Elaboración propia 2019



Las cotas del terreno compensadas cada 0.50 m son los datos de entrada que se requieren para el cálculo del IRI por el método de Mira y Nivel.

El software ProVAL nos permite hallar el Índice de Rugosidad Internacional - IRI, para ello, se debe de elaborar un archivo en formato ERD, de la forma en que se expuso en el marco teórico de la presente investigación.

A continuación, se muestran las primeras cotas topográficas de las primeras progresivas que fueron adaptadas al formato ERD, en el formato N°7, el compilado total se adjunta en el disco compacto en el anexo.

Tabla 72. Cotas compensadas en la nivelación, llevadas a formato ERD

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
		TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS ESTIMACIONES DEL PORCENTAJE DE VIDA REMANENTE ÚTIL OBTENIDAS A PARTIR DE UNA EVALUACIÓN FUNCIONAL Y UNA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO TICAPATA - PUMAMARCA EN LA CARRETERA ENACO - ABRA CCORAO				
		TRABAJO DE CAMPO : COTAS EN FORMATO ERD				
DEPARTAMENTO :	CUSCO			POGRESIVA INICIAL:	3+834 km	
PROVINCIA :	CUSCO			PROGRESIVA FINAL:	1+683 Km	
DISTRITO :	SAN SEBASTIÁN			TESISTA:	BACH. VLADIMIR BENITO CÁRDENAS	
LUGAR:	SECTOR TICAPATA - COMUNIDAD DE PUMAMARCA			SENTIDO DEL PERFIL :	Comunidad de Pumamarca hacia Sector Ticapata	
PROGRESIVA (Km)	CARRIL	COTAS POR EL NIVEL TOPOGRÁFICO	CONVERSIÓN PRELIMINAR	COTAS EN FORMATO ERD		
3 + 834.0 Km	IZQUIERDO	3557.731	3557731	3557731.00000		
3 + 833.50 Km	IZQUIERDO	3557.730	3557730	3557730.00000		
3 + 833.0 Km	IZQUIERDO	3557.729	3557729	3557729.00000		
3 + 832.50 Km	IZQUIERDO	3557.720	3557720	3557720.00000		
3 + 832.0 Km	IZQUIERDO	3557.710	3557710	3557710.00000		
3 + 831.50 Km	IZQUIERDO	3557.699	3557699	3557699.00000		
3 + 831.0 Km	IZQUIERDO	3557.687	3557687	3557687.00000		
3 + 830.50 Km	IZQUIERDO	3557.676	3557676	3557676.00000		
3 + 830.0 Km	IZQUIERDO	3557.666	3557666	3557666.00000		
3 + 829.50 Km	IZQUIERDO	3557.653	3557653	3557653.00000		
3 + 829.0 Km	IZQUIERDO	3557.642	3557642	3557642.00000		
3 + 828.50 Km	IZQUIERDO	3557.632	3557632	3557632.00000		
3 + 828.0 Km	IZQUIERDO	3557.624	3557624	3557624.00000		
3 + 827.50 Km	IZQUIERDO	3557.614	3557614	3557614.00000		
3 + 827.0 Km	IZQUIERDO	3557.607	3557607	3557607.00000		
3 + 826.50 Km	IZQUIERDO	3557.600	3557600	3557600.00000		

Fuente: Elaboración propia 2019 basado Montoya Goicochea (Tesis de Maestría, 2013)



El software lee generalmente archivos del tipo “Pavement Profile” cuya extensión es “.ppf”, pero también puede leer archivos del tipo “ERD” cuya extensión es “.erd”. Se debe crear un archivo visualizándolo con el programa Block de Notas.

```
Tesis Ticapata_Pumamarca.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
ERDFILEv2.00
1, 4303, 4303, 1, 5, 0.50000,-1,
TITLE TICAPUMA
SHORTNAMElev.
UNITSNAMmm
XLABEL Distance
XUNITS m
DATE saturday, 19 October 2019 at 20:22
PROFINSTSSI Static Level Method
HIGHPASSNone
LOWPASS None
ANMLYFLTtrue
OPERATOREnsayo
PROJID 001
COUNTY Cusco
STATE PE
WEATHER Huella externa
SECNOTESHuella externa
END
3557731.00000
3557730.00000
3557729.00000
3557720.00000
3557710.00000
3557699.00000
3557687.00000
3557676.00000
3557666.00000
3557653.00000
3557642.00000
3557632.00000
3557624.00000
3557614.00000
3557607.00000
3557600.00000
3557592.00000
3557588.00000
3557580.00000
Windows (CRL) Línea 47, color: 100%
```

Figura 111. Archivo ERD para hallar el IRI visualizado en Archivo de Texto. Fuente: Elaboración en función de Montoya Goicochea (Tesis de Maestría, 2013)

Una vez que ingresamos los archivos tanto de las huellas externas, tomadas del carril de descendente y el de ascendente. El software ProVAL importa las cotas que tomamos en los ensayos de evaluación funcional del pavimento flexible con Mira y Nivel, los analiza y proporciona los siguientes gráficos y cuadros:



Figura 112. Perfil topográfico del carril de izquierdo descendente y derecho de ascendente, con un intervalo de 0.50 m, en el pavimento flexible del tramo del Sector T'icapata – CC Pumamarca, de la carretera ENACO-Abra Ccorao. Fuente: ProVAL 3.61.30



Es importante recalcar que en el análisis del Índice de Rugosidad Internacional - IRI, el modelo matemático realiza un filtro de una distancia de 250 mm, ya que es la longitud estándar de contacto entre las llantas y el pavimento.

Tesis Ticapata - Pumamarca

Analysis: Ride Quality

Inputs

Selections

File	Profile	Section	Apply 250mm Filter
Huella externa carril derecho de subida	Profile 1	Full	Yes
Huella externa carril izquierdo de bajada	Profile 1	Full	Yes

Leave-outs

Results

File	Profile	IRI (m/km)
Huella externa carril derecho de subida	Profile 1	5.184
Huella externa carril izquierdo de bajada	Profile 1	4.007

Figura 113. Reporte del programa PROVAL de los valores de IRI, tanto para el carril izquierdo descendente como para el carril derecho ascendente. Fuente: PROVAL 3.61.30

A continuación, se muestran los valores del Índice de Rugosidad Internacional - IRI de las unidades de muestra en el carril izquierdo descendente con un valor promedio de 4.007:

Tabla 73. Cálculo del IRI por unidad de muestra de 15 m en el carril izquierdo de descendente

Unidad de Muestra	Distancia de Inicio (Km)	Distancia de parada (Km)	Longitud (m)	IRI – (m/Km)
UM-IZQ-1	0.000	0.015	15	5.7
UM-IZQ-2	0.015	0.030	15	5.1
UM-IZQ-3	0.030	0.045	15	2.5
UM-IZQ-4	0.045	0.060	15	4.9
UM-IZQ-5	0.060	0.075	15	6.2
UM-IZQ-6	0.075	0.090	15	2.8
UM-IZQ-7	0.090	0.105	15	2.2

Continúa...



Unidad de Muestra	Distancia de Inicio (Km)	Distancia de parada (Km)	Longitud (m)	IRI – (m/Km)
UM-IZQ-8	0.105	0.120	15	2.5
UM-IZQ-9	0.120	0.135	15	6.5
UM-IZQ-10	0.135	0.150	15	6.0
UM-IZQ-11	0.150	0.165	15	4.0
UM-IZQ-12	0.165	0.180	15	3.5
UM-IZQ-13	0.180	0.195	15	3.9
UM-IZQ-14	0.195	0.210	15	3.5
UM-IZQ-15	0.210	0.225	15	4.2
UM-IZQ-16	0.225	0.240	15	3.0
UM-IZQ-17	0.240	0.255	15	4.2
UM-IZQ-18	0.255	0.270	15	6.0
UM-IZQ-19	0.270	0.285	15	3.8
UM-IZQ-20	0.285	0.300	15	3.5
UM-IZQ-21	0.300	0.315	15	2.4
UM-IZQ-22	0.315	0.330	15	3.3
UM-IZQ-23	0.330	0.345	15	5.3
UM-IZQ-24	0.345	0.360	15	1.8
UM-IZQ-25	0.360	0.375	15	2.8
UM-IZQ-26	0.375	0.390	15	1.4
UM-IZQ-27	0.390	0.405	15	2.1
UM-IZQ-28	0.405	0.420	15	2.4
UM-IZQ-29	0.420	0.435	15	1.7
UM-IZQ-30	0.435	0.450	15	1.5
UM-IZQ-31	0.450	0.465	15	2.0
UM-IZQ-32	0.465	0.480	15	3.1
UM-IZQ-33	0.480	0.495	15	7.8
UM-IZQ-34	0.495	0.510	15	7.7
UM-IZQ-35	0.510	0.525	15	3.4
UM-IZQ-36	0.525	0.540	15	2.7
UM-IZQ-37	0.540	0.555	15	8.0
UM-IZQ-38	0.555	0.570	15	2.4

Continúa...



Unidad de Muestra	Distancia de Inicio (Km)	Distancia de parada (Km)	Longitud (m)	IRI – (m/Km)
UM-IZQ-39	0.570	0.585	15	6.4
UM-IZQ-40	0.585	0.600	15	3.9
UM-IZQ-41	0.600	0.615	15	1.8
UM-IZQ-42	0.615	0.630	15	7.0
UM-IZQ-43	0.630	0.645	15	3.9
UM-IZQ-44	0.645	0.660	15	2.0
UM-IZQ-45	0.660	0.675	15	8.4
UM-IZQ-46	0.675	0.690	15	2.3
UM-IZQ-47	0.690	0.705	15	2.4
UM-IZQ-48	0.705	0.720	15	1.5
UM-IZQ-49	0.720	0.735	15	3.6
UM-IZQ-50	0.735	0.750	15	1.7
UM-IZQ-51	0.750	0.765	15	2.3
UM-IZQ-52	0.765	0.780	15	6.7
UM-IZQ-53	0.780	0.795	15	3.3
UM-IZQ-54	0.795	0.810	15	1.9
UM-IZQ-55	0.810	0.825	15	7.5
UM-IZQ-56	0.825	0.840	15	3.9
UM-IZQ-57	0.840	0.855	15	2.0
UM-IZQ-58	0.855	0.870	15	1.8
UM-IZQ-59	0.870	0.885	15	3.1
UM-IZQ-60	0.885	0.900	15	2.0
UM-IZQ-61	0.900	0.915	15	2.8
UM-IZQ-62	0.915	0.930	15	3.8
UM-IZQ-63	0.930	0.945	15	2.3
UM-IZQ-64	0.945	0.960	15	1.6
UM-IZQ-65	0.960	0.975	15	1.4
UM-IZQ-66	0.975	0.990	15	2.8
UM-IZQ-67	0.990	1.005	15	6.9
UM-IZQ-68	1.005	1.020	15	3.8
UM-IZQ-69	1.020	1.035	15	4.8

Continúa...



Unidad de Muestra	Distancia de Inicio (Km)	Distancia de parada (Km)	Longitud (m)	IRI – (m/Km)
UM-IZQ-70	1.035	1.050	15	8.0
UM-IZQ-71	1.050	1.065	15	6.1
UM-IZQ-72	1.065	1.080	15	15.5
UM-IZQ-73	1.080	1.095	15	24.4
UM-IZQ-74	1.095	1.110	15	5.2
UM-IZQ-75	1.110	1.125	15	4.7
UM-IZQ-76	1.125	1.140	15	2.4
UM-IZQ-77	1.140	1.155	15	3.7
UM-IZQ-78	1.155	1.170	15	1.8
UM-IZQ-79	1.170	1.185	15	2.0
UM-IZQ-80	1.185	1.200	15	30.1
UM-IZQ-81	1.200	1.215	15	18.7
UM-IZQ-82	1.215	1.230	15	5.2
UM-IZQ-83	1.230	1.245	15	3.6
UM-IZQ-84	1.245	1.260	15	2.7
UM-IZQ-85	1.260	1.275	15	3.7
UM-IZQ-86	1.275	1.290	15	2.9
UM-IZQ-87	1.290	1.305	15	1.3
UM-IZQ-88	1.305	1.320	15	2.3
UM-IZQ-89	1.320	1.335	15	1.8
UM-IZQ-90	1.335	1.350	15	1.8
UM-IZQ-91	1.350	1.365	15	2.8
UM-IZQ-92	1.365	1.380	15	2.8
UM-IZQ-93	1.380	1.395	15	2.2
UM-IZQ-94	1.395	1.410	15	2.0
UM-IZQ-95	1.410	1.425	15	4.2
UM-IZQ-96	1.425	1.440	15	4.2
UM-IZQ-97	1.440	1.455	15	3.0
UM-IZQ-98	1.455	1.470	15	2.3
UM-IZQ-99	1.470	1.485	15	1.6
UM-IZQ-100	1.485	1.500	15	1.6

Continúa...



Unidad de Muestra	Distancia de Inicio (Km)	Distancia de parada (Km)	Longitud (m)	IRI – (m/Km)
UM-IZQ-101	1.500	1.515	15	1.7
UM-IZQ-102	1.515	1.530	15	2.1
UM-IZQ-103	1.530	1.545	15	5.1
UM-IZQ-104	1.545	1.560	15	14.8
UM-IZQ-105	1.560	1.575	15	4.3
UM-IZQ-106	1.575	1.590	15	3.9
UM-IZQ-107	1.590	1.605	15	3.1
UM-IZQ-108	1.605	1.620	15	2.6
UM-IZQ-109	1.620	1.635	15	3.3
UM-IZQ-110	1.635	1.650	15	2.3
UM-IZQ-111	1.650	1.665	15	1.6
UM-IZQ-112	1.665	1.680	15	1.9
UM-IZQ-113	1.680	1.695	15	2.0
UM-IZQ-114	1.695	1.710	15	1.5
UM-IZQ-115	1.710	1.725	15	1.6
UM-IZQ-116	1.725	1.740	15	1.5
UM-IZQ-117	1.740	1.755	15	2.0
UM-IZQ-118	1.755	1.770	15	1.7
UM-IZQ-119	1.770	1.785	15	1.8
UM-IZQ-120	1.785	1.800	15	2.4
UM-IZQ-121	1.800	1.815	15	2.9
UM-IZQ-122	1.815	1.830	15	6.2
UM-IZQ-123	1.830	1.845	15	10.2
UM-IZQ-124	1.845	1.860	15	8.5

Continúa...



Unidad de Muestra	Distancia de Inicio (Km)	Distancia de parada (Km)	Longitud (m)	IRI – (m/Km)
UM-IZQ-125	1.860	1.875	15	5.5
UM-IZQ-126	1.875	1.890	15	2.4
UM-IZQ-127	1.890	1.905	15	2.4
UM-IZQ-128	1.905	1.920	15	1.5
UM-IZQ-129	1.920	1.935	15	1.9
UM-IZQ-130	1.935	1.950	15	1.4
UM-IZQ-131	1.950	1.965	15	1.4
UM-IZQ-132	1.965	1.980	15	2.1
UM-IZQ-133	1.980	1.995	15	2.1
UM-IZQ-134	1.995	2.010	15	1.8
UM-IZQ-135	2.010	2.025	15	10.1
UM-IZQ-136	2.025	2.040	15	5.8
UM-IZQ-137	2.040	2.055	15	1.7
UM-IZQ-138	2.055	2.070	15	1.9
UM-IZQ-139	2.070	2.085	15	4.4
UM-IZQ-140	2.085	2.100	15	2.0
UM-IZQ-141	2.100	2.115	15	5.5
UM-IZQ-142	2.115	2.130	15	2.0
UM-IZQ-143	2.130	2.145	15	1.5
UM-IZQ-144	2.145	2.151	5.5	1.6

Fuente: ProVAL 3.61.30

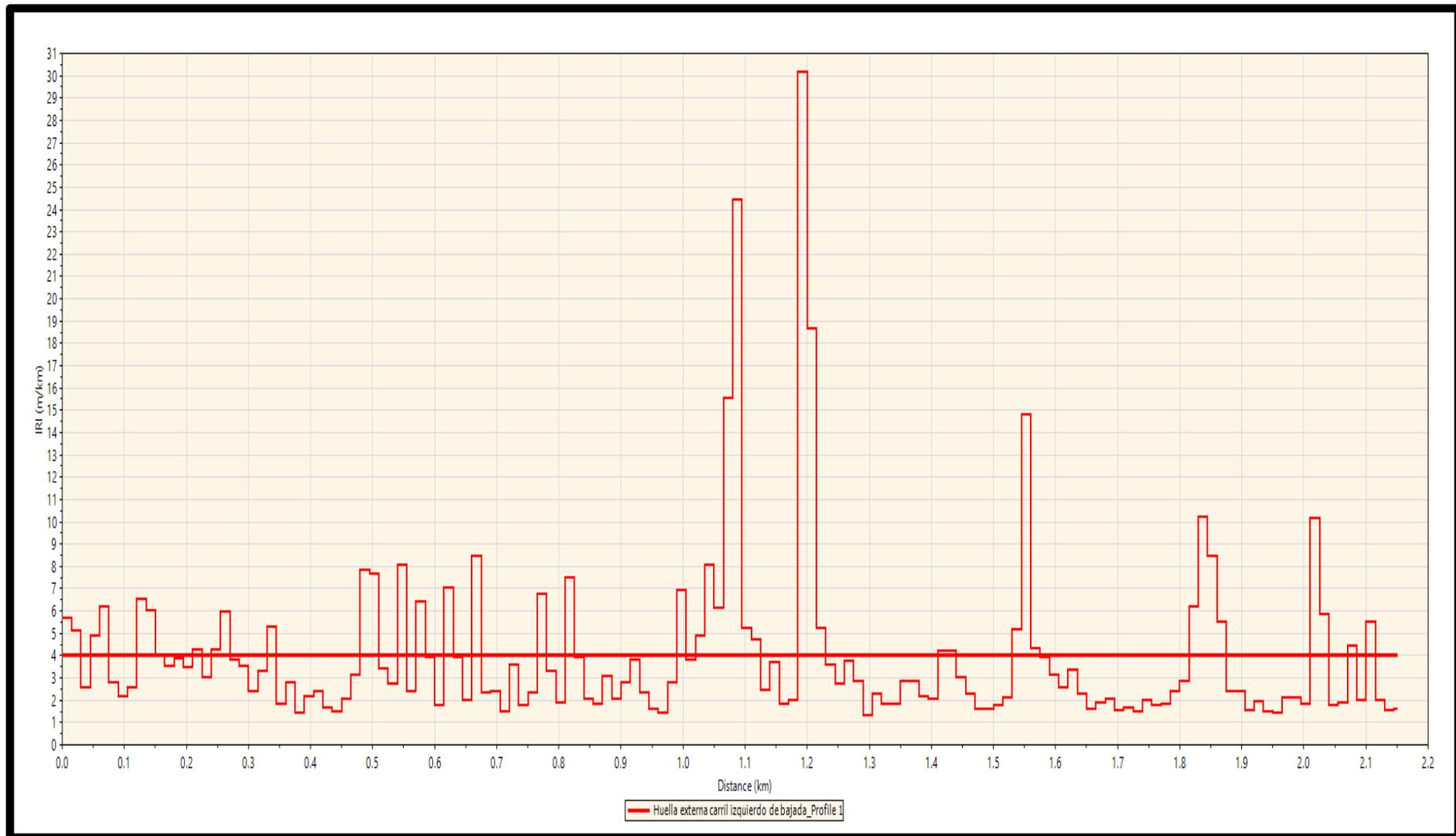


Figura 114. Variación gráfica del IRI en el carril izquierdo de bajada, por unidad de muestra de 15 m. Fuente: ProVAL 3.61.30



Los valores del Índice de Rugosidad Internacinal - IRI estan correlacionados con el Índice de Serviciabilidad Presente - PSI, con fórmula indicada en el marco teórico. El cual nos permite realizar una evaluación en función de la transitabilidad o serviciabilidad en las unidades de muestra en el carril izquierdo de descendente, estos se muestran en el siguiente tabla.

Tabla 74. Calificación según la transitabilidad del carril izquierdo

Unidades de muestra	Valor del IRI	Valor PSI correspondiente	Calificación según la transitabilidad
UM-IZQ-1	5.7	1.8	MALO
UM-IZQ-2	5.1	2.0	MALO
UM-IZQ-3	2.5	3.1	BUENO
UM-IZQ-4	4.9	2.1	REGULAR
UM-IZQ-5	6.2	1.6	MALO
UM-IZQ-6	2.8	3.0	BUENO
UM-IZQ-7	2.2	3.4	BUENO
UM-IZQ-8	2.5	3.2	BUENO
UM-IZQ-9	6.5	1.5	MALO
UM-IZQ-10	6.0	1.7	MALO
UM-IZQ-11	4.0	2.4	REGULAR
UM-IZQ-12	3.5	2.6	REGULAR
UM-IZQ-13	3.9	2.5	REGULAR
UM-IZQ-14	3.5	2.7	REGULAR
UM-IZQ-15	4.2	2.3	REGULAR
UM-IZQ-16	3.0	2.9	REGULAR
UM-IZQ-17	4.2	2.3	REGULAR
UM-IZQ-18	6.0	1.7	MALO
UM-IZQ-19	3.8	2.5	REGULAR

Continúa...



Unidades de muestra	Valor del IRI	Valor PSI correspondiente	Calificación según la transitabilidad
UM-IZQ-20	3.5	2.6	REGULAR
UM-IZQ-21	2.4	3.2	BUENO
UM-IZQ-22	3.3	2.7	REGULAR
UM-IZQ-23	5.3	1.9	MALO
UM-IZQ-24	1.8	3.6	BUENO
UM-IZQ-25	2.8	3.0	BUENO
UM-IZQ-26	1.4	3.9	BUENO
UM-IZQ-27	2.1	3.4	BUENO
UM-IZQ-28	2.4	3.3	BUENO
UM-IZQ-29	1.7	3.7	BUENO
UM-IZQ-30	1.5	3.8	BUENO
UM-IZQ-31	2.0	3.5	BUENO
UM-IZQ-32	3.1	2.8	REGULAR
UM-IZQ-33	7.8	1.2	MALO
UM-IZQ-34	7.7	1.2	MALO
UM-IZQ-35	3.4	2.7	REGULAR
UM-IZQ-36	2.7	3.0	BUENO
UM-IZQ-37	8.0	1.2	MALO
UM-IZQ-38	2.4	3.3	BUENO
UM-IZQ-39	6.4	1.6	MALO
UM-IZQ-40	3.9	2.4	REGULAR
UM-IZQ-41	1.8	3.6	BUENO
UM-IZQ-42	7.0	1.4	MALO
UM-IZQ-43	3.9	2.5	REGULAR
UM-IZQ-44	2.0	3.5	BUENO
UM-IZQ-45	8.4	1.1	MALO

Continúa...



Unidades de muestra	Valor del IRI	Valor PSI correspondiente	Calificación según la transitabilidad
UM-IZQ-46	2.3	3.3	BUENO
UM-IZQ-47	2.4	3.2	BUENO
UM-IZQ-48	1.5	3.8	BUENO
UM-IZQ-49	3.6	2.6	REGULAR
UM-IZQ-50	1.7	3.6	BUENO
UM-IZQ-51	2.3	3.3	BUENO
UM-IZQ-52	6.7	1.5	MALO
UM-IZQ-53	3.3	2.8	REGULAR
UM-IZQ-54	1.9	3.6	BUENO
UM-IZQ-55	7.5	1.3	MALO
UM-IZQ-56	3.9	2.5	REGULAR
UM-IZQ-57	2.0	3.4	BUENO
UM-IZQ-58	1.8	3.6	BUENO
UM-IZQ-59	3.1	2.9	REGULAR
UM-IZQ-60	2.0	3.5	BUENO
UM-IZQ-61	2.8	3.0	BUENO
UM-IZQ-62	3.8	2.5	REGULAR
UM-IZQ-63	2.3	3.3	BUENO
UM-IZQ-64	1.6	3.7	BUENO
UM-IZQ-65	1.4	3.9	BUENO
UM-IZQ-66	2.8	3.0	BUENO
UM-IZQ-67	6.9	1.4	MALO
UM-IZQ-68	3.8	2.5	REGULAR
UM-IZQ-69	4.8	2.1	REGULAR
UM-IZQ-70	8.0	1.2	MALO
UM-IZQ-71	6.1	1.6	MALO

Continúa...



Unidades de muestra	Valor del IRI	Valor PSI correspondiente	Calificación según la transitabilidad
UM-IZQ-72	15.5	0.3	MUY MALO
UM-IZQ-73	24.4	0.1	MUY MALO
UM-IZQ-74	5.2	1.9	MALO
UM-IZQ-75	4.7	2.1	REGULAR
UM-IZQ-76	2.4	3.2	BUENO
UM-IZQ-77	3.7	2.5	REGULAR
UM-IZQ-78	1.8	3.6	BUENO
UM-IZQ-79	2.0	3.5	BUENO
UM-IZQ-80	30.1	0.0	MUY MALO
UM-IZQ-81	18.7	0.2	MUY MALO
UM-IZQ-82	5.2	1.9	MALO
UM-IZQ-83	3.6	2.6	REGULAR
UM-IZQ-84	2.7	3.1	BUENO
UM-IZQ-85	3.7	2.5	REGULAR
UM-IZQ-86	2.9	3.0	REGULAR
UM-IZQ-87	1.3	3.9	BUENO
UM-IZQ-88	2.3	3.3	BUENO
UM-IZQ-89	1.8	3.6	BUENO
UM-IZQ-90	1.8	3.6	BUENO
UM-IZQ-91	2.8	3.0	BUENO
UM-IZQ-92	2.8	3.0	BUENO
UM-IZQ-93	2.2	3.4	BUENO
UM-IZQ-94	2.0	3.5	BUENO
UM-IZQ-95	4.2	2.3	REGULAR
UM-IZQ-96	4.2	2.3	REGULAR
UM-IZQ-97	3.0	2.9	REGULAR

Continúa...



Unidades de muestra	Valor del IRI	Valor PSI correspondiente	Calificación según la transitabilidad
UM-IZQ-98	2.3	3.3	BUENO
UM-IZQ-99	1.6	3.7	BUENO
UM-IZQ-100	1.6	3.8	BUENO
UM-IZQ-101	1.7	3.6	BUENO
UM-IZQ-102	2.1	3.4	BUENO
UM-IZQ-103	5.1	2.0	MALO
UM-IZQ-104	14.8	0.3	MUY MALO
UM-IZQ-105	4.3	2.3	REGULAR
UM-IZQ-106	3.9	2.4	REGULAR
UM-IZQ-107	3.1	2.8	REGULAR
UM-IZQ-108	2.6	3.1	BUENO
UM-IZQ-109	3.3	2.7	REGULAR
UM-IZQ-110	2.3	3.3	BUENO
UM-IZQ-111	1.6	3.8	BUENO
UM-IZQ-112	1.9	3.6	BUENO
UM-IZQ-113	2.0	3.4	BUENO
UM-IZQ-114	1.5	3.8	BUENO
UM-IZQ-115	1.6	3.7	BUENO
UM-IZQ-116	1.5	3.8	BUENO
UM-IZQ-117	2.0	3.5	BUENO
UM-IZQ-118	1.7	3.6	BUENO
UM-IZQ-119	1.8	3.6	BUENO
UM-IZQ-120	2.4	3.2	BUENO
UM-IZQ-121	2.9	3.0	REGULAR
UM-IZQ-122	6.2	1.6	MALO
UM-IZQ-123	10.2	0.8	MUY MALO

Continúa...



Unidades de muestra	Valor del IRI	Valor PSI correspondiente	Calificación según la transitabilidad
UM-IZQ-124	8.5	1.1	MALO
UM-IZQ-125	5.5	1.8	MALO
UM-IZQ-126	2.4	3.2	BUENO
UM-IZQ-127	2.4	3.3	BUENO
UM-IZQ-128	1.5	3.8	BUENO
UM-IZQ-129	1.9	3.5	BUENO
UM-IZQ-130	1.4	3.8	BUENO
UM-IZQ-131	1.4	3.9	BUENO
UM-IZQ-132	2.1	3.4	BUENO
UM-IZQ-133	2.1	3.4	BUENO
UM-IZQ-134	1.8	3.6	BUENO
UM-IZQ-135	10.1	0.8	MUY MALO
UM-IZQ-136	5.8	1.7	MALO
UM-IZQ-137	1.7	3.7	BUENO
UM-IZQ-138	1.9	3.5	BUENO
UM-IZQ-139	4.4	2.2	REGULAR
UM-IZQ-140	2.0	3.5	BUENO
UM-IZQ-141	5.5	1.8	MALO
UM-IZQ-142	2.0	3.5	BUENO
UM-IZQ-143	1.5	3.8	BUENO
UM-IZQ-144	1.6	3.8	BUENO

Fuente: Elaboración propia 2019

A su vez, a continuación se muestran los valores del Índice de Rugosidad Internacional - IRI de las unidades de muestreo en el carril derecho ascendente con un valor promedio de 5.184:



Tabla 75. Cálculo del IRI por unidad de muestra de 15 m en el carril derecho de ascendente

Unidad de Muestra	Distancia de Inicio (Km)	Distancia de parada (Km)	Longitud (m)	IRI – (m/Km)
UM-DER-1	0.000	0.015	15	1.8
UM-DER-2	0.015	0.030	15	2.9
UM-DER-3	0.030	0.045	15	1.6
UM-DER-4	0.045	0.060	15	4.0
UM-DER-5	0.060	0.075	15	2.0
UM-DER-6	0.075	0.090	15	3.5
UM-DER-7	0.090	0.105	15	1.5
UM-DER-8	0.105	0.120	15	1.9
UM-DER-9	0.120	0.135	15	2.5
UM-DER-10	0.135	0.150	15	95.1
UM-DER-11	0.150	0.165	15	9.2
UM-DER-12	0.165	0.180	15	8.0
UM-DER-13	0.180	0.195	15	7.0
UM-DER-14	0.195	0.210	15	2.2
UM-DER-15	0.210	0.225	15	1.7
UM-DER-16	0.225	0.240	15	1.8
UM-DER-17	0.240	0.255	15	1.9
UM-DER-18	0.255	0.270	15	5.3
UM-DER-19	0.270	0.285	15	11.2
UM-DER-20	0.285	0.300	15	3.1
UM-DER-21	0.300	0.315	15	2.2
UM-DER-22	0.315	0.330	15	5.4
UM-DER-23	0.330	0.345	15	6.5
UM-DER-24	0.345	0.360	15	5.4
UM-DER-25	0.360	0.375	15	2.5
UM-DER-26	0.375	0.390	15	3.0
UM-DER-27	0.390	0.405	15	2.4
UM-DER-28	0.405	0.420	15	3.0
UM-DER-29	0.420	0.435	15	12.7

Continúa...



Unidad de Muestra	Distancia de Inicio (Km)	Distancia de parada (Km)	Longitud (m)	IRI – (m/Km)
UM-DER-30	0.435	0.450	15	6.1
UM-DER-31	0.450	0.465	15	2.0
UM-DER-32	0.465	0.480	15	1.2
UM-DER-33	0.480	0.495	15	3.0
UM-DER-34	0.495	0.510	15	1.7
UM-DER-35	0.510	0.525	15	1.8
UM-DER-36	0.525	0.540	15	2.1
UM-DER-37	0.540	0.555	15	2.7
UM-DER-38	0.555	0.570	15	3.7
UM-DER-39	0.570	0.585	15	2.1
UM-DER-40	0.585	0.600	15	2.5
UM-DER-41	0.600	0.615	15	5.7
UM-DER-42	0.615	0.630	15	4.5
UM-DER-43	0.630	0.645	15	3.2
UM-DER-44	0.645	0.660	15	2.0
UM-DER-45	0.660	0.675	15	1.9
UM-DER-46	0.675	0.690	15	1.5
UM-DER-47	0.690	0.705	15	1.7
UM-DER-48	0.705	0.720	15	2.0
UM-DER-49	0.720	0.735	15	2.6
UM-DER-50	0.735	0.750	15	6.1
UM-DER-51	0.750	0.765	15	22.2
UM-DER-52	0.765	0.780	15	5.0
UM-DER-53	0.780	0.795	15	2.2
UM-DER-54	0.795	0.810	15	4.2
UM-DER-55	0.810	0.825	15	1.7
UM-DER-56	0.825	0.840	15	2.0
UM-DER-57	0.840	0.855	15	1.6
UM-DER-58	0.855	0.870	15	1.8
UM-DER-59	0.870	0.885	15	2.9
UM-DER-60	0.885	0.900	15	8.9

Continúa...



Unidad de Muestra	Distancia de Inicio (Km)	Distancia de parada (Km)	Longitud (m)	IRI – (m/Km)
UM-DER-61	0.900	0.915	15	2.4
UM-DER-62	0.915	0.930	15	5.6
UM-DER-63	0.930	0.945	15	2.2
UM-DER-64	0.945	0.960	15	2.5
UM-DER-65	0.960	0.975	15	6.2
UM-DER-66	0.975	0.990	15	3.2
UM-DER-67	0.990	1.005	15	3.6
UM-DER-68	1.005	1.020	15	3.8
UM-DER-69	1.020	1.035	15	2.2
UM-DER-70	1.035	1.050	15	3.2
UM-DER-71	1.050	1.065	15	2.2
UM-DER-72	1.065	1.080	15	4.3
UM-DER-73	1.080	1.095	15	9.8
UM-DER-74	1.095	1.110	15	3.4
UM-DER-75	1.110	1.125	15	7.3
UM-DER-76	1.125	1.140	15	6.1
UM-DER-77	1.140	1.155	15	3.4
UM-DER-78	1.155	1.170	15	7.9
UM-DER-79	1.170	1.185	15	5.0
UM-DER-80	1.185	1.200	15	1.7
UM-DER-81	1.200	1.215	15	3.3
UM-DER-82	1.215	1.230	15	5.0
UM-DER-83	1.230	1.245	15	40.3
UM-DER-84	1.245	1.260	15	22.7
UM-DER-85	1.260	1.275	15	6.5
UM-DER-86	1.275	1.290	15	4.1
UM-DER-87	1.290	1.305	15	1.8
UM-DER-88	1.305	1.320	15	1.8
UM-DER-89	1.320	1.335	15	3.1
UM-DER-90	1.335	1.350	15	3.9
UM-DER-91	1.350	1.365	15	5.0

Continúa...



Unidad de Muestra	Distancia de Inicio (Km)	Distancia de parada (Km)	Longitud (m)	IRI – (m/Km)
UM-DER-92	1.365	1.380	15	10.2
UM-DER-93	1.380	1.395	15	4.3
UM-DER-94	1.395	1.410	15	3.1
UM-DER-95	1.410	1.425	15	1.6
UM-DER-96	1.425	1.440	15	2.4
UM-DER-97	1.440	1.455	15	1.8
UM-DER-98	1.455	1.470	15	6.1
UM-DER-99	1.470	1.485	15	3.3
UM-DER-100	1.485	1.500	15	2.9
UM-DER-101	1.500	1.515	15	4.2
UM-DER-102	1.515	1.530	15	5.3
UM-DER-103	1.530	1.545	15	6.1
UM-DER-104	1.545	1.560	15	23.2
UM-DER-105	1.560	1.575	15	12.9
UM-DER-106	1.575	1.590	15	3.4
UM-DER-107	1.590	1.605	15	17.5
UM-DER-108	1.605	1.620	15	4.5
UM-DER-109	1.620	1.635	15	15.3
UM-DER-110	1.635	1.650	15	16.8
UM-DER-111	1.650	1.665	15	5.6
UM-DER-112	1.665	1.680	15	3.0
UM-DER-113	1.680	1.695	15	1.8
UM-DER-114	1.695	1.710	15	3.1
UM-DER-115	1.710	1.725	15	2.6
UM-DER-116	1.725	1.740	15	3.2
UM-DER-117	1.740	1.755	15	2.8
UM-DER-118	1.755	1.770	15	2.2

Continúa...



Unidad de Muestra	Distancia de Inicio (Km)	Distancia de parada (Km)	Longitud (m)	IRI – (m/Km)
UM-DER-119	1.770	1.785	15	7.2
UM-DER-120	1.785	1.800	15	1.9
UM-DER-121	1.800	1.815	15	3.6
UM-DER-122	1.815	1.830	15	2.4
UM-DER-123	1.830	1.845	15	6.0
UM-DER-124	1.845	1.860	15	4.5
UM-DER-125	1.860	1.875	15	1.9
UM-DER-126	1.875	1.890	15	1.8
UM-DER-127	1.890	1.905	15	1.1
UM-DER-128	1.905	1.920	15	1.0
UM-DER-129	1.920	1.935	15	7.3
UM-DER-130	1.935	1.950	15	2.2
UM-DER-131	1.950	1.965	15	1.0
UM-DER-132	1.965	1.980	15	0.6
UM-DER-133	1.980	1.995	15	1.1
UM-DER-134	1.995	2.010	15	1.0
UM-DER-135	2.010	2.025	15	1.1
UM-DER-136	2.025	2.040	15	1.0
UM-DER-137	2.040	2.055	15	1.7
UM-DER-138	2.055	2.070	15	1.4
UM-DER-139	2.070	2.085	15	1.3
UM-DER-140	2.085	2.100	15	1.3
UM-DER-141	2.100	2.115	15	1.6
UM-DER-142	2.115	2.130	15	1.3
UM-DER-143	2.130	2.145	15	1.0
UM-DER-144	2.145	2.151	5.5	1.2

Fuente: ProVAL 3.61.30

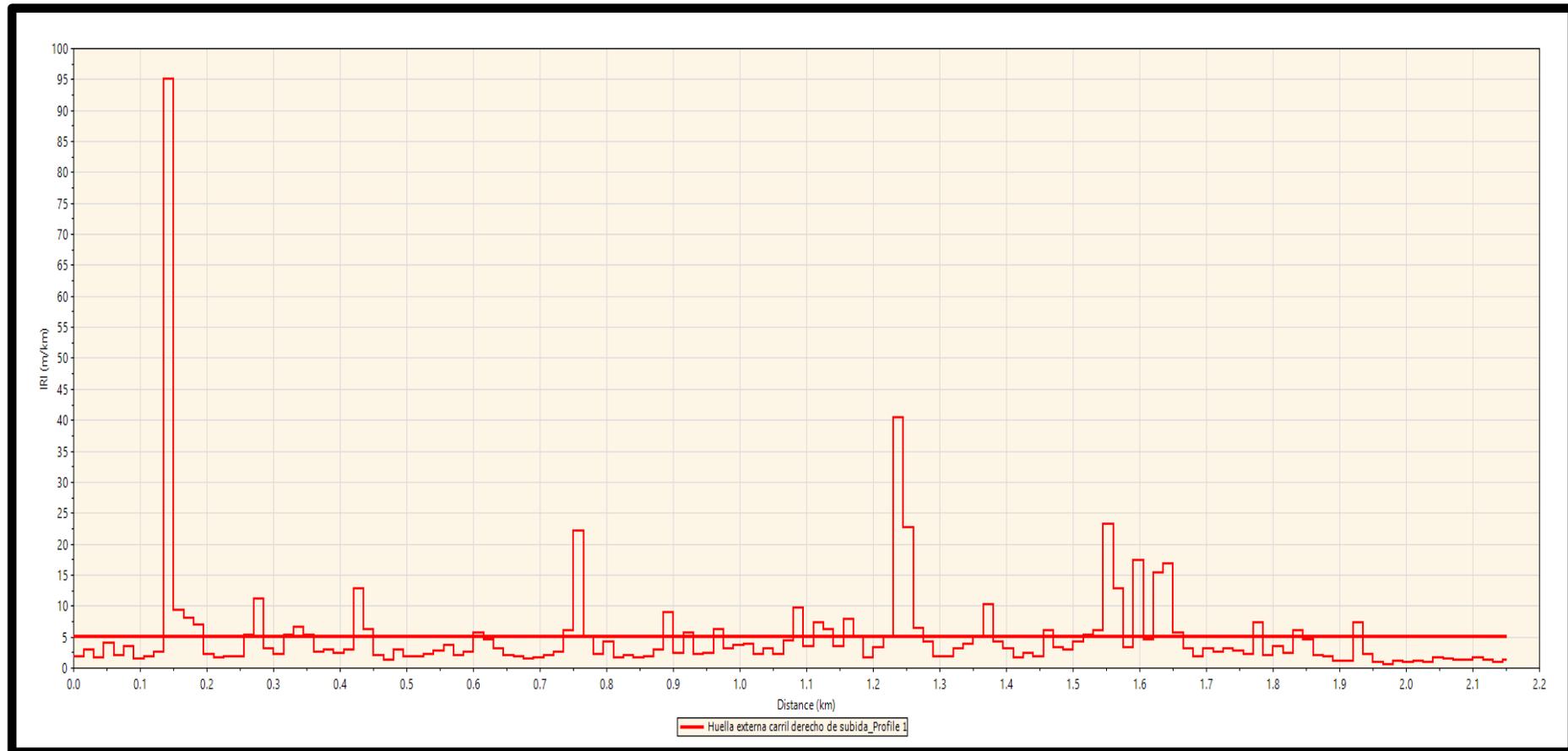


Figura 115. Variación gráfica del IRI en el carril derecho de subida, por unidad de muestra de 15 m. Fuente: ProVAL 3.61.30

Estos valores del Índice de Rugosidad Internacional - IRI están correlacionados mediante con el índice de Serviciabilidad Presente - PSI, con fórmula indicada en el marco teórico. A continuación, se califica las unidades de muestreo en función de la escala de transitabilidad o serviciabilidad.



Se realizó el análisis por cada unidad de muestra obtenido en la evaluación funcional del pavimento con Mira y Nivel.

Tabla 76. Clasificación según la Transitabilidad del carril derecho

Unidades de muestra	Valor del IRI	Valor PSI correspondiente	Calificación según la transitabilidad
UM-DER-1	1.8	3.6	BUENO
UM-DER-2	2.9	3.0	REGULAR
UM-DER-3	1.6	3.8	BUENO
UM-DER-4	4.0	2.4	REGULAR
UM-DER-5	2.0	3.5	BUENO
UM-DER-6	3.5	2.7	REGULAR
UM-DER-7	1.5	3.8	BUENO
UM-DER-8	1.9	3.5	BUENO
UM-DER-9	2.5	3.2	BUENO
UM-DER-10	95.1	0.0	MUY MALO
UM-DER-11	9.2	0.9	MUY MALO
UM-DER-12	8.0	1.2	MALO
UM-DER-13	7.0	1.4	MALO
UM-DER-14	2.2	3.4	BUENO
UM-DER-15	1.7	3.7	BUENO
UM-DER-16	1.8	3.6	BUENO
UM-DER-17	1.9	3.5	BUENO
UM-DER-18	5.3	1.9	MALO
UM-DER-19	11.2	0.7	MUY MALO
UM-DER-20	3.1	2.9	REGULAR
UM-DER-21	2.2	3.3	BUENO
UM-DER-22	5.4	1.9	MALO
UM-DER-23	6.5	1.5	MALO
UM-DER-24	5.4	1.9	MALO
UM-DER-25	2.5	3.2	BUENO
UM-DER-26	3.0	2.9	REGULAR
UM-DER-27	2.4	3.2	BUENO
UM-DER-28	3.0	2.9	REGULAR
UM-DER-29	12.7	0.5	MUY MALO

Continúa...



Unidades de muestra	Valor del IRI	Valor PSI correspondiente	Calificación según la transitabilidad
UM-DER-30	6.1	1.6	MALO
UM-DER-31	2.0	3.5	BUENO
UM-DER-32	1.2	4.0	EXCELENTE
UM-DER-33	3.0	2.9	REGULAR
UM-DER-34	1.7	3.6	BUENO
UM-DER-35	1.8	3.6	BUENO
UM-DER-36	2.1	3.4	BUENO
UM-DER-37	2.7	3.0	BUENO
UM-DER-38	3.7	2.6	REGULAR
UM-DER-39	2.1	3.4	BUENO
UM-DER-40	2.5	3.1	BUENO
UM-DER-41	5.7	1.8	MALO
UM-DER-42	4.5	2.2	REGULAR
UM-DER-43	3.2	2.8	REGULAR
UM-DER-44	2.0	3.5	BUENO
UM-DER-45	1.9	3.5	BUENO
UM-DER-46	1.5	3.8	BUENO
UM-DER-47	1.7	3.7	BUENO
UM-DER-48	2.0	3.5	BUENO
UM-DER-49	2.6	3.1	BUENO
UM-DER-50	6.1	1.7	MALO
UM-DER-51	22.2	0.1	MUY MALO
UM-DER-52	5.0	2.0	MALO
UM-DER-53	2.2	3.3	BUENO
UM-DER-54	4.2	2.3	REGULAR
UM-DER-55	1.7	3.7	BUENO
UM-DER-56	2.0	3.5	BUENO
UM-DER-57	1.6	3.7	BUENO
UM-DER-58	1.8	3.6	BUENO
UM-DER-59	2.9	3.0	REGULAR
UM-DER-60	8.9	1.0	MUY MALO
UM-DER-61	2.4	3.2	BUENO
UM-DER-62	5.6	1.8	MALO

Continúa...



Unidades de muestra	Valor del IRI	Valor PSI correspondiente	Calificación según la transitabilidad
UM-DER-63	2.2	3.4	BUENO
UM-DER-64	2.5	3.2	BUENO
UM-DER-65	6.2	1.6	MALO
UM-DER-66	3.2	2.8	REGULAR
UM-DER-67	3.6	2.6	REGULAR
UM-DER-68	3.8	2.5	REGULAR
UM-DER-69	2.2	3.3	BUENO
UM-DER-70	3.2	2.8	REGULAR
UM-DER-71	2.2	3.4	BUENO
UM-DER-72	4.3	2.3	REGULAR
UM-DER-73	9.8	0.8	MUY MALO
UM-DER-74	3.4	2.7	REGULAR
UM-DER-75	7.3	1.3	MALO
UM-DER-76	6.1	1.6	MALO
UM-DER-77	3.4	2.7	REGULAR
UM-DER-78	7.9	1.2	MALO
UM-DER-79	5.0	2.0	REGULAR
UM-DER-80	1.7	3.6	BUENO
UM-DER-81	3.3	2.7	REGULAR
UM-DER-82	5.0	2.0	REGULAR
UM-DER-83	40.3	0.0	MUY MALO
UM-DER-84	22.7	0.1	MUY MALO
UM-DER-85	6.5	1.5	MALO
UM-DER-86	4.1	2.4	REGULAR
UM-DER-87	1.8	3.6	BUENO
UM-DER-88	1.8	3.6	BUENO
UM-DER-89	3.1	2.9	REGULAR
UM-DER-90	3.9	2.5	REGULAR
UM-DER-91	5.0	2.0	REGULAR
UM-DER-92	10.2	0.8	MUY MALO
UM-DER-93	4.3	2.3	REGULAR
UM-DER-94	3.1	2.9	REGULAR
UM-DER-95	1.6	3.7	BUENO

Continúa...



Unidades de muestra	Valor del IRI	Valor PSI correspondiente	Calificación según la transitabilidad
UM-DER-96	2.4	3.2	BUENO
UM-DER-97	1.8	3.6	BUENO
UM-DER-98	6.1	1.6	MALO
UM-DER-99	3.3	2.8	REGULAR
UM-DER-100	2.9	3.0	REGULAR
UM-DER-101	4.2	2.3	REGULAR
UM-DER-102	5.3	1.9	MALO
UM-DER-103	6.1	1.6	MALO
UM-DER-104	23.2	0.1	MUY MALO
UM-DER-105	12.9	0.5	MUY MALO
UM-DER-106	3.4	2.7	REGULAR
UM-DER-107	17.5	0.2	MUY MALO
UM-DER-108	4.5	2.2	REGULAR
UM-DER-109	15.3	0.3	MUY MALO
UM-DER-110	16.8	0.2	MUY MALO
UM-DER-111	5.6	1.8	MALO
UM-DER-112	3.0	2.9	REGULAR
UM-DER-113	1.8	3.6	BUENO
UM-DER-114	3.1	2.8	REGULAR
UM-DER-115	2.6	3.1	BUENO
UM-DER-116	3.2	2.8	REGULAR
UM-DER-117	2.8	3.0	REGULAR
UM-DER-118	2.2	3.3	BUENO
UM-DER-119	7.2	1.3	MALO
UM-DER-120	1.9	3.5	BUENO
UM-DER-121	3.6	2.6	REGULAR
UM-DER-122	2.4	3.2	BUENO
UM-DER-123	6.0	1.7	MALO
UM-DER-124	4.5	2.2	REGULAR
UM-DER-125	1.9	3.5	BUENO

Continúa...



Unidades de muestra	Valor del IRI	Valor PSI correspondiente	Calificación según la transitabilidad
UM-DER-126	1.8	3.6	BUENO
UM-DER-127	1.1	4.1	EXCELENTE
UM-DER-128	1.0	4.1	EXCELENTE
UM-DER-129	7.3	1.3	MALO
UM-DER-130	2.2	3.4	BUENO
UM-DER-131	1.0	4.2	EXCELENTE
UM-DER-132	0.6	4.5	EXCELENTE
UM-DER-133	1.1	4.1	EXCELENTE
UM-DER-134	1.0	4.2	EXCELENTE
UM-DER-135	1.1	4.1	EXCELENTE
UM-DER-136	1.0	4.2	EXCELENTE
UM-DER-137	1.7	3.7	BUENO
UM-DER-138	1.4	3.9	BUENO
UM-DER-139	1.3	3.9	BUENO
UM-DER-140	1.3	4.0	BUENO
UM-DER-141	1.6	3.7	BUENO
UM-DER-142	1.3	3.9	BUENO
UM-DER-143	1.0	4.2	EXCELENTE
UM-DER-144	1.2	4.0	BUENO

Fuente: Elaboración propia 2019

Para hallar la vida remanente de la vía a partir de una evaluación funcional, se utiliza el valor promedio total del Índice de Rugosidad Internacional – IRI, del tramo de estudio.



Tabla 77. Valores promedio del carril de Índice de Rugosidad Internacional –IRI y Índice de Serviabilidad Presente – PSI del tramo en estudio

Carril del Tramo	Valor de IRI	Valor de PSI	Cualificación General
Izquierdo	4.007	2.41	Regular
Derecho	5.184	1.95	Malo

Fuente: Elaboración propia en base al Programa ProVAL 3.61.30

El promedio de ambos valores de Índice de Rugosidad Internacional – IRI, obtenido de cada carril, el cual llamaremos IRI promedio o IRI_{prom} es:

$$IRI_{prom} = \frac{4.007 + 5.184}{2} = 4.596 \left(\frac{m}{km}\right)$$

Según los pasos a seguir enumerados en el marco teórico dados por Ramirez Beltrán y Colucci (2001), seguimos el siguiente procedimiento para hallar la vida remanente útil de un pavimento con la Distribución Weibull:

- **Primer paso. Determinar si la carretera presenta todavía vida remanente**

Con el IRI_{prom} calculamos un Índice de Serviabilidad PSI de:

$$PSI = \frac{5}{e^{\frac{IRI_{prom}}{5.5}}} = \frac{5}{e^{\frac{4.596}{5.5}}} = 2.17$$

Vemos que todavía presenta vida remanente útil pues no ha alcanzado su nivel terminal de 2.

- **Segundo paso. Estimar la carga al momento de análisis**

Se calcula con la siguiente expresión, suponemos que ha sido diseñado de acuerdo al artículo, con un Índice inicial de 4.2 y un nivel terminal de 2.0. Los valores de ρ y β que



se usaron fueron hallados por Colucci et al (1997) para la región montañosa.

$$W_{18} = 5633126 \left(\frac{4.2-2.17}{4.2-2.0} \right)^{\frac{1}{1.48}} = 5335196 \text{ de ESAL}_{18}$$

- **Tercer paso. Calcular la carga acumulada para conseguir el nivel terminal**

La carga terminal se halló suponiendo que un 95 % de las veces el pavimento llega a su nivel terminal. α y γ , se hallaron en función a la tabla parámetros para la distribución Weibull, los cuales son 7.24 y 11.70, para una región montañosa.

$$W_f = 7.24 (-\ln(0.05))^{\frac{1}{11.70}} = 7.95 \text{ millones de ESAL}_{18}$$

- **Cuarto paso. Determinar la vida remanente**

De acuerdo a la recomendación de la Asociación Estadounidense de Funcionarios de Carreteras Estatales– AASTHO (1993), porcentaje de vida remanente para el segmento de carretera se puede calcular de la siguiente manera:

$$RL = 100 \left(1 - \frac{W_{18}}{W_f} \right) \% = 100 \left(1 - \frac{5335196}{7950000} \right) = 32.9 \%$$

Por lo tanto, el pavimento evaluado funcionalmente a través de una nivelación con Mira y Nivel, tiene una vida remanente útil de 32.9%, hallado a través de la Distribución Weibull.



3.8.3. Estimación del porcentaje de vida remanente útil a partir una evaluación estructural con la Viga Benkelman en el pavimento flexible del tramo Sector T'icapata – CC de Pumamarca, de carretera ENACO – Abra Ccorao

Con las lecturas obtenidas con el dial deformímetro se deben de calcular las deflexiones no reales (en milímetros) que ocurren en el pavimento a una distancia de 0 cm, 25 cm, 50 cm, 100 cm y en el infinito.

Tabla 78. Cálculo de las deflexiones en el pavimento flexible a partir de las lecturas en el dial deformímetro

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS ESTIMACIONES DEL PORCENTAJE DE VIDA REMANENTE ÚTIL OBTENIDAS A PARTIR DE UNA EVALUACIÓN FUNCIONAL Y UNA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO TICAPATA - PUMAMARCA EN LA										INSTITUTO TECNOLÓGICO DE INGENIERÍA		
TRABAJO DE CAMPO : HOJA DE CAMPO PARA RECOPIACIÓN DE DEFLEXIONES														
DEPARTAMENTO :	CUSCO				PRESIÓN DE INFLADO:	80 PSI								
PROVINCIA :	CUSCO				CARGA DE EJE:	8.2 tn								
DISTRITO :	SAN SEBASTIÁN				MODELO DE LA VIGA BENKELMAN:	ELE 47-1460								
LUGAR:	SECTOR TICAPATA - COMUNIDAD DE PUMAMARCA				PRECISIÓN DEL DIAL:	0.1 mm								
DÍA:	1				PROGRESIVA INICIAL:	1+683 Km								
FECHA:	23/08/2019				PROGRESIVA FINAL:	3+834 Km								
TESISTA:	BACH. VLADIMIR BENITO CÁRDENAS				FORMA DE MEDICIÓN:	INTERCALADA								
PROGRESIVA ORIGINAL DE LA CARRETERA ENACO -ABRA CCORAO	PROGRESIVA RELATIVA	CARRIL	LECTURAS DE DEFLEXIÓN EN CAMPO (mm)					ESPESOR DE ASFALTO EN PULGADAS	RESULTADOS DE DEFLEXIONES (mm)					OBSERVACIONES
			L ₀	L ₂₅	L ₅₀	L ₁₀₀	L _∞		D' ₀	D' ₂₅	D' ₅₀	D' ₁₀₀	D' _∞	
1+683 Km	0+000 Km	IZQUIERDO	1.10	1.50	1.68	1.80	1.80	2.5	0.70	0.30	0.13	0.00	0.00	
1+783 Km	0+100 Km	DERECHO	1.00	1.41	1.59	1.61	1.61	2.5	0.61	0.20	0.03	0.00	0.00	
1+883 Km	0+200 Km	IZQUIERDO	3.30	3.53	3.75	3.78	3.78	2.5	0.48	0.25	0.03	0.00	0.00	
1+983 Km	0+300 Km	DERECHO	3.25	3.26	3.49	3.71	3.74	2.5	0.49	0.48	0.25	0.03	0.00	
2+083 Km	0+400 Km	IZQUIERDO	2.90	2.95	3.00	3.10	3.15	2.5	0.25	0.20	0.15	0.05	0.00	
2+183 Km	0+500 Km	DERECHO	3.00	3.26	3.53	3.64	3.73	2.5	0.73	0.46	0.20	0.09	0.00	
2+283 Km	0+600 Km	IZQUIERDO	2.05	2.13	2.24	2.31	2.36	2.5	0.31	0.24	0.13	0.05	0.00	
2+383 Km	0+700 Km	DERECHO	3.00	3.20	3.38	3.54	3.61	2.5	0.61	0.41	0.24	0.08	0.00	
2+483 Km	0+800 Km	IZQUIERDO	0.80	0.95	1.13	1.25	1.25	2.5	0.45	0.30	0.13	0.00	0.00	
2+583 Km	0+900 Km	DERECHO	3.00	3.05	3.15	3.21	3.21	2.5	0.21	0.16	0.06	0.00	0.00	
2+683 Km	1+000 Km	IZQUIERDO	1.50	1.60	1.76	1.78	1.80	2.5	0.30	0.20	0.04	0.03	0.00	
2+783 Km	1+100 Km	DERECHO	3.00	3.03	3.18	3.33	3.33	2.5	0.33	0.30	0.15	0.00	0.00	
2+883 Km	1+200 Km	IZQUIERDO	6.00	6.03	6.05	6.10	6.23	2.5	0.23	0.20	0.18	0.13	0.00	
2+983 Km	1+300 Km	DERECHO	3.00	3.59	3.61	3.66	3.74	2.5	0.74	0.15	0.13	0.08	0.00	
3+083 Km	1+400 Km	IZQUIERDO	3.00	3.03	3.05	3.25	3.40	2.5	0.40	0.38	0.35	0.15	0.00	
3+183 Km	1+500 Km	DERECHO	3.00	3.36	3.53	3.61	3.75	2.5	0.75	0.39	0.23	0.14	0.00	
3+283 Km	1+600 Km	IZQUIERDO	2.55	2.61	2.96	3.24	3.25	2.5	0.70	0.64	0.29	0.01	0.00	
3+383 Km	1+700 Km	DERECHO	3.00	3.19	3.36	3.46	3.70	2.5	0.70	0.51	0.34	0.24	0.00	
3+483 Km	1+800 Km	IZQUIERDO	2.75	2.86	3.16	3.28	3.29	2.5	0.54	0.43	0.13	0.01	0.00	
3+583 Km	1+900 Km	DERECHO	3.00	3.43	3.68	3.80	3.81	2.5	0.81	0.39	0.14	0.01	0.00	
3+683 Km	2+000 Km	IZQUIERDO	3.00	3.25	3.41	3.44	3.53	2.5	0.53	0.28	0.11	0.09	0.00	
3+783 Km	2+100 Km	DERECHO	3.00	3.25	3.38	3.50	3.55	2.5	0.55	0.30	0.18	0.05	0.00	

Fuente: Elaboración propia 2019



Estas deflexiones halladas a partir de las lecturas no son las reales, por lo que se debe de multiplicar por el factor de relación de brazo de la Viga Benkelman. En nuestro caso la Viga tiene una relación de brazo de 1:4, por lo que se tuvo que multiplicar por el factor de 4 cada deflexión.

Tabla 79. Cálculo de las deflexiones reales o corregidas por la relación de brazo de la Viga Benkelman

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO														
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS ESTIMACIONES DEL PORCENTAJE DE VIDA REMANENTE ÚTIL OBTENIDAS A PARTIR DE UNA EVALUACIÓN FUNCIONAL Y UNA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO TICAPATA - PUMAMARCA EN LA														
TRABAJO DE CAMPO : HOJA DE CAMPO PARA RECOPIACIÓN DE DEFLEXIONES														
DEPARTAMENTO :			CUSCO					PRESIÓN DE INFLADO:			80 PSI			
PROVINCIA :			CUSCO					CARGA DE EJE:			8.2 tn			
DISTRITO :			SAN SEBASTIÁN					MODELO DE LA VIGA BENKELMAN:			ELE 47-1460. Relacion de brazo de 1:4			
LUGAR:			SECTOR TICAPATA - COMUNIDAD DE PUMAMARCA					PRECISIÓN DEL DIAL:			0.1 mm			
DÍA:			1					PROGRESIVA INICIAL:			1+683 Km			
FECHA:			23/08/2019					PROGRESIVA FINAL:			3+834 Km			
TESISTA:			BACH. VLADIMIR BENITO CÁRDENAS					FORMA DE MEDICIÓN:			INTERCALADA			
PROGRESIVA ORIGINAL DE LA CARRETERA ENACO -ABRA CCORAO	PROGRESIVA RELATIVA	CARRIL	DEFLEXIONES CALCULADAS EN EL CAMPO (mm)					ESPESOR DE ASFALTO EN PULGADAS	DEFLEXIONES REALES O CORREGIDAS (mm) - RELACIÓN DEL BRAZO DE LA VIGA BENKELMAN 1:4					OBSERVACIONES
			D'0	D'25	D'50	D'100	D'∞		D0=4*D'0	D25=4*D'25	D50=4*D'50	D100=4*D'100	D∞=4*D'∞	
1+683 Km	0+000 Km	IZQUIERDO	0.70	0.30	0.13	0.00	0.00	2.5	2.80	1.20	0.50	0.00	0.00	
1+783 Km	0+100 Km	DERECHO	0.61	0.20	0.03	0.00	0.00	2.5	2.45	0.80	0.10	0.00	0.00	
1+883 Km	0+200 Km	IZQUIERDO	0.48	0.25	0.03	0.00	0.00	2.5	1.90	1.00	0.10	0.00	0.00	
1+983 Km	0+300 Km	DERECHO	0.49	0.48	0.25	0.03	0.00	2.5	1.95	1.90	1.00	0.10	0.00	
2+083 Km	0+400 Km	IZQUIERDO	0.25	0.20	0.15	0.05	0.00	2.5	1.00	0.80	0.60	0.20	0.00	
2+183 Km	0+500 Km	DERECHO	0.73	0.46	0.20	0.09	0.00	2.5	2.90	1.85	0.80	0.35	0.00	
2+283 Km	0+600 Km	IZQUIERDO	0.31	0.24	0.13	0.05	0.00	2.5	1.25	0.95	0.50	0.20	0.00	
2+383 Km	0+700 Km	DERECHO	0.61	0.41	0.24	0.08	0.00	2.5	2.45	1.65	0.95	0.30	0.00	
2+483 Km	0+800 Km	IZQUIERDO	0.45	0.30	0.13	0.00	0.00	2.5	1.80	1.20	0.50	0.00	0.00	
2+583 Km	0+900 Km	DERECHO	0.21	0.16	0.06	0.00	0.00	2.5	0.85	0.65	0.25	0.00	0.00	
2+683 Km	1+000 Km	IZQUIERDO	0.30	0.20	0.04	0.03	0.00	2.5	1.20	0.80	0.15	0.10	0.00	
2+783 Km	1+100 Km	DERECHO	0.33	0.30	0.15	0.00	0.00	2.5	1.30	1.20	0.60	0.00	0.00	
2+883 Km	1+200 Km	IZQUIERDO	0.23	0.20	0.18	0.13	0.00	2.5	0.90	0.80	0.70	0.50	0.00	
2+983 Km	1+300 Km	DERECHO	0.74	0.15	0.13	0.08	0.00	2.5	2.95	0.60	0.50	0.30	0.00	
3+083 Km	1+400 Km	IZQUIERDO	0.40	0.38	0.35	0.15	0.00	2.5	1.60	1.50	1.40	0.60	0.00	
3+183 Km	1+500 Km	DERECHO	0.75	0.39	0.23	0.14	0.00	2.5	3.00	1.55	0.90	0.55	0.00	
3+283 Km	1+600 Km	IZQUIERDO	0.70	0.64	0.29	0.01	0.00	2.5	2.80	2.55	1.15	0.05	0.00	
3+383 Km	1+700 Km	DERECHO	0.70	0.51	0.34	0.24	0.00	2.5	2.80	2.05	1.35	0.95	0.00	
3+483 Km	1+800 Km	IZQUIERDO	0.54	0.43	0.13	0.01	0.00	2.5	2.15	1.70	0.50	0.05	0.00	
3+583 Km	1+900 Km	DERECHO	0.81	0.39	0.14	0.01	0.00	2.5	3.25	1.55	0.55	0.05	0.00	
3+683 Km	2+000 Km	IZQUIERDO	0.53	0.28	0.11	0.09	0.00	2.5	2.10	1.10	0.45	0.35	0.00	
3+783 Km	2+100 Km	DERECHO	0.55	0.30	0.18	0.05	0.00	2.5	2.20	1.20	0.70	0.20	0.00	

Fuente: Elaboración propia 2019



Los datos recolectados en el ensayo de evaluación de las deflexiones del pavimento con la Viga Benkelman, deben de ser corregidos por temperatura, con la fórmula indicada en el Marco Teórico.

Tabla 80. Deflexiones recolectadas en campo corregidas a la temperatura de 20 °C

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS ESTIMACIONES DEL PORCENTAJE DE VIDA REMANENTE ÚTIL OBTENIDAS A PARTIR DE UNA EVALUACIÓN FUNCIONAL Y UNA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO TICAPATA - PUMAMARCA EN LA										ESCUA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
TRABAJO DE CAMPO : DEFLEXIONES CORREGIDAS POR TEMPERATURA														
DEPARTAMENTO :	CUSCO	PRESIÓN DE INFLADO:	80 PSI											
PROVINCIA :	CUSCO	CARGA DE EJE:	8.2 tn											
DISTRITO :	SAN SEBASTIÁN	MODELO DE LA VIGA BENKELMAN:	ELE 47-1460											
LUGAR:	SECTOR TICAPATA - COMUNIDAD DE PUMAMARCA	PRECISIÓN DEL DIAL:	0.1 mm											
DÍA:	1	PROGRESIVA INICIAL:	1+683 Km											
FECHA:	23/08/2019	PROGRESIVA FINAL:	3+834 Km											
TESISTA:	BACH. VLADIMIR BENITO CÁRDENAS	FORMA DE MEDICIÓN:	INTERCALADA											
PROGRESIVA ORIGINAL DE LA CARRETERA ENACO -ABRA CCORAO	PROGRESIVA RELATIVA	CARRIL	RESULTADOS DE DEFLEXIONES (mm)					ESPESOR DE ASFALTO EN	DEFLEXIONES CORREGIDAS POR TEMPERATURA (mm)					TEMPERATURA (°C)
			D ₀	D ₂₅	D ₅₀	D ₁₀₀	D _∞		D ₀	D ₂₅	D ₅₀	D ₁₀₀	D _∞	
1+683 Km	0+000 Km	IZQUIERDO	2.80	1.20	0.50	0.00	0.00	2.5	2.78	1.19	0.50	0.00	0.00	21.40
1+783 Km	0+100 Km	DERECHO	2.45	0.80	0.10	0.00	0.00	2.5	2.43	0.79	0.10	0.00	0.00	21.60
1+883 Km	0+200 Km	IZQUIERDO	1.90	1.00	0.10	0.00	0.00	2.5	1.90	1.00	0.10	0.00	0.00	19.90
1+983 Km	0+300 Km	DERECHO	1.95	1.90	1.00	0.10	0.00	2.5	1.95	1.90	1.00	0.10	0.00	20.00
2+083 Km	0+400 Km	IZQUIERDO	1.00	0.80	0.60	0.20	0.00	2.5	1.00	0.80	0.60	0.20	0.00	20.50
2+183 Km	0+500 Km	DERECHO	2.90	1.85	0.80	0.35	0.00	2.5	2.91	1.86	0.80	0.35	0.00	19.00
2+283 Km	0+600 Km	IZQUIERDO	1.25	0.95	0.50	0.20	0.00	2.5	1.25	0.95	0.50	0.20	0.00	19.80
2+383 Km	0+700 Km	DERECHO	2.45	1.65	0.95	0.30	0.00	2.5	2.44	1.65	0.95	0.30	0.00	20.60
2+483 Km	0+800 Km	IZQUIERDO	1.80	1.20	0.50	0.00	0.00	2.5	1.80	1.20	0.50	0.00	0.00	20.20
2+583 Km	0+900 Km	DERECHO	0.85	0.65	0.25	0.00	0.00	2.5	0.86	0.65	0.25	0.00	0.00	18.60
2+683 Km	1+000 Km	IZQUIERDO	1.20	0.80	0.15	0.10	0.00	2.5	1.19	0.79	0.15	0.10	0.00	22.20
2+783 Km	1+100 Km	DERECHO	1.30	1.20	0.60	0.00	0.00	2.5	1.31	1.21	0.60	0.00	0.00	19.10
2+883 Km	1+200 Km	IZQUIERDO	0.90	0.80	0.70	0.50	0.00	2.5	0.90	0.80	0.70	0.50	0.00	20.50
2+983 Km	1+300 Km	DERECHO	2.95	0.60	0.50	0.30	0.00	2.5	2.96	0.60	0.50	0.30	0.00	19.10
3+083 Km	1+400 Km	IZQUIERDO	1.60	1.50	1.40	0.60	0.00	2.5	1.60	1.50	1.40	0.60	0.00	19.60
3+183 Km	1+500 Km	DERECHO	3.00	1.55	0.90	0.55	0.00	2.5	2.95	1.52	0.88	0.54	0.00	23.60
3+283 Km	1+600 Km	IZQUIERDO	2.80	2.55	1.15	0.05	0.00	2.5	2.83	2.58	1.16	0.05	0.00	17.60
3+383 Km	1+700 Km	DERECHO	2.80	2.05	1.35	0.95	0.00	2.5	2.76	2.02	1.33	0.94	0.00	22.60
3+483 Km	1+800 Km	IZQUIERDO	2.15	1.70	0.50	0.05	0.00	2.5	2.17	1.71	0.50	0.05	0.00	18.50
3+583 Km	1+900 Km	DERECHO	3.25	1.55	0.55	0.05	0.00	2.5	3.29	1.57	0.56	0.05	0.00	17.60
3+683 Km	2+000 Km	IZQUIERDO	2.10	1.10	0.45	0.35	0.00	2.5	2.08	1.09	0.45	0.35	0.00	21.60
3+783 Km	2+100 Km	DERECHO	2.20	1.20	0.70	0.20	0.00	2.5	2.22	1.21	0.71	0.20	0.00	18.50

Fuente: Elaboración propia 2019



Una vez obtenidos las deflexiones corregidas por temperatura, también se deben de corregir por estacionalidad, pues el ensayo de evaluación deflectométrica con la Viga Benkelman en el tramo del pavimento flexible Sector T'icapata – Comunidad de Pumamarca de la carretera ENACO – Abra Ccorao, se realizó durante el periodo seco. Multiplicaremos por el factor de 1.2, considerando que el tipo de subrasante es arcilla sensible al agua.

Tabla 81. Deflexiones corregidas por estacionalidad

Progresivas	Deflexiones máximas D_0	Deflexiones máximas corregidas
1+683 Km	2.78*1.2	3.34
1+783 Km	2.43*1.2	2.92
1+883 Km	1.90*1.2	2.28
1+983 Km	1.95*1.2	2.34
2+083 Km	1.00*1.2	1.20
2+183 Km	2.91*1.2	3.50
2+283 Km	1.25*1.2	1.50
2+383 Km	2.44*1.2	2.93
2+483 Km	1.80*1.2	2.16
2+583 Km	0.86*1.2	1.03
2+683 Km	1.19*1.2	1.42
2+783 Km	1.31*1.2	1.57
2+883 Km	0.90*1.2	1.08
2+983 Km	2.96*1.2	3.56
3+083 Km	1.60*1.2	1.92
3+183 Km	2.95*1.2	3.54
3+283 Km	2.83*1.2	3.40
3+383 Km	2.76*1.2	3.32
3+483 Km	2.17*1.2	2.60
3+583 Km	3.29*1.2	3.95
3+683 Km	2.08*1.2	2.50
3+783 Km	2.22*1.2	2.66

Fuente: Elaboración propia 2019

Una vez obtenido las deflexiones máximas corregidas por estacionalidad procedemos a obtener los parámetros como deflexión característica, deflexión admisible y radio de curvatura; para realizar una evaluación del tipo estructural con el Método de Rehabilitación de Carreteras en el Perú MTC – CONREVIAl.



- **Deflexión característica**

Para hallar este parámetro, primeramente, se debe de realizar un análisis estadístico de los valores de las deflexiones en cada punto de ensayo.

Generalmente como se mencionó en el Marco teórico, la deflexión característica es definida de la siguiente forma:

$$D_c = D_m + t \cdot d_s$$

D_c : Deflexión característica

D_m : Deflexión media

d_s : Desviación estándar

t : Parámetros que corresponde a un porcentaje de área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la Deflexión característica

La carretera ENACO – Abra Ccorao, según el expediente técnico para el cual fue diseñado el pavimento se tiene un Índice Medio Diario Anual – IMDA de 575 vehículos, lo que lo clasifica como una carretera de Segunda Clase.

Por tanto, para la determinación de la deflexión característica según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC para carreteras de Tercera Clase, viene definida por la siguiente expresión con un 90 % de confiabilidad:

$$D_c = D_m + 1.282 \cdot d_s$$

Las deflexiones que se utilizaron en el análisis estadístico, deben de ser las Deflexiones Máximas, es decir, D_0 el cual es la deflexión que ocurre cuando la carga está ubicada sobre el eje en el punto de ensayo.

Para calcular D_m y d_s en la anterior ecuación procedemos de la siguiente forma:



Tabla 82. Cálculo de la Deflexión Media (Dm) y la desviación estándar (ds)

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
		TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS ESTIMACIONES DEL PORCENTAJE DE VIDA REMANENTE ÚTIL OBTENIDAS A PARTIR DE UNA EVALUACIÓN FUNCIONAL Y UNA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO TICAPATA - PUMAMARCA EN LA					
TRABAJO DE CAMPO : CÁLCULO DEL DEFLEXIÓN MEDIA(Dm) Y LA DESVIACIÓN ESTANDAR(ds)							
DEPARTAMENTO :	CUSCO			PRESIÓN DE INFLADO:	80 PSI		
PROVINCIA :	CUSCO			CARGA DE EJE:	8.2 tn		
DISTRITO :	SAN SEBASTIÁN			MODELO DE LA VIGA BENKELMAN:	ELE 47-1460		
LUGAR:	SECTOR TICAPATA - COMUNIDAD DE PUMAMARCA			PRECISIÓN DEL DIAL:	0.1 mm		
DÍA:	1			PROGRESIVA INICIAL:	1+683 Km		
FECHA:	23/08/2019			PROGRESIVA FINAL:	3+834 Km		
TESISTA:	BACH. VLADIMIR BENITO CÁRDENAS			FORMA DE MEDICIÓN:	INTERCALADA		
PROGRESIVA ORIGINAL DE LA CARRETERA ENACO -ABRA CCORAO	PROGRESIVA RELATIVA	n	D ₀ o D _{máxima}	(D _m - D ₀)	(D _m - D ₀) ²	OBSERVACIONES	
1+683 Km	0+000 Km	1	3.34	-0.85	0.72		
1+783 Km	0+100 Km	2	2.92	-0.43	0.19		
1+883 Km	0+200 Km	3	2.28	0.21	0.04		
1+983 Km	0+300 Km	4	2.34	0.15	0.02		
2+083 Km	0+400 Km	5	1.20	1.29	1.66		
2+183 Km	0+500 Km	6	3.50	-1.01	1.02		
2+283 Km	0+600 Km	7	1.50	0.98	0.97		
2+383 Km	0+700 Km	8	2.93	-0.45	0.20		
2+483 Km	0+800 Km	9	2.16	0.33	0.11		
2+583 Km	0+900 Km	10	1.03	1.46	2.13		
2+683 Km	1+000 Km	11	1.42	1.06	1.13		
2+783 Km	1+100 Km	12	1.57	0.92	0.84		
2+883 Km	1+200 Km	13	1.08	1.41	1.98		
2+983 Km	1+300 Km	14	3.56	-1.07	1.14		
3+083 Km	1+400 Km	15	1.92	0.56	0.32		
3+183 Km	1+500 Km	16	3.54	-1.05	1.10		
3+283 Km	1+600 Km	17	3.40	-0.91	0.84		
3+383 Km	1+700 Km	18	3.32	-0.83	0.69		
3+483 Km	1+800 Km	19	2.60	-0.11	0.01		
3+583 Km	1+900 Km	20	2.95	-1.46	2.14		
3+683 Km	2+000 Km	21	2.50	-0.01	0.00		
3+783 Km	2+100 Km	22	2.66	-0.17	0.03		
		Suma	54.70		Suma	17.29	
			Deflexión Media o $D_m = \frac{\sum D_0}{n}$:	2.49		Desviación estandar o $ds = \sqrt{\frac{(\sum (D_m - D_0)^2)}{n - 1}}$	0.91

Fuente: Elaboración propia 2019

Hay que resaltar que, para el presente tramo de estudio de 2 kilómetros, no se realizó ninguna tramificación, por lo que, se halló la deflexión característica de todo el tramo en estudio. Reemplazando los valores de los parámetros estadísticos en la formula tenemos que:

$$D_c = D_m + 1.282 * ds = 2.49 + 1.282 * 0.91$$

$$D_c = 3.66 \text{ mm}$$



Esta deflexión característica es de una confiabilidad de 90% para carreteras de Segunda Clase con un Índice Medio Diario Anual – IMDA, entre 400 y 2000 vehículos por día, podemos representarla de la siguiente forma.

• **Cálculo de los Radios de Curvatura**

Procedemos de acuerdo a la fórmula citada en el Marco Teórico de la presente investigación, con las deflexiones corregidas.

Tabla 83. Radio de curvatura en metros para el análisis deflectométrico.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS ESTIMACIONES DEL PORCENTAJE DE VIDA REMANENTE ÚTIL OBTENIDAS A PARTIR DE UNA EVALUACIÓN FUNCIONAL Y UNA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO TICAPATA - PUMAMARCA EN LA					INSTITUTO TECNOLÓGICO DE INGENIERÍA CIVIL		
TRABAJO DE CAMPO : CÁLCULO DE RADIO DE CURVATURA									
DEPARTAMENTO :	CUSCO						PRESIÓN DE INFLADO:	80 PSI	
PROVINCIA :	CUSCO						CARGA DE EJE:	8.2 tn	
DISTRITO :	SAN SEBASTIÁN						MODELO DE LA VIGA BENKELMAN:	ELE 47-1460	
LUGAR:	SECTOR TICAPATA - COMUNIDAD DE PUMAMARCA						PRECISIÓN DEL DIAL:	0.1 mm	
DÍA:	1						PROGRESIVA INICIAL:	1+683 Km	
FECHA:	23/08/2019						PROGRESIVA FINAL:	3+834 Km	
TESISTA:	BACH. VLADIMIR BENITO CÁRDENAS						FORMA DE MEDICIÓN:	INTERCALADA	
PROGRESIVA ORIGINAL DE LA CARRETERA ENACO -ABRA CCORAO	PROGRESIVA RELATIVA	CARRIL	RESULTADOS DE DEFLEXIONES CORREGIDAS (10^{-2} mm)					ESPESOR DE ASFALTO EN	RADIO DE CURVATURA (m)
			D ₀	D ₂₅	D ₅₀	D ₁₀₀	D _∞		
1+683 Km	0+000 Km	IZQUIERDO	333.7	143.0	59.6	0.0	0.00	2.5	16.39
1+783 Km	0+100 Km	DERECHO	291.7	95.2	11.9	0.0	0.00	2.5	15.91
1+883 Km	0+200 Km	IZQUIERDO	228.1	120.1	12.0	0.0	0.00	2.5	28.92
1+983 Km	0+300 Km	DERECHO	234.0	228.0	120.0	12.0	0.00	2.5	520.83
2+083 Km	0+400 Km	IZQUIERDO	119.7	95.8	71.8	23.9	0.00	2.5	130.53
2+183 Km	0+500 Km	DERECHO	349.7	223.1	96.5	42.2	0.00	2.5	24.68
2+283 Km	0+600 Km	IZQUIERDO	150.2	114.1	60.1	24.0	0.00	2.5	86.72
2+383 Km	0+700 Km	DERECHO	293.1	197.4	113.7	35.9	0.00	2.5	32.65
2+483 Km	0+800 Km	IZQUIERDO	215.8	143.9	59.9	0.0	0.00	2.5	43.45
2+583 Km	0+900 Km	DERECHO	102.7	78.5	30.2	0.0	0.00	2.5	129.30
2+683 Km	1+000 Km	IZQUIERDO	142.4	95.0	17.8	11.9	0.00	2.5	65.82
2+783 Km	1+100 Km	DERECHO	156.7	144.7	72.3	0.0	0.00	2.5	259.24
2+883 Km	1+200 Km	IZQUIERDO	107.7	95.8	83.8	59.9	0.00	2.5	261.07
2+983 Km	1+300 Km	DERECHO	355.6	72.3	60.3	36.2	0.00	2.5	11.03
3+083 Km	1+400 Km	IZQUIERDO	192.4	180.4	168.3	72.1	0.00	2.5	259.90
3+183 Km	1+500 Km	DERECHO	353.6	182.7	106.1	64.8	0.00	2.5	18.28
3+283 Km	1+600 Km	IZQUIERDO	340.1	309.7	139.7	6.1	0.00	2.5	102.92
3+383 Km	1+700 Km	DERECHO	331.7	242.8	159.9	112.5	0.00	2.5	35.17
3+483 Km	1+800 Km	IZQUIERDO	259.9	205.5	60.5	6.0	0.00	2.5	57.44
3+583 Km	1+900 Km	DERECHO	394.7	188.3	66.8	6.1	0.00	2.5	15.13
3+683 Km	2+000 Km	IZQUIERDO	250.0	131.0	53.6	41.7	0.00	2.5	26.25
3+783 Km	2+100 Km	DERECHO	266.0	145.1	84.6	24.2	0.00	2.5	25.85

Fuente: Elaboración propia 2019



- **Deflexión admisible**

Para el cálculo de la deflexión admisible, debemos de calcular el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas para el periodo de diseño. Para ello se necesita los valores del Índice Medio Diario Anual – IMDA y los Factores Destructivos de los vehículos – FD. Estos últimos son indicados en las Normas y Reglamentos Peruanos.

Según Gómez Allende y Quispe Mejía (Tesis de Pregrado, 2017), refiere que, según el Expediente Técnico de la carretera en estudio, su Índice Medio Diario Anual – IMDA para el año 2008 fue de 575 vehículos por día.

Hay que tener en cuenta que el proceso de construcción de la carretera fue entre los años del 2008 al 2011, a partir del 2011 se pone en operación dicha vía con un periodo de diseño de 10 años y un tráfico generado de 15% para mejoramiento, con una Tasa de Crecimiento PBI de 4.3 % y una Tasa de Crecimiento Poblacional de 1%.

La composición del tránsito no se conoce, por lo que podemos asumir los porcentajes calculados en el Índice Medio Diario Anual del presente año 2019, el cual se muestra a continuación.

Tabla 84. Cálculo de la composición del Tránsito en el año 2008

Tipo de vehículo	Porcentajes del I.M.D.A del 2019 (%)	Composición del Tránsito del 2008 con I.M.D.A=575 veh/día
Auto	33.3	191
Station Vagon	27.8	160
Pick Up	20.2	116
Panel	1.0	6
Rural Combi	5.5	32
Micro	0.1	0

Continúa...



Tipo de vehículo	Porcentajes del I.M.D.A del 2019 (%)	Composición del Tránsito del 2008 con I.M.D.A=575 veh/día
Bus de 2 Ejes	0.3	2
Camión de 2 Ejes	9.7	56
Camión de 3 Ejes	1.7	10
Camión de 4 Ejes	0.3	2
Semitrayler ≥ 3S3	0.2	1

Fuente: Elaboración propia 2019

Tabla 85. Factores de equivalencia de Carga por tipo de vehículo

Tipo de Vehículo	Descripción	Eje		Eje Posteriores		EE _{8.2} TN
		Delantero	1ro	2do		
Vehículo Ligero	Carga (Tn)	1	1			2
	F.E.C.	0.00053	0.00053			0.00106
Bus de 2 Ejes	Carga (Tn)	7	11			18
	F.E.C.	1.265	3.238			4.503
Camión de 2 Ejes	Carga (Tn)	7	11			18
	F.E.C.	1.265	3.238			4.503
Camión de 3 Ejes	Carga (Tn)	7	18			25
	F.E.C.	1.265	2.019			3.284
Camión de 4 Ejes	Carga (Tn)	7	23			30
	F.E.C.	1.265	1.508			2.773
Semitrayler ≥ 3S3	Carga (Tn)	7	18	25		50
	F.E.C.	1.265	2.019	1.706		4.990

Fuente: Elaboración en base al Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotécnia Pavimentos



Debemos de hallar el N₁₈, número total de ejes equivalentes a 18 kilo-libras o 8.2 toneladas para el cálculo de la deflexión admisible.

Tabla 86. Cálculo del EAL de diseño para hallar la deflexión admisible en el pavimento flexible del tramo en estudio

TIPO DE VEHÍCULO	IMDA 2008	IMDA 2011	FACTOR DE CARGA	TASA DE CRECIMIENTO (%)	N	EAL 2011	N	EAL 2012	N	EAL 2013	N	EAL 2014	N	EAL 2015	N	EAL 2016	N	EAL 2017	N	EAL 2018	N	EAL 2019	N	EAL 2020
Vehículo Ligero	504	519.3	0.00106	1	1	201	2	404	3	609	4	816	5	1025	6	1236	7	1449	8	1665	9	1882	10	2102
Bus de 2 Ejes	2	2.1	4.503	1	1	3387	2	6807	3	10262	4	13752	5	17276	6	20836	7	24431	8	28062	9	31729	10	35433
Camión de 2 Ejes	56	63.5	4.503	4.3	1	104433	2	213356	3	326962	4	445454	5	569041	6	697943	7	832387	8	972612	9	1118867	10	1271411
Camión de 3 Ejes	10	11.3	3.284	4.3	1	13600	2	27785	3	42581	4	58012	5	74107	6	90894	7	108402	8	126664	9	145711	10	165577
Camión de 4 Ejes	2	2.3	2.773	4.3	1	2297	2	4692	3	7191	4	9797	5	12515	6	15350	7	18307	8	21391	9	24608	10	27962
Semi-trayler mayor a T3S3	1	1.1	4.99	4.3	1	2067	2	4222	3	6470	4	8815	5	11260	6	13811	7	16472	8	19246	9	22141	10	25159
TOTAL	575	599.6				125984		257267		394075		536646		685224		840069		1001448		1169640		1344937		1527644
N18 (En millones)						0.062992		0.128633		0.197038		0.268323		0.342612		0.420035		0.500724		0.584820		0.672469		0.763822
Deflexión Admisible (x10⁻² mm)						206.7		172.9		155.4		143.9		135.4		128.6		123.1		118.4		114.4		110.8

Fuente: Elaboración propia 2019



Observamos que como la deflexión característica hallada obtenida fue de 3.66 mm y la deflexión admisible para el año 2019 es de 1.144 mm, el cual graficamos de la siguiente forma.

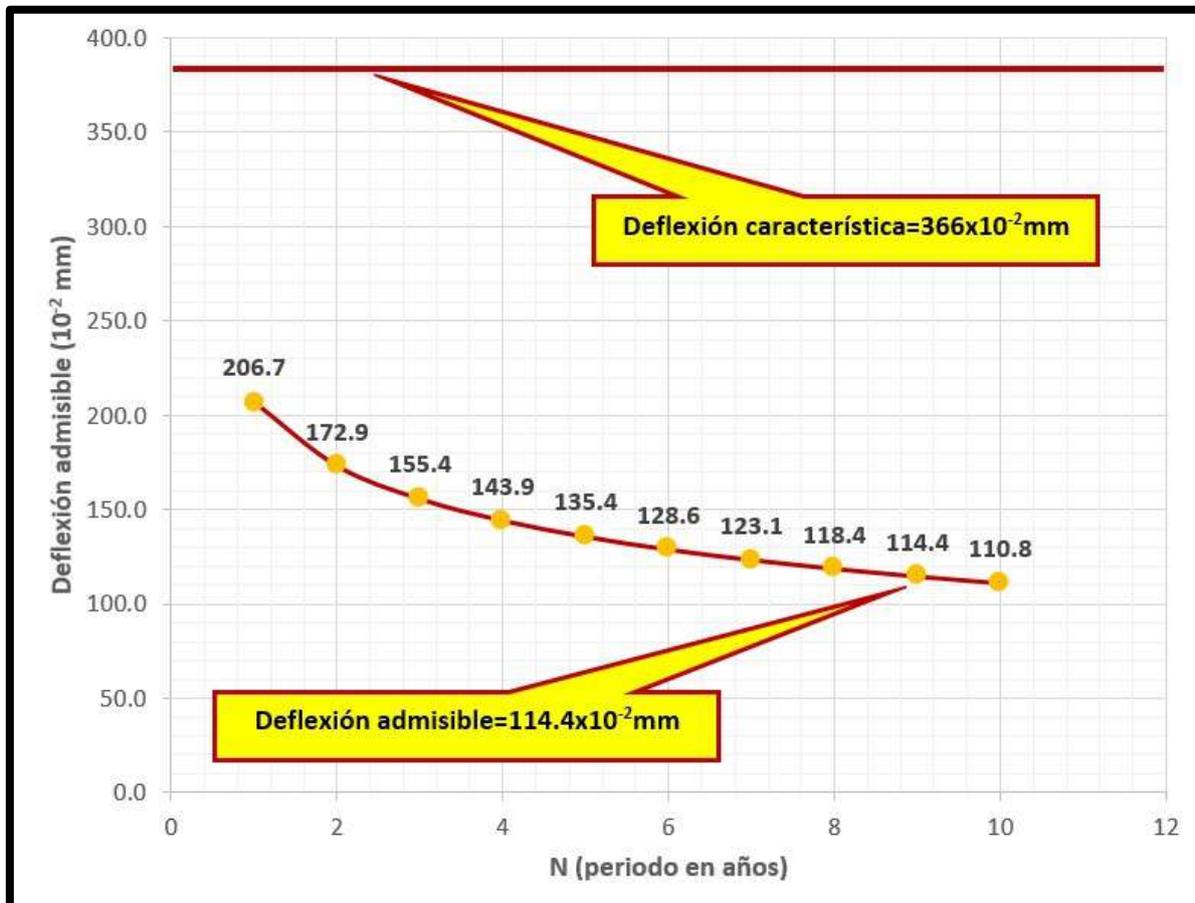


Figura 116. Grafico deflexión admisible con deflexión característica. Fuente: Elaboración propia 2019 en base a la Metodología CONREVIAL - MTC

Del cuadro anterior podemos apreciar que la recta horizontal de la deflexión característica de 3.66 milímetros, no corta al gráfico hallado por la curva de deflexión admisible para los diferentes años en el periodo útil del pavimento.

Por lo que, podemos deducir que el pavimento en general ya cumplió con los Ejes Equivalentes para el cual fue diseñado y se encuentra fatigada.

Es necesario realizar un nuevo diseño de un nuevo pavimento para un nuevo periodo de vida útil.



4. Capítulo IV: Resultados

4.1. Índice Medio Diario Anual – IMDA

Podemos resumir los volúmenes horarios en las Estaciones 1 y 2 de la siguiente forma:

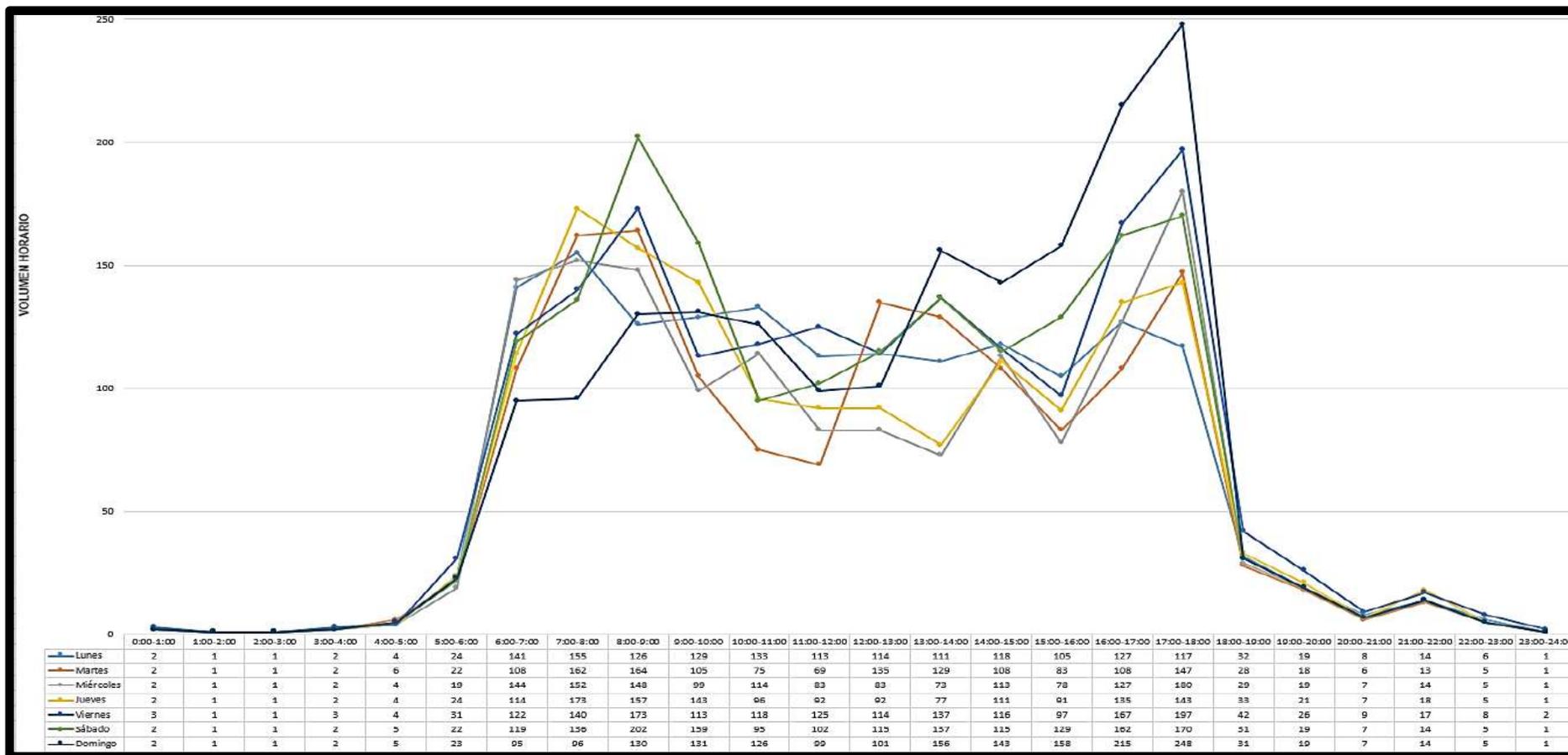


Figura 117. Distribución del volumen horario en la Estación 1. Fuente: Elaboración propia 2019



La composición porcentual del tránsito por día de la semana en la Estación 1 se muestra a continuación:

Tabla 87. Composición porcentual del tránsito de acuerdo a tipo de vehículo

Día de la semana	Tipo de vehículo	
	Vehículo Ligero (%)	Vehículo Pesado (%)
Lunes	87	13
Martes	88	12
Miércoles	88	12
Jueves	87	13
Viernes	87	13
Sábado	88	12
Domingo	89	11

Fuente: Elaboración propia 2019

El porcentaje de vehículos que se dirigen en forma ascendente y en forma descendente, contados en la Estación 1 es el siguiente:

Tabla 88. Distribución por sentido de los vehículos en porcentaje

Día de la semana	Dirección	
	Sentido ascendente (%)	Sentido descendente (%)
Lunes	51	49
Martes	51	49
Miércoles	49	51
Jueves	50	50
Viernes	50	50
Sábado	50	50
Domingo	49	51

Fuente: Elaboración propia 2019



A continuación, se muestra el volumen horario de la Estación 2 en la semana del conteo vehicular.

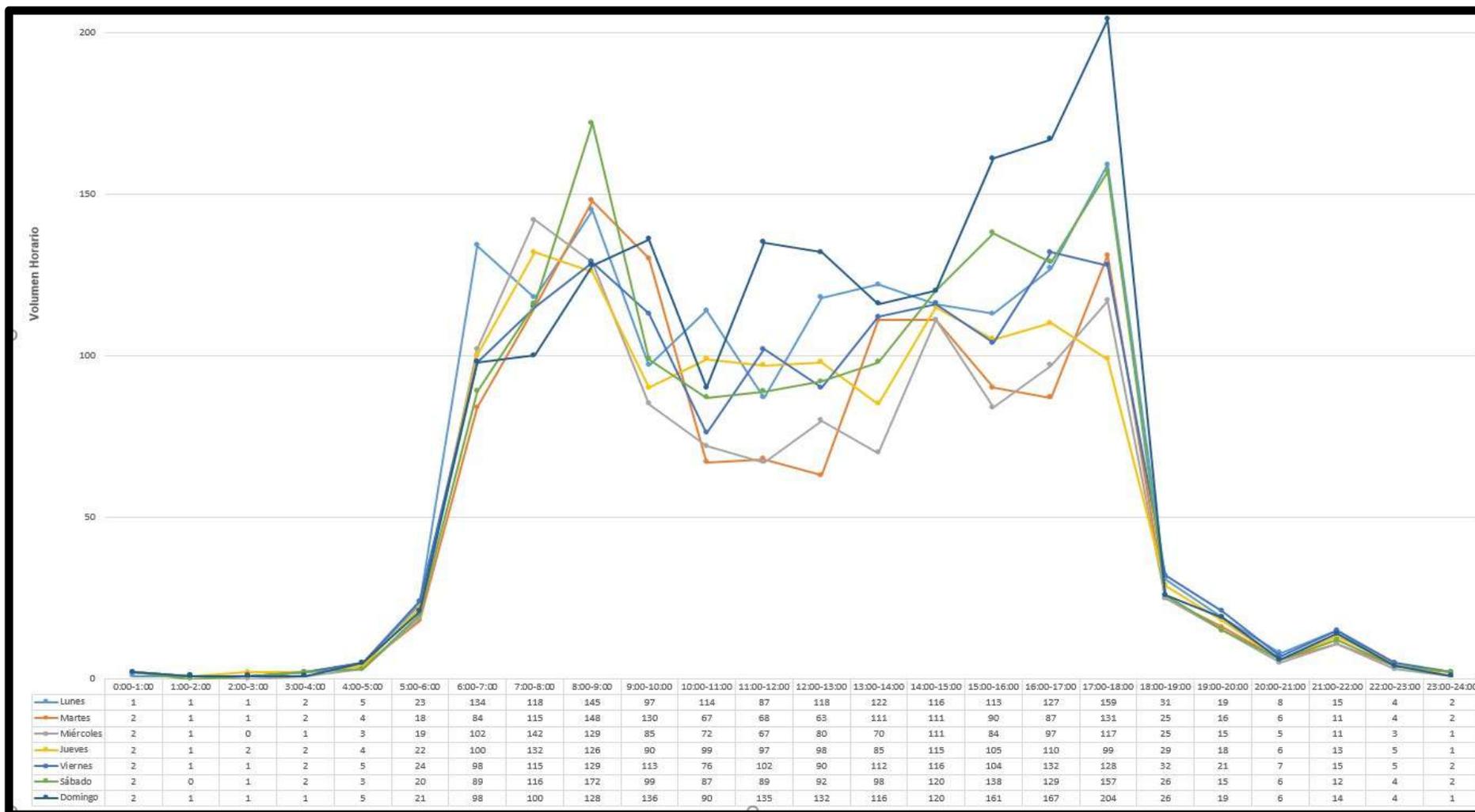


Figura 118. Distribución del volumen horario en la Estación 2. Fuente: Elaboración propia 2019



La composición porcentual del tránsito por día de la semana en la Estación 2 se muestra a continuación:

Tabla 89. Composición porcentual del tránsito de acuerdo a tipo de vehículo

Día de la semana	Tipo de vehículo	
	Vehículo Ligero (%)	Vehículo Pesado (%)
Lunes	87	13
Martes	87	13
Miércoles	88	12
Jueves	88	12
Viernes	87	13
Sábado	88	12
Domingo	89	11

Fuente: Elaboración propia 2019

El porcentaje de vehículos que se dirigen en forma ascendente y en forma descendente, contados en la Estación 2 es el siguiente:

Tabla 90. Distribución por sentido de los vehículos en porcentaje

Día de la semana	Dirección	
	Sentido ascendente (%)	Sentido descendente (%)
Lunes	50	50
Martes	50	50
Miércoles	50	50
Jueves	51	49
Viernes	50	50
Sábado	50	50
Domingo	50	50

Fuente: Elaboración propia 2019



El siguiente cuadro muestra el Índice Medio Diario Anual – IMDA y los correspondientes valores promedios de cada tipo de vehículos, que se utilizaron de base en la presente tesis.

Tabla 91. Resumen de los valores de base por tipo de vehículo

Tipo de vehículo		Número promedio de vehículos (veh/día) (En ambos sentidos)	Porcentaje (%)
Vehículos Ligeros	Auto	543	33.3
	Station Vagon	453	27.8
	Pick Up	329	20.2
	Panel	16	1.0
	Rural Combi	90	5.5
	Micro	1	0.1
Vehículos Pesados o de Carga	Bus de 2 Ejes	5	0.3
	Camión de 2 Ejes	159	9.7
	Camión de 3 Ejes	28	1.7
	Camión de 4 Ejes	5	0.3
	Semitrayler ≥ 3S3	3	0.2
Índice Medio Diario Anual - IMDA		1632 veh/día	100

Fuente: Elaboración propia 2019

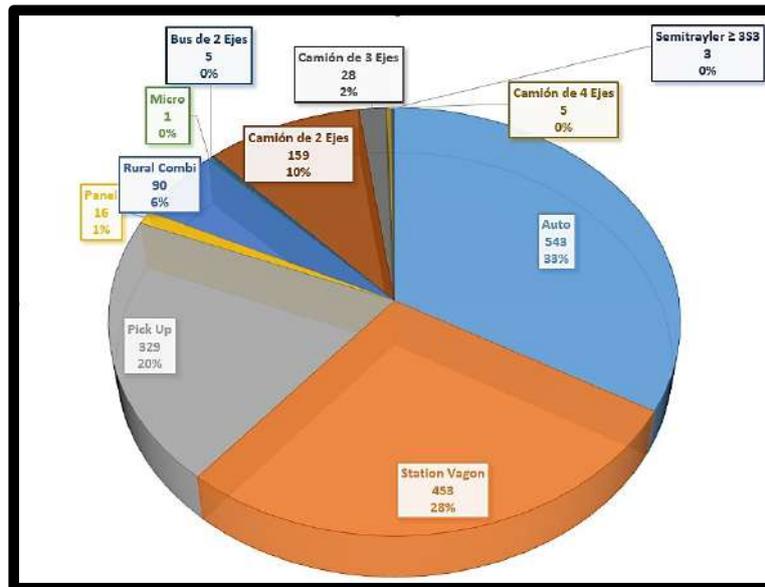


Figura 119. Composición del Trafico en porcentaje del tramo en estudio. Fuente: Elaboración propia 2019

En cuanto al valor del Índice Medio Diario Anual – IMDA, podemos compararla con los valores proyectados del expediente.

Tabla 92. Valores del Índice Medio Diario Anual – IMDA del expediente técnico y actuales

Índice Medio Diario Anual - IMDA	Valor
Obtenido del conteo vehicular para el año 2019	1632 veh/día
Obtenido del expediente técnico en el año 2008	575 veh/día

Fuente: Elaboración propia 2019 y Expediente Técnico de Carretera ENACO – Abra Ccorao

Observamos que existe una diferencia adicional de 509 vehículos por día entre el obtenido actualmente y el proyectado para el 2019 del expediente técnico.

4.2. Estimación del porcentaje de vida útil remanente a partir de una evaluación funcional

Las unidades de muestra evaluadas con el Índice de Rugosidad Internacional –IRI y su correspondiente clasificación según el Índice de Serviciabilidad –PSI podemos resumirla en el siguiente cuadro.

Tabla 93. Cantidad de Unidades de Muestra por tipo de valor PSI

Rangos del PSI	Cuenta de Unidades de Muestra	Porcentaje
MUY MALO [0-1 PSI]	7	5%
MALO [1-2 PSI]	26	18%
REGULAR [2-3 PSI]	36	25%
BUENO [3-4 PSI]	75	52%
EXCELENTE [4-5 PSI]	0	0 %
Total general	144	100%

Fuente: Elaboración propia 2019

Del cuadro anterior podemos extraer el siguiente gráfico de barras que nos permita interpretar de mejor y el estado de las Unidades de Muestra en el carriz izquierdo de descendente.

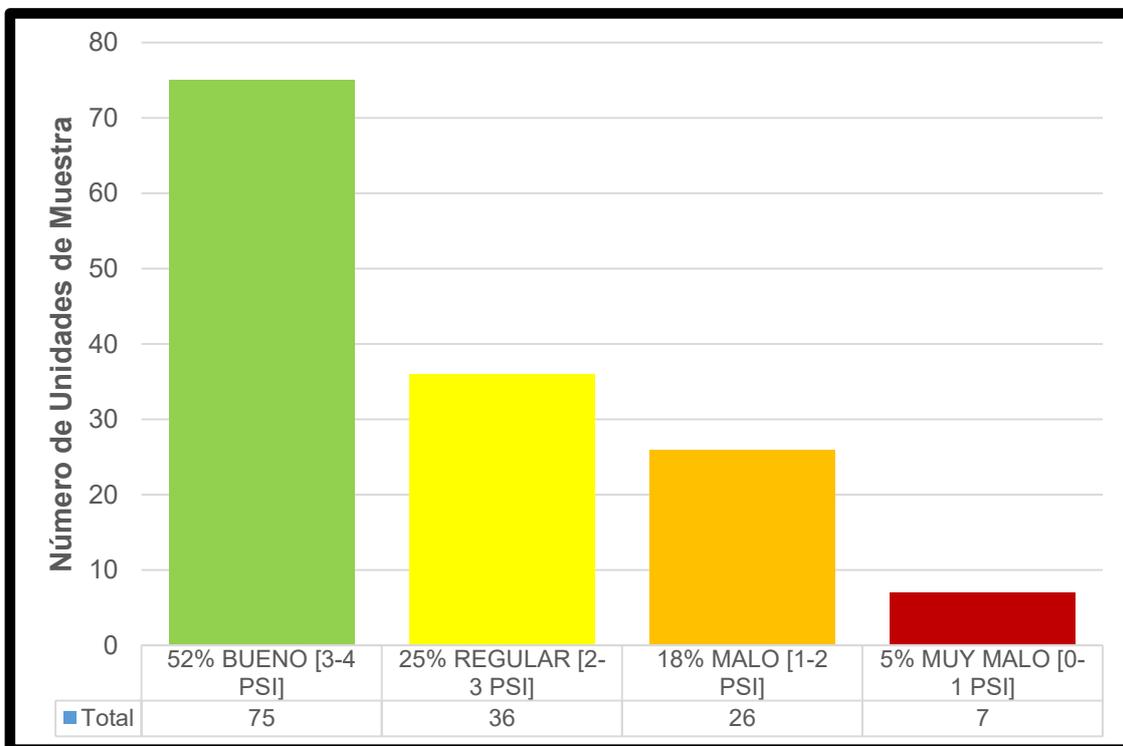


Figura 120. Cualificación de las Unidades de Muestra en función de la escala de Transitabilidad, del carriz izquierdo. Fuente: Elaboración Propia 2019



Para efectos de evaluación en una carretera, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC, en Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras (EG-2013) establece que los valores del Índice de Rugosidad Internacional – IRI, se deben medir y reportar los valores cada 100 metros. A continuación se muestra un cuadro donde los tramos son de 100, 200 y 500; en el carril izquierdo de descendente del tramos en estudio. Es de notar que el valor de Índice de Rugosidad IRI en tramos de mayor longitud es simplemente un promedio aritmético de los sub-tramos que lo comprende, si son diferentes los intervalos comprendidos se toma el promedio ponderado.

Tabla 94. Variación de IRI (m/km) según la longitud de evaluación

Estación Inicial (Km)	Estación Final (Km)	Valores del IRI (m/km) a diferentes tramos de medida			
		Cada 100 m	Cada 200 m	Cada 1000 m	Todo el Tramo
0	0.1	2.6	4.4	3.7	4.007
0.1	0.2	19.0			
0.2	0.3	3.9	3.4		
0.3	0.4	4.0			
0.4	0.5	4.5	4.0		
0.5	0.6	2.4			
0.6	0.7	3.0	3.6		
0.7	0.8	6.5			
0.8	0.9	3.2	3.2		
0.9	1	3.7			
1	1.1	4.3	8.4	4.4	
1.1	1.2	5.0			
1.2	1.3	12.6	4.0		
1.3	1.4	4.5			
1.4	1.5	3.0	3.8		
1.5	1.6	10.2			
1.6	1.7	8.2	2.0		
1.7	1.8	3.4			
1.8	1.9	3.2	3.6		
1.9	2	2.1			
2	2.1	1.3	3.7	3.7	
2.1	2.151	1.3			

Fuente: Elaboración propia 2019



Los anteriores valores del Índice de Rugosidad Internacional – IRI podemos graficarlos cada 100 metros para el carril izquierdo descendente o de descendente, para poder observar su variación en el tramo de estudio.

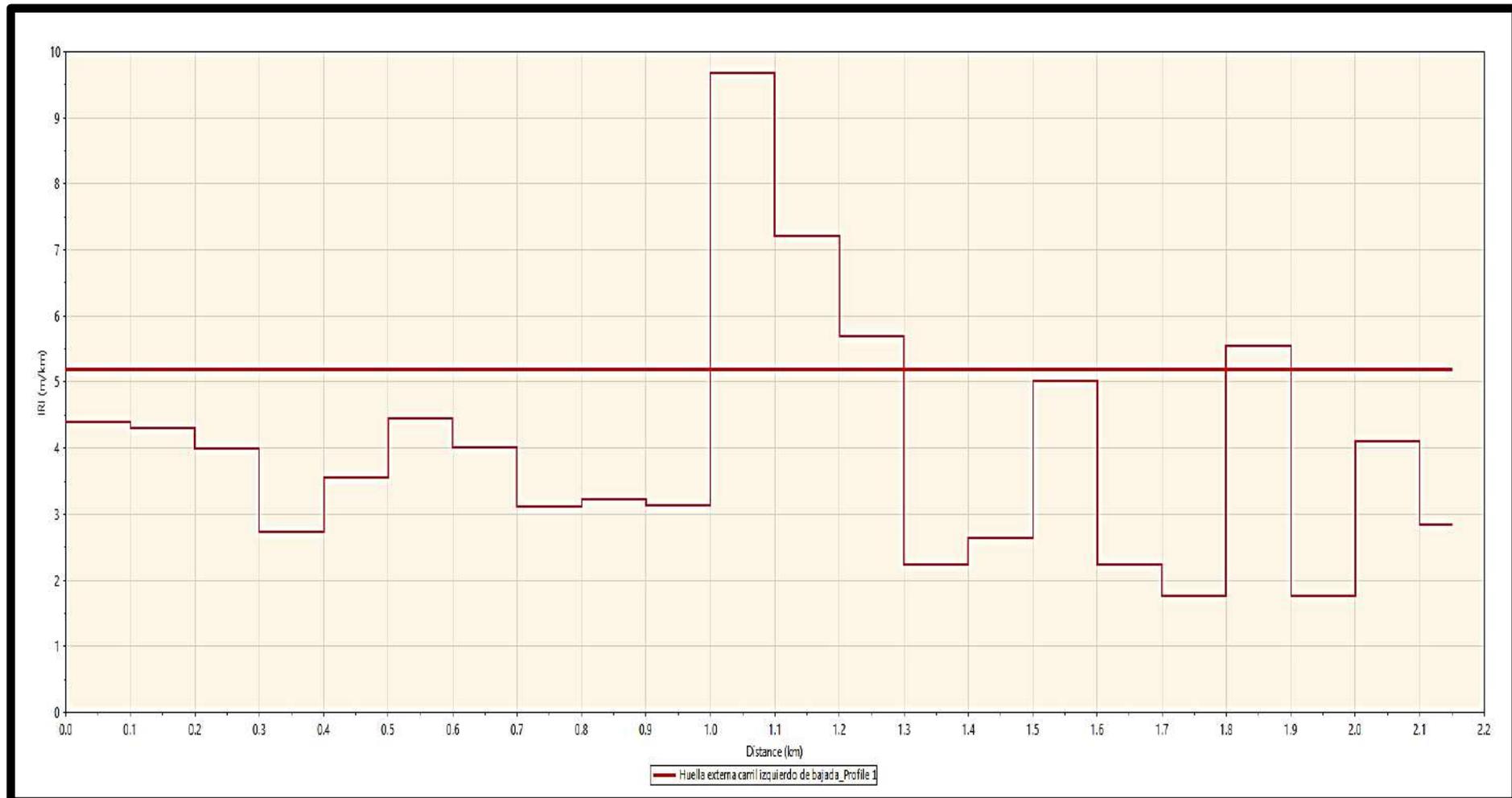


Figura 121. Valores del Índice de Rugosidad Internacional – IRI cada 100 metros. Fuente: Software ProVAL 3.61.30



Igualmente, para el carril derecho ascendente podemos resumir el Índice de Serviabilidad –PSI de las unidades de muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 95. Cantidad de Unidades de Muestra por tipo de valor PSI

Rangos del PSI	Cuenta de Unidades de Muestra	Porcentaje
MUY MALO [0-1 PSI]	15	5%
MALO [1-2 PSI]	23	18%
REGULAR [2-3 PSI]	39	25%
BUENO [3-4 PSI]	57	52%
EXCELENTE [4-5 PSI]	10	0 %
Total general	144	100%

Fuente: Elaboración propia 2019

Del cuadro anterior podemos extraer el siguiente gráfico de barras que nos permita interpretar de mejor y el estado de las Unidades de Muestra en el carriz derecho de ascendente.

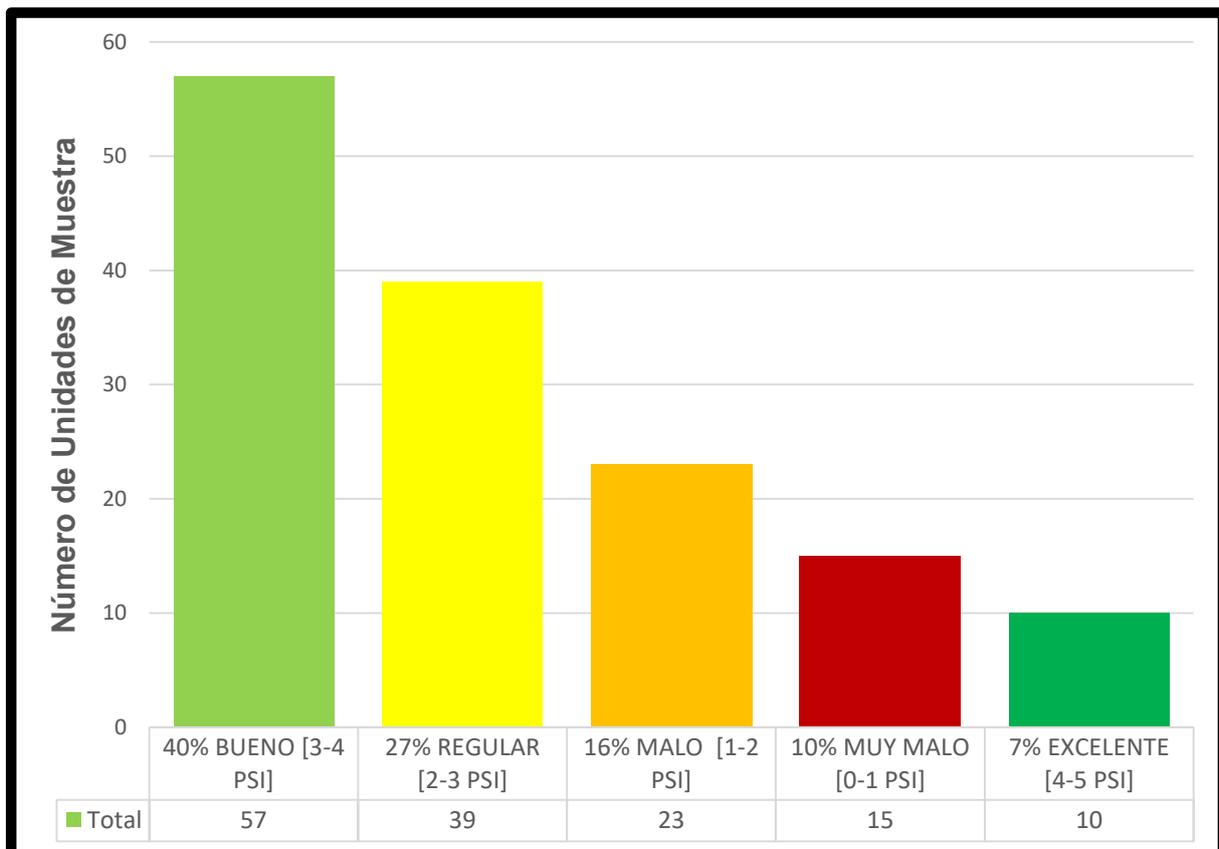


Figura 122. Cualificación de las Unidades de Muestra en función de la escala de Transitabilidad, del carril derecho. Fuente: Elaboración Propia 2019



Para el carril derecho de ascendente también se reporta los valores cada 100 metros, según recomendaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. A continuación se muestra un cuadro donde los tramos son de 100, 200 y 500. Es de notar también que igualmente como en el carril izquierdo, el valor de Índice de Rugosidad IRI en tramos de mayor longitud es simplemente un promedio aritmético de los sub-tramos que lo comprende.

Tabla 96. Variación de IRI (m/km) según la longitud de evaluación

Estación Inicial (Km)	Estación Final (Km)	Valores del IRI (m/km) a diferentes tramos de medida				Todo el Tramo
		Cada 100 m	Cada 200 m	Cada 1000 m		
0	0.1	2.6	10.8	5.3	5.184	
0.1	0.2	19.0				
0.2	0.3	3.9	4.0			
0.3	0.4	4.0				
0.4	0.5	4.5	3.5			
0.5	0.6	2.4				
0.6	0.7	3.0	4.7			
0.7	0.8	6.5				
0.8	0.9	3.2	3.5			
0.9	1	3.7				
1.0	1.1	4.3	4.6	5.6		
1.1	1.2	5.0				
1.2	1.3	12.6	8.6			
1.3	1.4	4.5				
1.4	1.5	3.0	6.6			
1.5	1.6	10.2				
1.6	1.7	8.2	5.8			
1.7	1.8	3.4				
1.8	1.9	3.2	2.6	1.3		
1.9	2	2.1				
2.0	2.1	1.3				
2.1	2.151	1.3				

Fuente: Elaboración propia 2019



Los anteriores valores del Índice de Rugosidad Internacional – IRI podemos graficarlos cada 100 metros para el carril izquierdo ascendente o de ascendente, para poder observar su variación en el tramo de estudio.

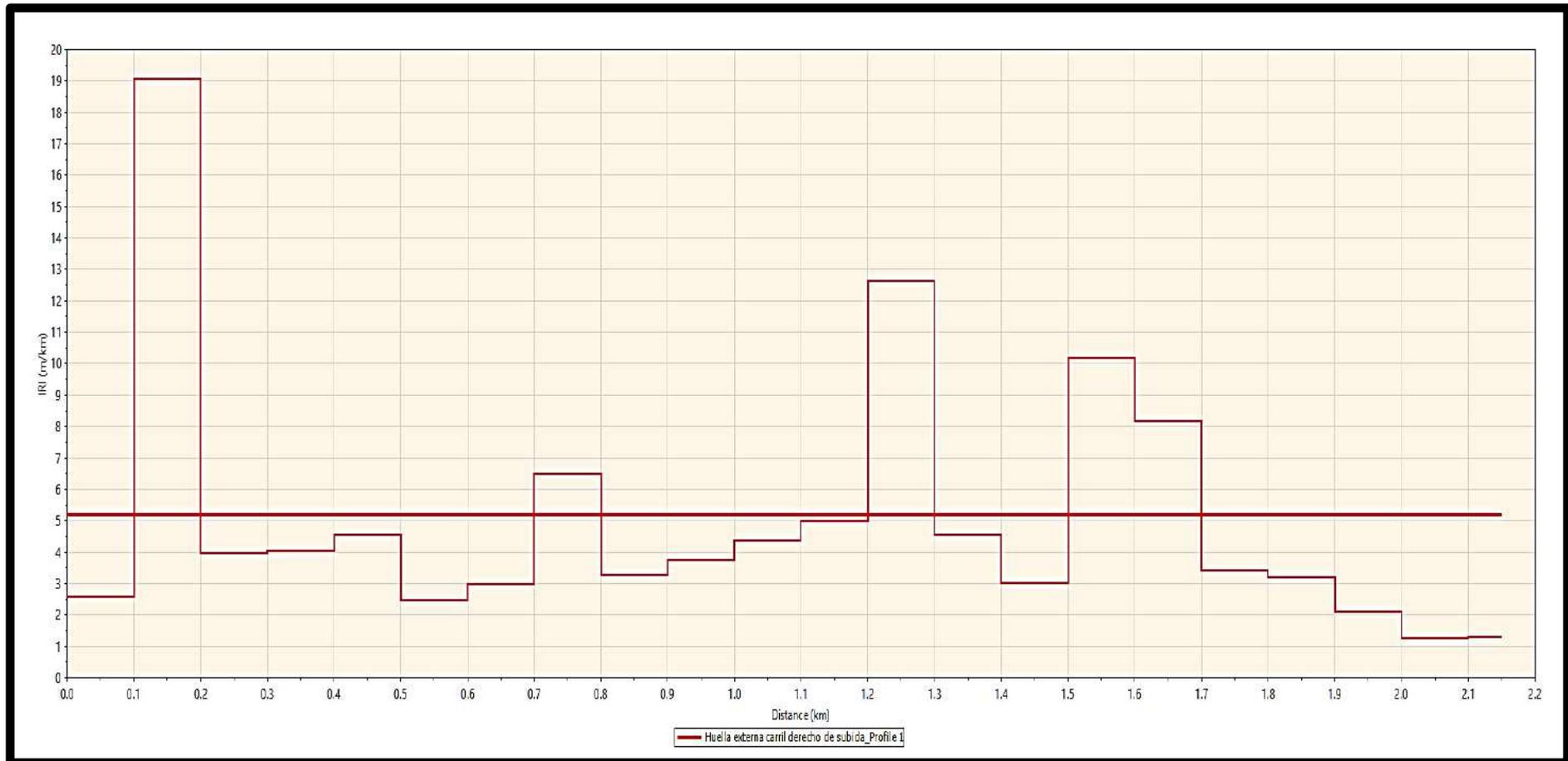


Figura 123. Variación del Índice de Rugosidad Internacional – IRI por cada 100 en el tramo de estudio. Fuente: Software ProVAL 3.61.30



De los dos carriles anteriormente analizados, obtenemos el Índice de Rugosidad Internacional promedio de 4.596 m/km y un Índice de Serviciabilidad Presente – PSI de 2.17.

De acuerdo a la evaluación funcional con equipos topográficos, obtenemos un índice que califica al tramo del pavimento casi finalizando a su periodo de vida útil.

Con la distribución Weibull obtenemos una vida remanente útil de 32.9% del pavimento.

4.3. Estimación del porcentaje de vida útil remanente a partir de una evaluación estructural

En cuanto a las deflexiones máximas corregidas por relación del brazo de la Viga Benkelman, por temperatura y por estacionalidad; podemos obtener el siguiente deflectograma.

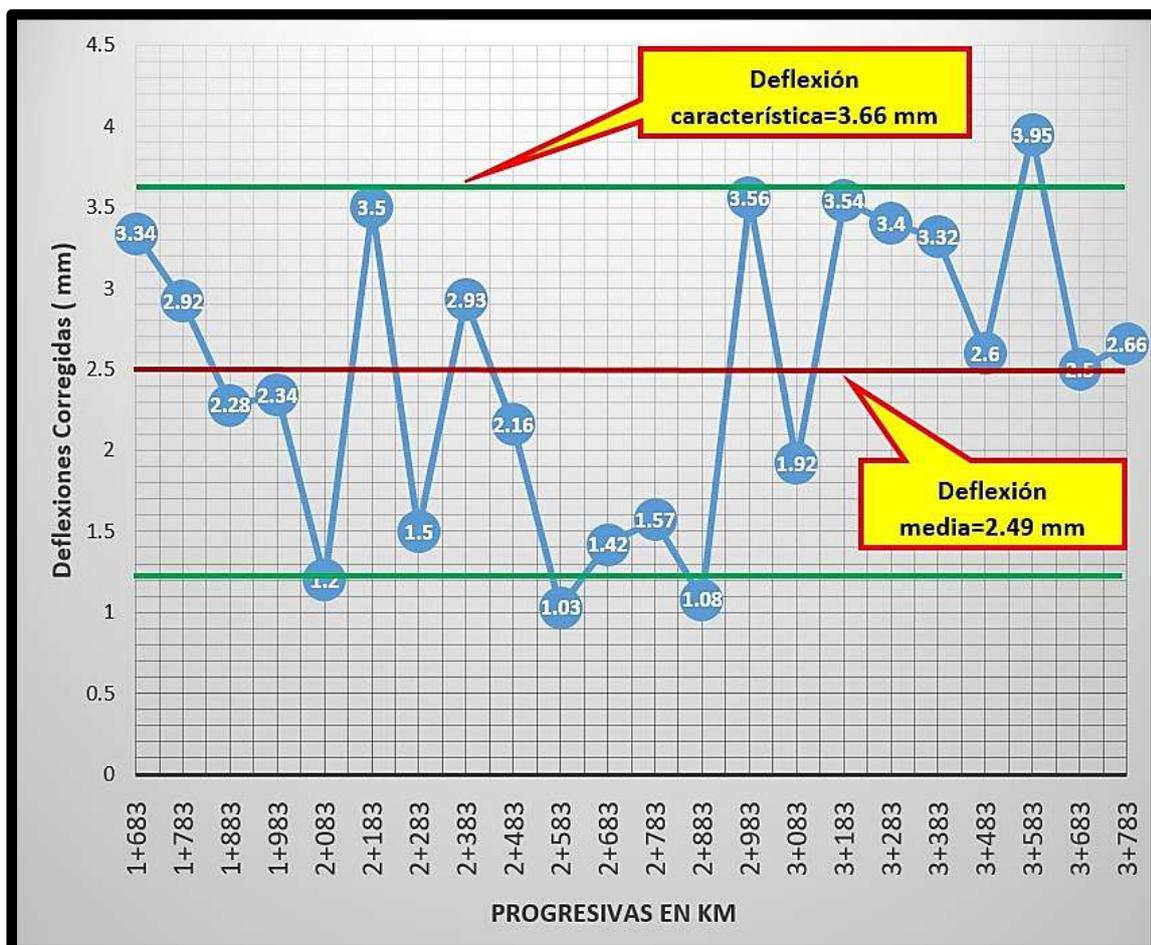


Figura 124. Análisis estadístico y deflectograma. Fuente: Elaboración propia 2019



En el deflectograma anterior se puede apreciar que la deflexión máxima alcanzada fue de 3.95 milímetros en la progresiva 3+583 Km; y la deflexión mínima fue de 1.03 milímetros en la progresiva 2+583 Km. También se puede apreciar que en el tramo la deflexión media fue de 2.49 milímetros y la deflexión característica obtenida fue de 3.66 milímetros.

A continuación, se muestra un gráfico de la variación del Radio de Curvatura calculado, por cada progresiva en el tramo Sector de T'icapata – Comunidad de Pumamarca, de la Carretera ENACO – Abra Ccorao.

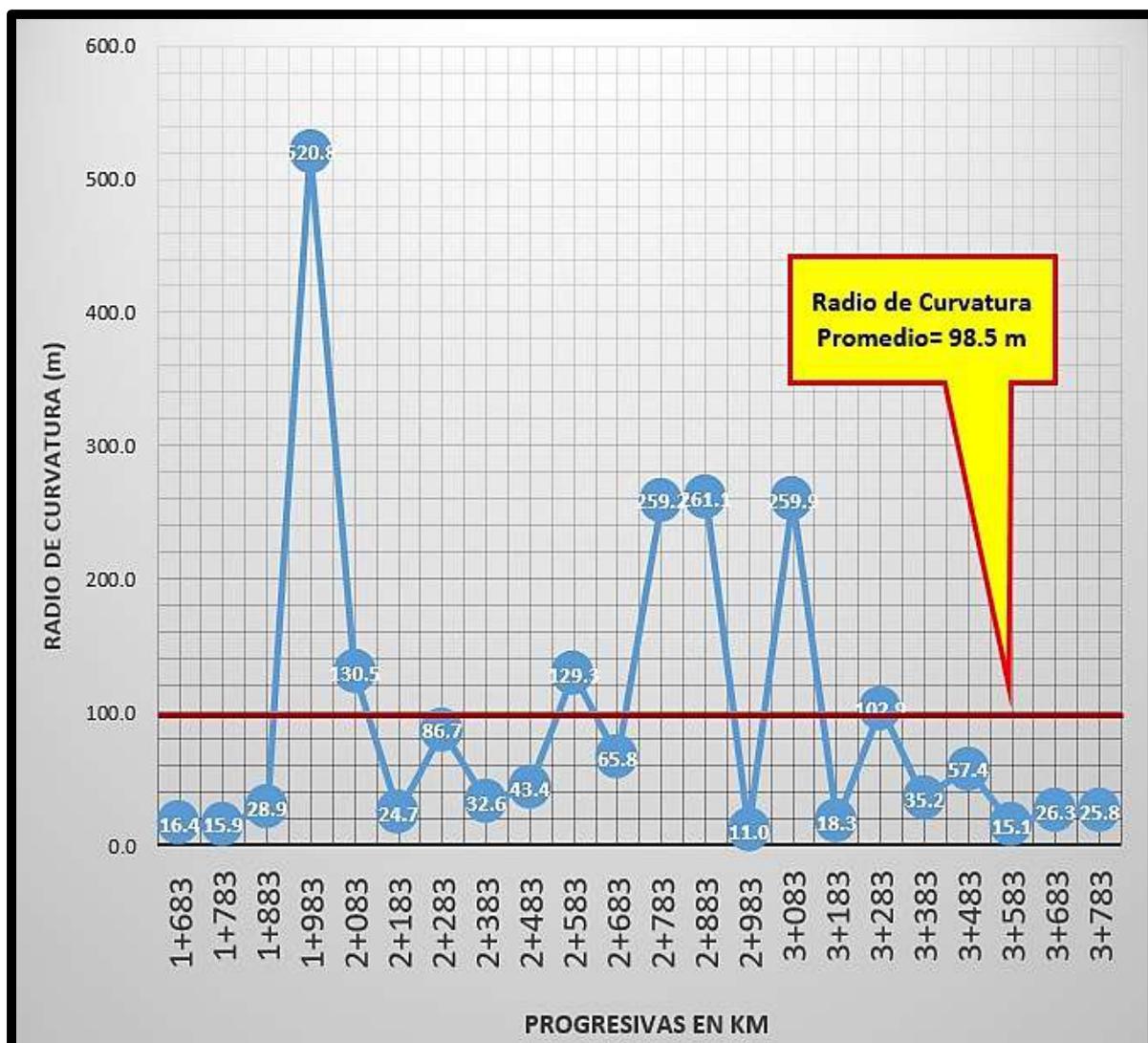


Figura 125. Variación del radio de curvatura en el tramo en estudio. Fuente: Elaboración propia 2019



Finalmente, del ensayo de evaluación estructural con la Viga Benkelman en el tramo de estudio, deducimos que la estructura no presenta vida remanente útil.

Una vez calculado los valores Deflexión Característica, Deflexión Admisible y Radio de Curvatura, según el cuadro Juicio de la capacidad estructural del pavimento establecido por el Consorcio de Rehabilitación de Carreteras CONREVIAl – MTC.

Los anteriores valores hallados, hacen que la estructura del pavimento se encuadre en el primer caso en donde la describe de la siguiente manera:

La Deflexión característica es superior a la admisible y los radios de curvatura son elevados o aceptables. Visualmente el tramo en estudio no presenta fallas del tipo estructural. En cuanto al estado estructural, es una estructura infra-diseñada, pero la capacidad portante de las capas decrece en profundidad; y se recomienda examinar fecha y tipo de las últimas obras ejecutadas, para justificar el estado del pavimento.

4.4. Análisis comparativo entre los porcentajes de Vida Remanente Útil a partir de la evaluación funcional y la evaluación estructural

Para la evaluación funcional en la presente investigación se utilizó equipos topográficos como la Mira y el Nivel del Ingeniero; y para la evaluación estructural se utilizó la Viga Benkelman en el tramo en estudio.

Podemos realizar un resumen de los equipos utilizados, normas y metodologías utilizadas y el resultado obtenido de porcentaje de vida remanente útil en la presente investigación, al evaluar el pavimento flexible del tramo Sector T'icapata – Comunidad de Pumamarca, en la carretera ENACO – Abra Ccorao.



Tabla 97. Tipo de evaluación, equipos y metodología utilizada en la evaluación del pavimento flexible

Tipo de evaluación	Equipo utilizado	Metodología Utilizada	Vida útil remanente
Funcional	Mira y Nivel	Distribución Weibull	32.9 %
Estructural	Viga Benkelman	Consortio de Rehabilitacion de Carreteras – CONREVIAL	0%

Fuente: Elaboración propia 2019

En la evaluación funcional con los equipos topográficos de Mira y Nivel se utilizó para calcular el perfil longitudinal ubicado a 1.10 metros del borde del pavimento, tanto del carril descendente como el carril ascendente.

El perfil longitudinal obtenido según la clasificación de equipos del Banco Mundial en 1985, es un perfil de calidad aceptable, para el posterior cálculo de Índice de Rugosidad Internacional – IRI.

El perfil longitudinal pudo haber sido obtenido por otros métodos de mucho mayor rendimiento en nuestro medio, como el Rugosímetro de Merlin, Bump Integrator o Acelerómetro como aplicativo en un móvil, pero una de las desventajas de estos métodos es que, según el Banco Mundial en 1985 los clasifica como equipos de Clase 2, pues no miden directamente el perfil longitudinal de la carretera, sino lo que miden es dinámica del vehículo o la rueda la transitar por la carretera.

Otra de las razones por la cual en la investigación se utilizó la mira y nivel topográfico, es la utilización de un perfil longitudinal de calidad aceptable, pues en el artículo de Ramirez Beltrán y Colucci (2001) para el cálculo de la vida remanente útil los autores utilizan el Índice de Rugosidad Internacional – IRI, calculado a través del Dipstick el



cual es un instrumento que obtiene perfiles de alta calidad. Y pues, el perfil calculado con mira y nivel topográfico casi se puede equiparar al calculado con el instrumento anteriormente descrito.

El Índice de Serviciabilidad Presente – PSI, calculado a partir de la evaluación funcional fue de 2.17, cercano al valor de 2.0 de Índice de serviciabilidad recomendado por Ministerio de Transportes, para carreteras de segunda clase con un Índice Medio Diario Anual – IMDA entre 400 y 2000 vehículos diarios.

En la evaluación estructural con el equipo de la Viga Benkelman en el tramo en estudio, obtenemos deflexiones máximas que se encuentran por encima de la deflexión admisible calculada con la Metodología de Rehabilitación de Carreteras – CONREVIAT MTC.

Por lo que se puede presumir que el tramo del pavimento ya cumplió con los Ejes Equivalentes para el cual fue diseñado. Esto se observa inmediatamente, al obtener un Índice Medio Diario Anual - IMDA en el año 2019 de 1632 vehículos por día, superior casi en un 50 % al Índice Medio Diario Anual – IMDA proyectado para el año 2019, en el Expediente Técnico para la construcción de la carretera en el año 2008.



5. Capítulo V: Discusión

- **Discusión N°1:** ¿Qué grado de comparación, existe entre las estimaciones de vida remanente útil a partir de la evaluación funcional con Nivel y Mira con la evaluación estructural con la Viga Benkelman?

El periodo útil de la carretera según el Expediente Técnico elaborado en el año 2008, está entre los años 2011 y el 2020; y la evaluación desarrollada en la presente investigación fue a mediados del 2019. Por lo que, es hay un tiempo de un año y medio antes que finalice el periodo útil de la carretera.

Respondiendo a la pregunta afirmamos que, no existe un grado de correlación en cuanto a los porcentajes de vida remanente útil, obtenido en la presente investigación para el pavimento flexible en el tramo Sector T'icapata – Comunidad de Pumamarca, en la carretera ENACO – Abra Ccorao.

Esto puede ser debido a que, en la evaluación funcional del pavimento se utilizó la distribución Weibull aplicado para la evaluación de pavimento en el país de Costa Rica, en donde tal vez consideran mayores espesores de pavimento o mayores Ejes Equivalentes de Carga para el diseño de sus carreteras.

El Índice de Serviciabilidad Presente – PSI hallado a partir del Índice de Rugosidad Internacional – IRI calculado fue de 2.17, el cual está muy cercano al valor de Índice Terminal de 2.0 recomendado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones- MTC, para carreteras de segunda clase.

En la evaluación estructural, no existe un periodo remanente de vida útil, lo cual es presumible pues los incrementos de vehículos en los últimos años sobrepasan en cantidad, al volumen de tránsito para el cual fue diseñado la carretera.

- **Discusión N°2:** ¿Por qué se decidió utilizar el Nivel Topográfico y la Mira para la obtención del perfil longitudinal para el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional - IRI, en la evaluación funcional del pavimento



flexible del tramo Sector de T'icapata – Comunidad de Pumamarca, en la carretera ENACO – Abra Ccorao?

Porque para el cálculo del porcentaje de vida útil remanente del pavimento flexible se utilizó el artículo realizado por Ramirez Beltrán y Colucci (2001), en donde se estima la vida remanente utilizando la Distribución Weibull, a partir del Índice de Rugosidad Internacional – IRI calculado con el Dipstick, un instrumento para la obtención de perfiles de alta calidad. Es por ello, comparando con otros equipos en nuestro medio para hallar perfiles longitudinales, tenemos el Rugosímetro de Merlín y el acelerómetro con móvil Smart, que calculan el Índice de Rugosidad Internacional a través de la obtención de perfiles de menor calidad que el hallado por el Dipstick. La Mira y Nivel topográficos permiten hallar un perfil longitudinal de calidad comparable con el Dipstick.

- **Discusión N°3:** ¿En el análisis de la metodología deflectométrica, es mejor utilizar el método del Consorcio de Rehabilitación de Carreteras – CONREVIAl MTC o el método del modelo de Hogg?

Las dos metodologías son adecuadas para la evaluación estructural no destructiva analizando las deflexiones en pavimentos rígidos, flexibles o semirrígidos de un pavimento con la Viga Benkelman.

En el Perú la norma dada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su Manual de Ensayos de Materiales MTC E:1002 (2016), y en su Manual de Inventarios Viales (2011), describen el procedimiento general para la evaluación deflectométrica utilizando la Viga Benkelman, en los cuales adoptan la Metodología del Consorcio de Rehabilitación de Carreteras – CONREVIAl MTC, con el que se analiza e identifica tramos homogéneos que presenten deficiencia estructural y necesiten rehabilitación o mejoramiento del pavimento. La metodología requiere parámetros de evaluación como Deflexión Característica, Radio de Curvatura y Deflexión Admisible, además de datos históricos como el tránsito que sirvió de base para el cálculo del diseño del pavimento.



El Modelo de Hogg, el cual está basado en la teoría elástica aplicado a la estructura del pavimento, permite una interpretación matemática a través de Nomogramas y Métodos Numéricos. Es un método mucho más amplio que no solo se restringe a la metodología utilizada con la Viga Benkelman, sino que también es tomada como base para métodos más sofisticados, con mucho mayor rendimiento, pero más costosos como el Falling Weight Deflectometer (FWD) y otros de aplicación de carga en el pavimento. En éste método como variables se tiene Longitud Característica, Módulo de Elasticidad de la Sub-rasante, registros históricos como el flujo del tránsito y los Índice de Soporte de California - CBR de la carretera. Además de las variables utilizadas en el modelo de Hogg, se pueden establecer relaciones con el Índice de Soporte de California CBR, Módulo de Poisson, el Número Estructural del pavimento - SN.

- **Discusión N°4:** ¿Por qué en la evaluación funcional se calculó el Índice de Serviciabilidad Presente – PSI a partir del cálculo del Índice de Rugosidad Internacional – IRI?

El Índice de Serviciabilidad Presente – PSI es un parámetro objetivo que representa en una escala de 1 y 5, la serviciabilidad o transitabilidad de un pavimento flexible, rígido o semirrígido, en el momento en que se realiza la evaluación funcional. Este parámetro es posible hallarla por medio correlaciones mediante expresiones de otros parámetros, como el Índice de Condición Presente – PCI, Metodología VIZIR, en función de la pendiente de los tramos evaluados y otros.

En la presente investigación se utilizó el cálculo de este parámetro a partir del Índice de Rugosidad Internacional – IRI, pues a pesar de ser una metodología de evaluación funcional, está involucrado en los procesos constructivos de la estructura del pavimento, como la extensión y compactado del material granular constituyente de las capas en el pavimento. Además, es una metodología directamente involucrada en la vida útil del pavimento, deterioro prematuro de la estructura por la aparición de fallas como grietas longitudinales, transversales o



interconectadas. La mayoría de países de la región incluyendo al Perú, como Chile, Colombia, Ecuador, países Centroamericanos, en sus normas de carreteras implementan un límite de valores del Índice de Rugosidad Internacional, para la aceptación de obras viales.

- **Discusión N°5:** ¿Cuáles son los factores principales de deterioro del pavimento en el tramo Sector T'icapata – Comunidad de Pumamarca, en la carretera ENACO – Abra Ccorao?

Uno de los principales factores de deterioro del pavimento en el tramo en estudio es la urbanización y la creciente construcción de viviendas entre el paradero ENACO, Sector de T'icapata y la Comunidad de Pumamarca en el derecho de vía, ya que para estas nuevas viviendas se requieren servicios de saneamiento, por lo que existen cortes a la estructura del pavimento, a fin de conectar a la tubería matriz que conduce los residuos de desagüe y lo interconecta con las redes de la ciudad del Cusco. Los cortes no son adecuadamente compactados y parchados; consiguientemente afectan el área circundante y progresivamente el pavimento va perdiendo su impermeabilización ante al agua.

Otro factor importante es la re-categorización de la vía, pues al ser una de las vías que interconectan Ccorao y ciudades del Valle Sagrado con la parte sur del Cusco, es inminente el incremento del flujo vehicular. En el estudio de tráfico se constató un aumento del 50 por ciento el Índice Medio Diario Anual – IMDA calculado en el presente año, con respecto al tránsito proyectado en el Expediente para el año 2019, en el año 2008.

Un factor crucial es la falta de mantenimiento periódico por parte de las instituciones competentes como son los Gobiernos Regionales y Distritales, al no destinar los montos programados en el Expediente Técnico, como parte de la operación y mantenimiento. A la fecha según el Expediente Técnico ya se debió invertir en el mantenimiento de la vía un monto similar al de 2 775711 soles, los años 2014 y 2018, de modo que la vía finalice el periodo útil del pavimento para el cual fue diseñado.



- **Discusión N°6:** ¿Se produjo algún factor imprevisto durante el desarrollo de los ensayos de campo, tanto en la evaluación funcional como la evaluación estructural del pavimento flexible del tramo en el tramo Sector T'icapata – Comunidad de Pumamarca, en la carretera ENACO – Abra Ccorao?

En la realización de la evaluación estructural con la Viga Benkelman, se observó que como el tramo en estudio presenta algunos tramos con pendiente pronunciada, la plomada soldada en la parte posterior del camión no se halla perpendicularmente a la superficie del pavimento. Es por ello que para el desarrollo de ensayo se volvió a medir varias veces desde el eje de la rueda hasta la plomada, el cual varía por la pendiente de la vía y el sentido de evaluación en el carril ascendente o descendente.



Glosario

- **Ahuellamiento o Roderas:** Surcos o huellas que se presentan en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada o no pavimentada y que son el resultado de la consolidación o movimiento lateral de los materiales por efectos del tránsito.
- **Asfalto:** Material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se encuentra en proporciones variables en la mayoría del crudo de petróleo.
- **Asfalto Modificado:** Producto de la incorporación de un polímero u otro modificador en el asfalto para mejorar sus propiedades físicas y geológicas como la disminución de la susceptibilidad a la temperatura y a la humedad.
- **Bacheo o Parcheo:** Actividad de mantenimiento rutinario que consiste en rellenar y compactar los baches o depresiones que pudieran presentarse en la superficie de rodadura.
- **Base:** Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una sub base o de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento.
- **Carpeta Asfáltica:** La carpeta asfáltica es la capa que se coloca en la parte superior del paquete estructural, sobre la base, y es la que le proporciona la superficie de rodamiento a la vía.
- **Carretera Pavimentada:** Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por mezcla bituminosa (flexible) o de concreto Pórtland (rígida).
- **CBR (California Bearing Ratio):** Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.



- **Cemento Asfáltico:** Un asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a calidad o consistencia para ser usado directamente en la construcción de pavimentos asfálticos.
- **Concesión:** Otorgamiento de la ejecución y explotación de determinadas obras de infraestructura o la prestación de determinados servicios por un plazo establecido.
- **Compactación:** Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de suelos, mezclas bituminosas.
- **Control de calidad:** Pruebas técnicas para comprobar la correcta ejecución de las diferentes etapas o fases de un trabajo con relación a las especificaciones técnicas o requisitos específicos establecidos.
- **Coordenadas:** Son las que resultan de proyectar la superficie del elipsoide sobre un plano. Los puntos proyectados son designados por la coordenada X o Norte y la coordenada Y o Este, medidas sobre dos ejes perpendiculares, trazados a partir de un origen definido convencionalmente de distintas maneras, según sea el sistema de proyección elegido.
- **Expediente Técnico de Obra:** Conjunto de documentos que comprende: memoria descriptiva, especificaciones técnicas, planos de ejecución de obra, metrados, presupuesto, valor referencial, análisis de precios, calendario de avance, fórmulas polinómicas y, si el caso lo requiere, estudio de suelos, estudio geológico, de impacto ambiental u otros complementarios.
- **Factor de corrección estacional:** Es factor adimensional estadístico dado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones –MTC, que sirve para corregir y hallar el valor del Índice Medio Diario Semanal (IMDS), con la finalidad de obtener el Índice Medio Diario Anual (IMDA).
- **Falla funcional:** También llamadas fallas de superficie, comprende los defectos de la superficie de rodamiento debidos a fallas de la capa asfáltica y no guardan relación con la estructura de la calzada.



- **Falla estructural:** Son defectos de la superficie de rodamiento cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir, en una o más de las capas.
- **Fatiga:** Reducción gradual de la resistencia de un material debido a sollicitaciones repetidas.
- **Grieta:** Fractura, de variados orígenes, con un ancho mayor a 3 milímetros, pudiendo ser en forma transversal o longitudinal al eje de la vía.
- **GNNS:** Acrónimo de Global NaVigation Satellite Systems, utilizado para denominar al conjunto de sistemas de posicionamiento satelital e incluye a los actuales NAVSTAR-GPS, GLONASS y a los nuevos sistemas de la Unión Europea GALILEO, el chino BEIDOU, el japonés QZSS y el Indio IRNSS.
- **Hitos kilométricos:** Elementos de diversos materiales que sirven únicamente para indicar la progresiva de la carretera. Generalmente se ubican cada 1 000 metros.
- **Índice de Servicio:** Es el grado de comodidad que la vía brinda al usuario. Existen diferentes maneras para analizar y cuantificar el grado de servicio, puede ser subjetivamente u objetivamente.
- **Índice Medio Diario Anual (IMDA):** Volumen promedio del tránsito de vehículos en ambos sentidos durante 24 horas de una muestra vehicular (conteo vehicular), para un período anual.
- **Índice de Rugosidad Internacional (IRI):** Índice que representa la variación de la superficie de un pavimento flexible, rígido o semirrígido con respecto a una superficie plana ideal.
- **Inventario Vial:** Registro ordenado, sistemático y actualizado de todas las carreteras existentes, especificando su ubicación, características físicas y estado operativo.



- **Muestreo:** Investigación de suelos, materiales, asfalto, agua etc., con la finalidad de definir sus características y/o establecer su mejor empleo y utilización.
- **Niveles de Servicio:** Indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural, y de seguridad. Los indicadores son propios a cada vía y varían de acuerdo a factores técnicos y económicos dentro de un esquema general de satisfacción del usuario (comodidad, oportunidad, seguridad y economía) y rentabilidad de los recursos disponibles.
- **Paquete estructural:** Es la unión de la carpeta asfáltica, base, sub base, sub rasante y en algunos casos la adición de una geomalla, y que estas a su vez funcionan como uno sola unidad.
- **Pavimento:** Estructura construida sobre la sub rasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: sub base, base y rodadura.
- **Pavimento flexible:** Constituido con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos.
- **Red Vial Nacional:** Corresponde a las carreteras de interés nacional conformada por los principales ejes longitudinales y transversales, que constituyen la base del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC). Sirve como elemento receptor de las carreteras Departamentales o Regionales y de las carreteras Vecinales o Rurales.
- **Partes por millón (ppm):** Expresión del error relativo usado frecuentemente para referirse al error en la determinación de las distancias.
- **Precisión:** Grado de consistencia entre los valores observados de una determinada magnitud o su repetitividad basada en el grado de discrepancia entre los valores observados.



- **Rugosidad:** Alteraciones del perfil longitudinal del camino que provocan vibraciones en los vehículos que lo recorren, es el concepto fundamental en el cálculo de Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Se expresa en metros por kilómetro.
- **Sub base:** Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de Base.
- **Sub rasante:** Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.
- **Superficie de Rodadura:** Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos compuesta por uno o más carriles, no incluye la berma.
- **Transitabilidad:** Nivel de servicio de la infraestructura vial que asegura un estado tal de la misma que permite un flujo vehicular regular durante un determinado periodo.
- **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.
- **Vida útil:** Lapso de tiempo previsto en la etapa de diseño de una obra vial, en el cual debe operar o prestar servicios en condiciones adecuadas bajo un programa de mantenimiento establecido.
- **WGS 1984:** El WGS84 es un sistema de coordenadas geográficas a nivel mundial que permite localizar cualquier punto sobre la tierra (Sin necesitar otro de referencia). Por medio de tres unidades dadas.



Conclusiones

Conclusión N°1:

No se comprobó la hipótesis general, que indicaba: **“No existe una discrepancia mayor del diez por ciento (10%), entre el porcentaje de Vida Remanente Útil estimada a partir de una evaluación funcional con equipos topográficos, y el porcentaje de Vida Remanente Útil remanente estimada a partir de la evaluación estructural con la Viga Benkelman, del pavimento flexible del tramo Sector de T’icapata – Comunidad de Pumamarca en la carretera ENACO – Abra Ccorao”**, el valor supuesto antes de realizar los ensayos de campo, no fue correcto. Pues la Vida Remanente Útil hallada por medio de la distribución Weibull en la evaluación funcional con el equipo de mira y nivel topográfico fue el de 32.9 %; por otra parte, la Vida Remanente Útil hallada con la metodología del Consorcio de Rehabilitación de Carreteras MTC – CONREVIAl en la evaluación estructural con la Viga Benkelman fue de 0 % o que el pavimento ya cumplió con los Ejes Equivalentes de Carga para el cual fue diseñado en el Expediente Técnico. Por lo tanto, la diferencia de vida útiles halladas en los ensayos anteriormente descritos fue de 32.9 %.

Conclusión N°2:

No se comprobó la sub-hipótesis N°1, que indicaba: **“El Índice de Nivel de Serviciabilidad - PSI del pavimento flexible del tramo Sector de T’icapata – Comunidad de Pumamarca en la carretera ENACO – Abra Ccorao, no tiene un valor mayor que 2”**, pues en la evaluación funcional utilizando mira y nivel topográfico se calculó un Índice de Rugosidad Internacional – IRI promedio, de 4.596 m/Km y correlacionándolo con el Índice de Serviciabilidad Presente – PSI, se obtuvo un valor de 2.17. Y según la escala de cualificación de la serviciabilidad o transitabilidad, se enmarca en la categoría de Regular para valores de [2-3], pero esta sesgado y cercano a ser considerado como Malo. Visualmente en la evaluación funcional de pavimento se pudo evidenciar la aparición de fallas de grado intermedio.



Conclusión N°3:

No se comprobó la sub-hipótesis N° 2, que indicaba: **“El pavimento flexible del tramo Sector de T’icapata – Comunidad de Pumamarca en la carretera ENACO – Abra Ccorao, no tiene un porcentaje mayor que el veinticinco por ciento (25%) de Vida Remanente Útil, utilizando la Distribución Weibull para la Evaluación Funcional con Equipos Topográficos”**. Pues según la estimación de vida remanente útil con la Distribución Weibull se obtuvo un valor de 32.9 %, el cual lo describe como un pavimento que se encuentra en un 68.1 % de su vida útil.

Conclusión N°4:

No se comprobó la sub-hipótesis N°3, la cual indicaba: **“El pavimento flexible del tramo Sector de T’icapata – Comunidad de Pumamarca en la carretera ENACO – Abra Ccorao, presenta parámetros de respuesta como Radios de Curvatura y Deflexiones Características no mayores a los admisibles”**. Pues, para el parámetro de radio de curvatura tuvo valor promedio de 98.5 m, el cual es muy alto con respecto a los normalmente estimados en un pavimento. El valor de la deflexión característica es de 3.66 milímetros, muy por encima de la deflexión admisible hallada de 1.144 milímetros; esto es de acuerdo a la metodología del Consorcio de Rehabilitación de Carreteras MTC – CONREVIAl. Según la mencionada metodología, sugiere que el pavimento requiere con urgencia un refuerzo estructural para resistir el tránsito futuro.

Conclusión N°5:

Sí se comprobó la sub-hipótesis N°4, la cual indicaba: **“El pavimento flexible del tramo Sector de T’icapata – Comunidad de Pumamarca en la carretera ENACO – Abra Ccorao, no tiene un porcentaje mayor que el veinticinco por ciento (25%) de Vida Remanente Útil, utilizando la metodología del Consorcio de Rehabilitación de Carreteras – CONREVIAl, para la Evaluación Estructural con la Viga Benkelman”**. Pues según la metodología del Consorcio de Rehabilitación de Carreteras MTC – CONREVIAl, la recta horizontal de la Deflexión Característica cuyo valor es de 3.66 milímetros no corta a la gráfica obtenida por la unión de los puntos,



que representan a la deflexión admisible hallada para cada año durante su periodo útil, 1.144 milímetros para el año 2019. Por lo tanto, se puede deducir que la estructura del pavimento tiene una Vida Remanente Útil de cero por ciento (0%), es decir, se encuentra fatigada o que ya cumplió con los Ejes Equivalentes de Carga para el cual fue diseñada.

Conclusión N°6

El tramo del pavimento flexible del Sector de T'icapata a la Comunidad de Pumamarca de la carretera ENACO - Abra Ccorao, cumplió con los Ejes Equivalentes para el cual fue diseñado, mientras que obtenemos una Vida Remanente Útil de 32.9 % para la Evaluación Funcional con el Nivel del Ingeniero el cual corresponde a un IRI promedio de ambos carriles de 4.596 m/Km; para la Evaluación Estructural con la Viga Benkelman obtenemos una Vida Remanente Útil de 0% con la metodología del CONREVIAl. Realizando un análisis conjunto con las dos metodologías concluimos que el pavimento flexible del tramo en estudio se encuentra en buena condición aparente, pues no se observa sobre su superficie fallas estructurales extensas por ello que en la Evaluación Funcional existe Vida Remanente Útil, pero en la Evaluación Estructural se registró una deflexión característica de 3.66 mm, el cual para la Metodología CONREVIAl es un valor alto que encuadra al pavimento según el Juicio de la Capacidad Estructural de la metodología en el Primer Caso; y necesita con urgencia un refuerzo estructural para resistir un nuevo tránsito previsto. También se refuerza la conclusión con el aumento del IMDA de 575 a 1632 vehículos/día, un incremento del 183.8% del IMDA.

Conclusión N°7

De los resultados de la evaluación funcional con el Nivel del Ingeniero en ambos carriles de la carretera, se observa que en el tramo de la vía existen 75, 49 y 22 unidades de muestreo (de tamaño de 15 metros) con la cualificación de Regular, Malo y Muy Malo, respectivamente; los cuales corresponden a un 50 % del tramo de la carretera está comprometido, ello se puede relacionar con el IRI promedio del tramo de 4.596 m/km. Por ello, es necesario realizar un mantenimiento en todo el tramo y no



por sectores comprometidos, el colocado de una sobrecapa delgada no podrá corregir las deficiencias de regularidad en el pavimento existente. Por ello, avalándonos de la evaluación estructural con la Viga Benkelman con la metodología CONREVIAl, el cual nos proporcionó una Vida Remanente Útil de 0 % encuadrándola en el Primer Caso con una Deflexión Característica (D_c) mayor a la Deflexión Admisible (D_a) y con radios de curvatura grandes sin fallas estructurales visibles; y justificándola con el término de periodo útil y últimas obras realizadas en el pavimento. Según el Catálogo de Refuerzos de Pavimento Flexible de la Metodología del CONREVIAl, la deflexión de 3.66 mm es muy alta por lo que no se puede utilizar el catálogo mencionado anteriormente. Por ello la metodología recomienda realizar un estudio especial en donde se realicen calicatas y toma de muestras de los materiales de las capas del pavimento y de la subrasante para su ensayo y calificación en el laboratorio; así mismo, se verificarán los espesores de las capas, grado de compactación, humedad, etc.; y se diseñe para un pavimento de refuerzo con un espesor mayor a 150 mm para un nuevo Periodo de Vida Útil.

Se debe de recalcar la ventaja de realizar una evaluación funcional y una evaluación estructural al momento de elegir una posible solución para el pavimento evaluado, pues estos se complementan. En la presente investigación mientras que para la evaluación funcional existe Vida Remanente Útil y la solución posible hubiese sido fresar la capa de rodadura y colocar una mezcla asfáltica, micropavimento o tratamiento superficial a fin de regularizar la superficie; con la Evaluación Estructural determinamos que se requiere de un estudio especial para una nueva superestructura pues las deflexiones son muy altas, para que soporte un nuevo tránsito futuro.



Recomendaciones

En cuanto a las recomendaciones en cuanto a problemas surgidos durante la presente elaboración de la presente investigación, se muestra a continuación

- Si se va a emplear la evaluación funcional con mira y nivel topográfico, debe de emplearse para pequeños tramos de una carretera, pues es un método muy intensivo y arduo, que genera gran cantidad de datos y demanda de por lo menos 4 personas como personal de ensayo, para conseguir un avance aceptable durante un día.

- Es importante mencionar que la investigación de Ramírez Beltrán y Colucci en el año 2001 se basó en la clasificación climatológica y la función de desempeño del pavimento para cada región realizada por Colucci en el año de 1997, para Costa Rica; con éstos, hallaron las expresiones que calculan la cargas acumuladas (W_f, W_{18}) y para la estimación de parámetros se realizó con una simulación Delphi.
Con respecto a la Función de Desempeño, en la presente investigación se utilizó el de la Región Montañosa, pero, es posible realizar investigaciones similares en nuestra región. La metodología realizada por Colucci se basó en técnicas de Clustering, es decir, obtener una base de datos de todos los pavimentos de una zona y con ayuda de Inteligencias Artificiales – IA, identificar agrupaciones o clústeres de acuerdo a la medida de similitud entre ellos por zonas climatológicas.

- La mayoría de los equipos topográficos como el nivel del ingeniero con los que se cuentan, generalmente en los procedimientos constructivos de Ingeniería Civil, no son adecuados para la obtención de un perfil de Clase 1; de acuerdo a la norma Método de prueba estándar para medir la rugosidad de la carretera mediante el método de nivel estático, E 1364 – 95(2005), a lo mucho se puede aspirar a un perfil longitudinal de Clase 2 con un intervalo muestra de 0.50 metros y un Índice de Rugosidad Internacional – IRI deseado de 1 a 5. Si se desea tener un perfil para calibración de un equipo de respuesta que calcula dicho índice, se debe de ser más estricto en cuanto a la resolución que se debe emplear, ello implica



obtener el perfil con un nivel laser o instrumentos mucho más precisos con un menor error o incertidumbre en la altura.

- En el procedimiento de la evaluación deflectométrica con la Viga Benkelman, se debe de considerar los cambios de pendiente a lo largo del pavimento a evaluar, pues la plomada que se coloca en la parte posterior del camión no se mantendrá perpendicular a la superficie del pavimento. Por ello, se recomienda el siguiente procedimiento: Primero, en función a una Nivelación del pavimento a evaluar o un Levantamiento Topográfico se debe de identificar tramos homogéneos en función de la pendiente de la vía. Segundo, al momento de realizar la evaluación con la Viga Benkelman se debe de tener en cuenta que en cada tramo homogéneos la verticalidad de la plomada variará por la pendiente de la vía, por ello, se debe de medir para cada tramo homogéneo de pendiente, la distancia del eje de la rueda hasta el apoyo de la plomada para conseguir las deflexiones adicionales con la Viga.
- Se debe de coordinar con las entidades encargadas del tránsito vehicular como la Policía Nacional del Perú, Ministerio de Transportes, Municipios, y otros; para realizar el ensayo de evaluación con la Viga Benkelman, pues al momento de realizar el ensayo se corta casi la circulación del carril a evaluar, de manera que no se genere congestión e incomodidad a los vehículos que transitan por la carretera.
- Se recomienda la utilización del software ProVAL el cual puede ser descargado de la página web www.roadprofile.com THE TRANSTEC GROUP de U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, el cual modela el sistema de masas en que se fundamenta el Cálculo del Índice de Rugosidad Internacional - IRI de manera garantizada, pues en el Internet existen muchos programas, con los cuales se obtuvieron resultados diferentes o distintos para el cálculo del índice en el pavimento flexible del tramo en la presente investigación.



Con el fin de complementar y ampliar la labor emprendida en la presente tesis se sugiere a continuación líneas de investigación y temas de investigación:

- La evaluación de pavimentos flexibles en base a la realización de la presente investigación, de muchas otras vías que se encuentran en nuestra región.
- La vida remanente utilizada en la presente investigación, para la evaluación funcional del pavimento flexible se fundamenta en un artículo de la distribución Weibull, para pavimentos en Costa Rica que realizaron Ramirez Beltrán y Colucci en el año 2001. Similarmente se puede realizar un estudio de investigación, pero adaptado a las regiones del Perú en donde los valores de los parámetros obtenidos sean más acordes a nuestra realidad.
- En la evaluación estructural del pavimento con la Viga Benkelman, se dificultó en la búsqueda del camión normalizado para la prueba con características de aro 10:20" y distancia entre los ejes de los neumáticos de las ruedas duales mínima de 32 cm. Pues, según los operadores es un camión muy antiguo y pocos tienen. Por lo que una futura investigación sería correlacionar los resultados obtenidos con unidades del tipo C-2 pero con ruedas de 11:20, 12:20, y otros de mayor utilización en los tiempos actuales.
- La construcción de Perfilómetros o la Vigas Benkelman, pues son elementos simples de uso constituidos con componentes no tan sofisticados; en el diseño de investigación sería de carácter multidisciplinario con estudiantes de ingeniería de sistemas, ingeniería electrónica, ingeniería mecánica e ingeniería civil.



Referencias

- Asociación Estadounidense de Funcionarios de Carreteras Estatales- AASTHO. (2004). AASTHO PP 37-04: Determination of International Roughness Index (IRI) to Quantity Roughness of Pavements. Washington D.C., United States: Asociación Estadounidense de Funcionarios de Carreteras Estatales- AASTHO.
- Asociación Estadounidense de Funcionarios de Carreteras Estatales- AASTHO. (2011). AASHTO T 256-01(2011): Pavement Deflection Measurements . Washington D.C., United States: Asociación Estadounidense de Funcionarios de Carreteras Estatales- AASTHO.
- Asociación Estadounidense de Funcionarios de Carreteras Estatales- AASTHO. (2011). Standard Method of test for Pavement Deflection Measurements - AASTHO Designation: T256-01(2011). *Norma Técnica*. Washington, DC, Estados Unidos - EEUU: Asociación Estadounidense de Funcionarios de Carreteras Estatales- AASHTO.
- American Society for Testing and Materiales - ASTM International. (2005). *Método de prueba estándar para medir la rugosidad de la carretera mediante el método de nivel estático: E 1364-95(Reapproved 2005)*. San Diego: ASTM International.
- Arriga Patiño, M. C., Garnica Anguas, P., & Rico Rodriguez, A. (1998). Índice internacional de rugosidad en la red carretera de México. *Publicación Técnica N°108*. Sanfandila, México: Secretaría de comunicaciones y transportes.
- Badilla Vargas, G. (28 de Enero de 2009). Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del IRI. Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.
- Badilla, G., Barrante Jimenez, R., & Sibaja Obando, D. (12 de Noviembre de 2015). *Definición de rangos para la clasificación estructural y funcional de la red vial nacional de Costa Rica*. Obtenido de ResheachGate: <https://www.researchgate.net/publication/280897327>
- Balarezo Zapata, J. (agosto de 2017). Evaluación estructural usando viga benkelman aplicada a un pavimento. (*Tesis de pregrado*). Piura, Piura, Perú: Repositorio institucional PIRHUA - Universidad de Piura.



- Barreto, O. (1998). *Carreteras: conceptos fundamentales*. Cusco.
- Bowles, J. E. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. México: McGRAW-HILL.
- Cabezas Mejía, E. D., Andrade Naranjo, D., & Torres Santamaría, J. (2018). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Casanova Matera, C. (2002). *Topografía Plana*. Mérida: Taller de publicaciones de ingeniería, ULA.
- Chang, C. M. (2012). *Pavimentos, Diseño Mecánico-Empírico, Gestión*. Lima: Fondo Editorial ICG.
- Colino, C. (2009). *Diccionario Crítico de Ciencias Sociales*. Madrid: Grupo de Investigación de la Universidad Complutense de Madrid.
- Colucci, R., & Beltrán, R. (1997). A Methodology for Developing Generic Performance Curves for Flexible Pavements in Puerto Rico Using Clustering Techniques. Puerto Rico: Transportation Research Board, No 1592, Pavement Management and Performance, pp. 116-124.
- Comunicaciones, M. d. (04 de Abril de 2008). Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen. *Aprobado por la Resolución Ministerial N° 305-2008-MTC/02*. Lima, Lima , Perú: Diario el Peruano.
- Consortio de Rehabilitación Vial en el Perú MTC - CONREVIAl. (1983). Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País CAPITULO VI: Aspectos de Evaluación de Pavimentos. Lima, Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Cubas de la Torre, R. B. (2017). Comportamiento Estructural del Pavimento Flexible en la Vía de Evitamiento Sur - Cajamarca utilizando las deflexiones medidas con la Viga Benkelma. *Tesis de Pregrado*. Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte.
- Díaz Ruiz, P. F. (2010). Evaluación estructural - Método empírico monitoreo de conservación carretera Cañete - Huancayo Km. 112+000 al Km. 114+000. *Informe de Suficiencia*. Lima, Lima, Perú: Repositorio de la Universidad Nacional de Ingeniería.



- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (20 de noviembre de 2013). Manual de Inventarios viales. *Publicación de la norma*. Lima, Lima, Perú: Diario el Peruano.
- Flores Gonzales, L. (2012). Evaluación estructural de pavimentos flexibles de carreteras de bajo volumen de tránsito. *Tesis de Maestría*. Lima, Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería - Sección de Postgrado.
- G. Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación*. Caracas: EPISTEME, C.A.
- Gómez Allende, G. R., & Quispe Mejía, J. L. (2017). Evaluación de la seguridad vial-nominal de la carretera ENACO - Abra Ccorao de acuerdo a la consistencia del diseño geométrico. (*Tesis de Pregrado*). Cusco, Cusco, Perú: Repositorio digital de tesis Universidad Andina del Cusco.
- Hernández Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGRAW-HILL.
- Hoffman, M., & del Águila, P. (1985). *Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (Ensayos no destructivos)*. Lois Berger Internacional Inc.
- Huamán Gerrero, N. (1997). Diseño de espesores para pavimentos asfálticos. *Guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimentos - 1993*. Lima: Instituto para el Desarrollo de los Pavimentos en el Perú.
- Instituto Geográfico Nacional . (2014). *Especificaciones técnicas para posicionamiento geodésico estático relativo con receptores del sistema satelital de navegación total*. Lima: Ministerio de Defensa del Perú.
- J. Alvarenga, V. (mayo de 2005). Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) . El Salvador: Unidad de Investigación y Desarrollo Vial - Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano.
- Justiniano, C. H. (2010). Control de la Deflexión Vertical con la Viga Benkelman - Monitoreo de Conservación de Carretera Cañete - Huancayo Km. 110+000 al Km. 112+000. *Informe de Suficiencia*. Lima, Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Laura Hirpahuanca, D. (2016). Determinación y comparación de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco - Urcos, usando telefonos



- inteligentes y el rugosímetro de Merlin - 2016. *Tesis de Pregrado*. Cusco, Cusco, Cusco: Repositorio Digital de Tesis de la Universidad Andina del Cusco.
- Mamani de la Cruz, D. (2011). Evaluación del pavimento con la Viga Benkelman - Método empírico, Carretera Cañete - Chupaca Política de Mantenimiento. *Informe de Suficiencia*. Lima, Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería - UNI.
- Martinez Alarcón, C. A. (2 de Diciembre de 2015). Análisis del ciclo de vida de los pavimentos asfálticos. *Tesis de Postgrado* . Bogota, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (20 de Noviembre de 2011). Manual de Inventarios viales. Lima, Lima, Perú: Página institucional del MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (17 de Julio de 2013). Especificaciones Técnicas Generales para la construcción -. *Manual de Carreteras*. Lima, Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (2013). *Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotécnia y Pavimentos*. Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (Mayo de 2016). Medida de la deflexión de un pavimento flexible empleando la viga benkelma. *Manual de ensayo de materiales*. Lima, Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (mayo de 2016). MTC 1002E Medida de la deflexión de un pavimento empleando la viga benkelman. *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima, Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (2017). Ficha Técnica Éstandar para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión en Carreteras Interurbanas. *Declaración Jurada*. Lima, Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC.



- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (Enero de 2018). Diseño Geométrico DG - 2018. *Manual de Carreteras*. Lima, Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2003). Reglamento Nacional de Vehículos. *Reglamento*. Lima, Lima, Lima: Diario El Peruano.
- Montejo, A. (2006). *Ingeniería de pavimentos. Tomo II. Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías*. Bogota: Universidad Católica de Colombia.
- Montoya Goicochea, J. (Septiembre de 2013). Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada del Perú. *Tesis de Maestría*. Lima, Lima, Perú: Universidad de Piura.
- National Cooperative Highway Research Program. (1999). Guidelines for Longitudinal Pavement Profile Measurement. *Report 434*. Washington D.C., United States: National Cooperative Highway Research Program.
- Plan COPESCO Nacional. (Marzo de 2014). Plano base de la ciudad del cusco. Cusco, Cusco, Peru.
- Pradena Miguel, M. (02 de octubre de 2006). Análisis de la regularidad superficial en caminos pavimentados. *Artículo Científico*. Concepción, Chile: Departamento Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Concepción.
- PROVIAS NACIONAL. (2013). *Estudio definitivo de la rehabilitación y mejoramiento de la carretera Huancavelica - Lircay, tramo km. 1+550 (Av. Los chanchas) - Lircay*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional - PROVIAS NACIONAL. (Abril de 2010). Estudio Definitivo de Carretera Chamaya - Jaen - San Ignacio - Rio Canchis. *Informe Final*. Cajamarca, Perú: Bustamante Williams Consultores y Constructores S.A.C.
- Ramirez Beltrán, N. D., & Colucci, B. (2001). *Revista internacional de desastres naturales, accidentes e infraestructura civil*. Obtenido de URL https://www.scipedia.com/public/Beltrán_Colucci_2001a
- Recuenco, E. (2017). *Firmes y pavimentos de carreteras y otras infraestructuras*. Madrid: GARCETA GRUPO EDITORIAL.



- Reyes Lizcano, F. A. (2003). *Diseño Racional de Pavimentos*. Bogotá: Centro Editorial Javeriano y Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- S. Hoffman, M., & M. del Águila, P. (1985). *Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (Ensayos no Destructivos)*. Talara: Louis Berger International, INC.
- S., Z. (1996). Benefits of Constructing Smoother Pavements . Journal of the Association of Asphalt Paving Technologies, Vol. 65, pp747-7.
- Sánchez Acurio, C. F., & Gutierrez Medina, C. G. (14 de noviembre de 2017). Análisis de la capacidad vial y nivel de servicio de la carretera San Sebastián - Ccorao de la Provincia del Cusco - Cusco. *Tesis de Postgrado*. Cusco, San Sebastián, Perú: Universidad Andina del Cusco.
- Sánchez S., I., & de Solminihac T., H. (Junio de 1989). El IRI: un indicador de la regularidad superficial. *Artículo de la revista*. Santiago, Chile: Revista de Ingeniería de la construcción N° 6.
- Sologorre Huayta, J. D. (2005). Evaluación de la rugosidad de pavimentos con el uso de Bump Integrator. *Tesis de pregrado*. Lima, Lima, Perú: Repositorio de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El proceso de la Investigación Científica* (Cuarta ed.). México D.F., México: Editorial LIMUSA.
- W. Sayers, M. (1995). On the calculation of International Roughness index from Longitudinal Road Profile. *Artículo científico*. Michigan, United States : University of Michigan Transportation Institute.
- W. Sayers, M., & M. Karamihis, S. (Octubre de 1997). ERD file format for storage and analisis of road profiles . *Report N° UMTRI-97-51*. Michigan, United States: University of Michigan Transportation Research Institute – UMTRI .
- Wiseman, G., Uzan, J., Hoffman, M., Ishai, I., & Livneh, M. (1977). Simple Elastic Models for Pavement Evaluation Using Measured Surface Deflection Bowls. *Proceedings, 4th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements Ann.Arbor. Volume II, pp. 416-426*. United States: University of Michigan.