

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO
(CO₂) GENERADAS POR LA PÉRDIDA DE LA SERVICIABILIDAD
DEL PAVIMENTO EN LA AVENIDA LA CULTURA CUSCO – 2025**

PRESENTADO POR:

Br. ATANACIO ALBERTO GROVAS LIMA

Br. THONY HUVER ESQUIVEL YLLA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

Dr. Ing. ADÁN WILBERT SOLÓRZANO
MONTESINOS

CUSCO - PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor Dr. ADÁN WILBERT SOLÓRZANO MONTESINOS
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE
DIOXIDO DE CARBONO (CO2) GENERADA POR LA PÉRDIDA DE LA
SERVICIABILIDAD DEL PAVIMENTO EN LA AVENIDA LA
CULTURA CUSCO- 2025

Presentado por: ATANACIO ALBERTO GROVAS LIMA DNI N° 43063555 ;
presentado por: THONY HUIER ESQUIVEL YLLA DNI N° 47598661
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO CIVIL

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 4 %.

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

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<u>X</u>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto**
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 12 de AGOSTO de 2026

Adán Wilbert Solórzano Montesinos
Firma

Post firma Dr. Adán Wilbert Solórzano Montesinos

Nro. de DNI 23857089

ORCID del Asesor 0000-0001-7072-618X

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:613909620

THONY Y ATANACIO ESQUIVEL Y GROVAS

“EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) GENERADAS POR LA PÉRDIDA DE LA SERVICIABILIDA...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:613909620

271 páginas

Fecha de entrega

12 ago 2026, 11:04 a.m. GMT-5

86.916 palabras

361.336 caracteres

Fecha de descarga

12 ago 2026, 11:10 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

“EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) GENERADAS POR LA PÉRDIDApdf

Tamaño del archivo

4.3 MB

4% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Fuentes principales

- 3%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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

DEDICATORIA

Con mucho cariño, dedico este trabajo a mis queridos padres, Hilaria y Alberto, por su amor, esfuerzo y apoyo durante toda mi vida. Gracias por confiar en mí, motivarme a seguir adelante y acompañarme en cada momento hasta lograr culminar mi formación profesional como Ingeniero Civil.

A mis hermanas, hermanos y a toda mi familia, por su cariño, comprensión y por estar siempre presentes brindándome su apoyo y ánimo durante este camino.

A mis amistades y a todas las personas que creyeron en mí y me acompañaron durante esta etapa, gracias por sus palabras de motivación y por formar parte de este logro.

Alberto Grovas Lima

Dedico el presente trabajo de investigación, en primer lugar, a mi madre, Cirila Ylla Maza, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante, quien ha sido mi mayor inspiración para seguir adelante y alcanzar cada una de mis metas más anheladas desde pequeño.

A mi hermano Jorge Esquivel Ylla, por su compañía, motivación y respaldo a lo largo de mi formación profesional.

De manera especial, al asesor, Dr. Ing. Adán Solórzano Montesinos, por su orientación, dedicación y valiosos aportes en el desarrollo de la presente investigación.

Thony Huver Esquivel Ylla

AGRADECIMIENTO

A Dios, por su guía y fortaleza, que me permitieron alcanzar esta meta.

A mis padres y a cada uno de mis hermanos y hermanas, por su amor, confianza y apoyo incondicional, Gracias por creer siempre en mí, acompañarme en los momentos difíciles y motivarme a seguir adelante. Este logro también es de ustedes.

Expreso mi agradecimiento a mi asesor, Dr. Ing. Adán Solórzano, por su orientación, constante apoyo y valiosos aportes académicos durante el desarrollo de la presente investigación.

Al Dr. Julio Warthon A, por sus recomendaciones, observaciones y aportes, que contribuyeron a mejorar este trabajo de investigación.

Finalmente, agradezco a mis amistades y a todas las personas que, de una u otra manera, me brindaron su apoyo y me acompañaron durante este proceso. A todos ellos, mi más sincero agradecimiento.

Alberto Grovas lima

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, alma mater de mi formación profesional, por brindarme los conocimientos y valores que han sido fundamentales en mi desarrollo académico dentro de la carrera profesional de Ingeniería Civil.

Expreso mi más profundo agradecimiento a mi madre, Cirila, por su amor incondicional, sacrificio y constante apoyo a lo largo de mi vida, siendo el pilar fundamental en la consecución de mis metas. A mi hermano Jorge, por su compañía y motivación permanente.

A mi tía Roxana, a mis primos Dany, Kleiber y Edmilson por su apoyo durante la elaboración de la tesis.

De manera especial, agradezco a los docentes de la carrera profesional de Ingeniería Civil, por compartir sus conocimientos, experiencias y orientaciones que contribuyeron significativamente en mi formación profesional.

Finalmente, expreso mi agradecimiento al asesor Doc. Ing. Adán Wilbert Solórzano, por su apoyo, orientación y valioso aporte en el desarrollo de la presente investigación

Thony Huver Esquivel Ylla

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.....	25
1.1. Planteamiento de Problema.....	25
1.2. Formulación del Problema	26
1.2.1 Problema General.....	26
1.2.2 Problema Específico	26
1.3. Justificación e importancia de la investigación.....	27
1.3.1 Justificación Metodológica	27
1.3.2 Justificación Teórica	27
1.3.3 Justificación Práctica	28
1.3.4 Justificación Social	28
1.4. Objetivos de Investigación.....	29
1.4.1 Objetivo General.....	29
1.4.2 Objetivos Específicos.....	29
1.5. Limitaciones de la Investigación.....	29
1.5.1 Limitación espacial	29
1.5.2 Limitación Temporal	30
1.5.3 Limitación Metodológica.....	30
1.5.4 Limitación técnica.....	30
1.5.5 Variables de la investigación	31
1.5.6 Operacionalización de Variables	32
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	33
2.1. Antecedentes de la Investigación	33
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	33
2.1.2 Antecedentes Nacionales	34
2.1.3 Antecedentes Local	35
2.2. Bases teóricas	36
2.2.1 Gases de Efecto Invernadero (GEI).	36
2.2.2 Incremento del Dióxido de Carbono (CO ₂) en la Atmósfera.....	36
2.2.3 Dióxido de Carbono (CO ₂)	37

2.2.4	Concentraciones ambientales de (CO ₂).....	37
2.2.5	Guía para la Medición del CO ₂	38
2.2.6	Procedimiento de Medición de CO ₂	40
2.2.7	Emisiones vehiculares urbanas	41
2.2.8	Influencia de la condición funcional del pavimento en la operación vehicular.....	42
2.2.9	Calidad del Aire y Emisiones Vehiculares	42
2.2.10	Rol del transporte urbano.....	43
2.2.11	Límites Máximos Permisibles (LMP) para emisiones vehiculares en el Perú...43	
2.2.12	Análisis del Tráfico y Deterioro del Pavimento	44
2.2.13	Serviciabilidad – Regularidad Superficial	45
2.2.14	Principales Hallazgos del AASHO ROAD TEST	47
2.2.15	Rugosidad del Pavimento	50
2.2.16	Concepto y Utilidad del método PCI.....	53
2.2.17	Unidades de Muestreo.....	54
2.2.18	Deterioros del Pavimento.....	55
2.3.	Clasificación General de Fallas del Pavimento.....	55
2.3.1	Fallas en Vías con Pavimento Flexibles	55
2.3.2	Fallas en Vías con Pavimento Rígidos.....	55
2.4.	Marco Normativo	55
2.5.	Hipótesis de la investigación.....	56
2.5.1	Hipótesis General.....	56
2.5.2	Hipótesis Específicas	57
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	58
3.1.	Ubicación del Área de Estudio.....	58
3.2.	Características de la investigación	59
3.2.1	Enfoque de la investigación	59
3.2.2	Tipo de la Investigación.....	59
3.2.3	Nivel de la Investigación	59
3.2.4	Diseño de la Investigación.....	59

3.3.	Población y Muestra.....	60
3.3.1	Población.....	60
3.3.2	Muestra	61
3.4.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	63
3.4.1	Procedimiento para Recolección de Datos	65
3.4.2	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	66
3.4.3	Metodología para la Evaluaciones de Campo.....	68
4.	CAPITULO IV: PRESENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	69
4.1.	Evaluación de la Rugosidad del Pavimento con Rugosímetro MERLIN	70
4.2.	Método de Medición	71
4.3.	Progresivas de los Subtramos de Estudio.....	72
4.4.	Procesamiento de Datos	73
4.4.1	Cálculo del Rango “D”	73
4.4.2	Factor de corrección para el ajuste de “D”	74
4.4.3	Cálculo de “D” corregido.....	75
4.4.4	Cálculo del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	75
4.4.5	Clasificación de Rugosidad según las Especificaciones Técnicas del MTC	76
4.5.	Tratamiento y Análisis de los Datos – Pavimento Flexible	77
4.5.1	Subtramo 1: progresiva 7 + 200 km - 6 + 800km.....	77
4.5.2	Subtramo 02: progresiva 6 + 800km - 6 + 400km.....	79
4.5.3	Subtramo 03: progresiva 6 + 400 km - 6 + 000km.....	80
4.5.4	Subtramo 04: progresiva 6 + 000 Km - 5 + 600Km	82
4.5.5	Subtramo 05: Progresiva 5 + 600 km - 5 + 200km.....	83
4.5.6	Subtramo 06: Progresiva 5 + 200 km - 4 + 800km.....	85
4.5.7	Subtramo 07: progresiva 4 + 800 km - 4 + 600km.....	86
4.6.	Tratamiento y análisis de los datos Obtenidos en el Pavimento Rígido	87
4.6.1	Subtramo: 07.1 Progresiva 4 + 600 km - 4 + 400km.....	87
4.6.2	Subtramo 08: Progresiva 4 + 400 km - 4 + 000km.....	89
4.6.3	Subtramo 09: progresiva 4 + 000 km - 3 + 665km.....	91
4.7.	Tratamiento y Análisis de los Datos – Pavimento Flexible	92

4.7.1	Subtramo 09.1: Progresiva 3 + 665 km - 3 + 600km)	92
4.7.2	Subtramo 10: Progresiva 3+600 km - 3 + 200km)	94
4.7.3	Subtramo 11: progresiva 3 + 200 km - 2 + 800km	95
4.7.4	Subtramo 12: Progresiva 2 + 800 km - 2 + 400km	97
4.7.5	Subtramo 13: Progresiva 2 + 400 km - 2 + 000km	98
4.7.6	Subtramo 14: progresiva 2 + 000 km - 1 + 600km	100
4.7.7	Subtramo 15: Progresiva 1 + 600 km - 1 + 200km	101
4.7.8	Subtramo 16: Progresiva 1 + 200 km - 0 + 800km	103
4.7.9	Subtramo 17: Progresiva 0 + 800 km - 0 + 400km	104
4.7.10	Subtramo 18: Progresiva 0 + 400 km - 0 + 000km	106
4.7.11	Índice Internacional de Rugosidad (IRI) Promedio para el Pavimento	109
4.8.	Evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI)	110
4.8.1	Determinación de las Unidades de Muestreo para Evaluación	111
4.8.2	Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección	112
4.9.	Cálculo del PCI de las Unidades de Muestreo para el Pavimento Flexible	113
4.9.1	Cálculo del PCI de la Unidad de Muestreo N.º 12	113
4.9.2	Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 11	120
4.9.3	Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 10	123
4.9.4	Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 09	126
4.9.5	Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 06	129
4.9.6	Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 05	132
4.9.7	Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 04	135
4.9.8	Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 03	138
4.9.9	Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 02	141
4.9.10	Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 01	144
4.10.	Cálculo del PCI de las Unidades de Muestreo para el Pavimento Rígido	146
4.10.1	Determinación del PCI – Pavimento Rígido (UM N.º 07 y N.º 8)	147
4.10.2	Unidades de Muestreo para Pavimento Rígido N.º 07	148

4.10.3	Unidades de Muestreo para Pavimento Rígido N.º 08.....	151
4.10.4	Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m) – UM N.º 08.....	152
4.11.	Determinación del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) por Subtramos.....	155
4.11.1	Criterios para la determinación del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) .	156
4.12.	Cálculo del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) en pavimento Flexible.....	158
4.12.1	Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 12	158
4.12.2	Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 11	159
4.12.3	Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 10	159
4.12.4	Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 09	160
4.12.5	Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 06	160
4.12.6	Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 05	160
4.12.7	Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 04	161
4.12.8	Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 03	161
4.12.9	Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 02	161
4.12.10	Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 01	162
4.13.	Cálculo del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) - pavimento Rígido	162
4.13.1	Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 08	162
4.13.2	Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 07	163
4.13.3	Ajuste Funcional del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)	164
4.13.4	Índice de Serviciabilidad (PSI) Promedio del Pavimento.....	166
4.14.	Evaluación de las Concentraciones de Dióxido de Carbono (CO ₂)	167
4.14.1	Registro de concentraciones de CO ₂ y Aforo Vehicular.....	168
4.14.2	Horarios de monitoreo	169
4.14.3	Ubicación de los puntos de medición de concentraciones de CO ₂	170
4.14.4	Almacenamiento de datos del Monitoreo de CO ₂	171
4.14.5	Procesamiento e Importación de Datos del Sistema de Monitoreo de CO ₂	173
4.14.6	Gráfico de Concentraciones de Dióxido de Carbono (CO ₂) vs. Tiempo	175
4.14.7	Análisis Temporal de las Concentraciones de CO ₂ por Día de Monitoreo.....	179

4.14.8	Interpretación de la variación horaria de las concentraciones de CO ₂ – Subtramo paradero Enaco de San Sebastián	181
4.14.9	Interpretación de la variación horaria de las concentraciones de CO ₂ – Subtramo 4to Paradero de san Sebastián	183
4.14.10	Interpretación de la variación horaria de las concentraciones de CO ₂ – Subtramo Paradero del Hospital Regional del Cusco	185
4.14.11	Obtención de Valores Representativos de Concentración de CO ₂	186
4.15.	Registro y Procesamiento de datos del Aforo Vehicular	187
4.15.1	Agrupamiento y Procesamiento del Aforo Vehicular.....	195
5.	CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	197
5.1.	Análisis de la Condición Funcional del Pavimento	197
5.1.1	Análisis del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).....	197
5.1.2	Análisis del Índice de Condición del Pavimento (PCI)	198
5.1.3	Análisis del Ahuellamiento (RD).....	199
5.1.4	Relación entre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)	199
5.1.5	Análisis del Aforo Vehicular	200
5.1.6	Análisis de las Concentraciones de Dióxido de Carbono (CO ₂).....	201
5.1.7	Relación entre la Serviciabilidad del Pavimento, el Aforo Vehicular y las concentraciones de CO ₂	202
5.2.	Análisis Estadístico Correlacional	205
5.2.1	Fundamento del Coeficiente Rho de Spearman.....	205
5.2.2	Nivel de Significancia Estadística	206
5.2.3	Consolidación de Variables para el Análisis Correlacional.....	207
5.2.4	Ecuaciones de regresión lineal.....	209
5.2.5	Matriz de Correlación de Spearman	210
5.2.6	Correlación entre IRI y las Concentraciones ambientales de CO ₂	210
5.2.7	Correlación entre PCI y las concentraciones ambientales de CO ₂	213
5.2.8	Correlación entre ahuellamiento y las Concentraciones de CO ₂	215

5.2.9	Correlación entre PSI y las Concentraciones de CO ₂	217
5.2.10	Correlación entre aforo vehicular y las Concentraciones ambientales de CO ₂	220
5.2.11	Interpretación general de la significancia estadística.....	222
5.2.12	Resumen General de Resultados Correlacionales.....	222
5.2.13	Modelo de Regresión Lineal Múltiple para la Estimación de las Concentraciones Ambientales de CO ₂	226
5.2.14	Evaluación de la significancia global y capacidad explicativa del modelo	228
5.2.15	Interpretación integral del modelo	230
5.3.	Contraste de las hipótesis	232
5.4.	Discusión de resultados.....	235
6.	CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	237
6.1.	Conclusiones	237
6.2.	Recomendaciones.....	239
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	241
8.	ANEXOS	243

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	<i>Esquema de Clasificación de Vehículos</i>	<i>45</i>
Figura 2.	<i>Escala de Rugosidad (IRI) del pavimento</i>	<i>51</i>
Figura 3.	<i>Esquema Rugosímetro de Merlín.....</i>	<i>53</i>
Figura 4.	<i>Ubicación del Tramo de Estudio en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco – Lima pampa, Cusco.....</i>	<i>58</i>
Figura 5.	<i>Histograma de Distribución de Frecuencia de una Muestra de 200 Desviaciones Medidas en Forma consecutiva</i>	<i>74</i>
Figura 6.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 01.....</i>	<i>77</i>
Figura 7.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 02.....</i>	<i>79</i>
Figura 8.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 03.....</i>	<i>80</i>
Figura 9.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – subtramo 04.....</i>	<i>82</i>
Figura 10.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – subtramo 05.....</i>	<i>83</i>
Figura 11.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo06.....</i>	<i>85</i>
Figura 12.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro – Subtramo 07</i>	<i>86</i>
Figura 13.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 07.1.....</i>	<i>87</i>
Figura 14.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 08.....</i>	<i>89</i>
Figura 15.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 09.....</i>	<i>91</i>
Figura 16.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 09.1.....</i>	<i>92</i>
Figura 17.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 10.....</i>	<i>94</i>
Figura 18.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 11.....</i>	<i>95</i>
Figura 19.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 12.....</i>	<i>97</i>
Figura 20.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 13.....</i>	<i>98</i>
Figura 21.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 14.....</i>	<i>100</i>
Figura 22.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 15.....</i>	<i>101</i>
Figura 23.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 16.....</i>	<i>103</i>
Figura 24.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 17.....</i>	<i>104</i>
Figura 25.	<i>Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 18.....</i>	<i>106</i>
Figura 26.	<i>Esquema del Pavimento Para el muestreo</i>	<i>113</i>
Figura 27.	<i>Hoja de Registro por Unidad de Muestreo – UM12.....</i>	<i>114</i>

Figura 28.	<i>Abaco para Determinar los Valores Deducidos-UM12</i>	<i>116</i>
Figura 29.	<i>Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM12</i>	<i>118</i>
Figura 30.	<i>Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM11</i>	<i>121</i>
Figura 31.	<i>Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM10</i>	<i>124</i>
Figura 32.	<i>Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM 09</i>	<i>127</i>
Figura 33.	<i>Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM06</i>	<i>130</i>
Figura 34.	<i>Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM 05</i>	<i>133</i>
Figura 35.	<i>Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM04</i>	<i>136</i>
Figura 36.	<i>Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM03</i>	<i>139</i>
Figura 37.	<i>Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM02</i>	<i>142</i>
Figura 38.	<i>Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM01</i>	<i>145</i>
Figura 39.	<i>Abaco Adaptado de Vásquez Varela,2002.....</i>	<i>149</i>
Figura 40.	<i>Abaco Adaptado de Vásquez Varela,2002.....</i>	<i>152</i>
Figura 41.	<i>Equipos de medición y registro de CO₂ empleados en el trabajo de campo ...</i>	<i>168</i>
Figura 42.	<i>Software HandHeld para el registro de datos de dióxido de carbono (CO₂)..</i>	<i>172</i>
Figura 43.	<i>verificación y calibración en campo del equipo sensor, previo a la toma de datos en los puntos de muestreo del tramo de estudio.....</i>	<i>173</i>
Figura 44.	<i>Variación horaria de las concentraciones ambientales de CO₂ en los periodos mañana, medio día y tarde del día martes 07/10/2025</i>	<i>176</i>
Figura 45.	<i>Variación horaria de las concentraciones ambientales de CO₂ en los periodos mañana, medio día y tarde del día jueves 09/10/2025</i>	<i>177</i>
Figura 46.	<i>Variación horaria de las concentraciones ambientales de CO₂ en los periodos mañana, tarde y noche del día jueves 11/10/2025.....</i>	<i>178</i>
Figura 47.	<i>Concentraciones de Dióxido de Carbono (CO₂) en Función del Tiempo - día martes 07/10/2025</i>	<i>180</i>
Figura 48.	<i>Concentraciones de Dióxido de Carbono (CO₂) en Función del Tiempo del día jueves 09/10/2025</i>	<i>182</i>
Figura 49.	<i>Concentraciones de Dióxido de Carbono (CO₂) en Función del Tiempo del día sábado 11/10/2025.....</i>	<i>184</i>
Figura 50.	<i>Relación entre el IRI y las concentraciones de co₂.....</i>	<i>211</i>
Figura 51.	<i>Relación entre el PCI y las concentraciones de CO₂.....</i>	<i>214</i>
Figura 52.	<i>Relación entre el Ahuellamiento y las concentraciones de co₂</i>	<i>216</i>
Figura 53.	<i>Relación entre el PSI y las Concentraciones de CO₂</i>	<i>218</i>
Figura 54.	<i>Relación entre aforo vehicular y las concentraciones de CO₂.....</i>	<i>221</i>
Figura 55.	<i>Relación entre las variables del pavimento y las concentraciones de CO₂.....</i>	<i>224</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Escala de Índice de serviciabilidad del pavimento.....</i>	<i>46</i>
Tabla 2.	<i>Rangos de calificación del (PCI) del pavimento</i>	<i>54</i>
Tabla 3.	<i>progresivas del subtramo de estudio</i>	<i>72</i>
Tabla 4.	<i>Clasificación de la condición del pavimento según el IRI (MTC).....</i>	<i>76</i>
Tabla 5.	<i>Resultados del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) por subtramo</i>	<i>108</i>
Tabla 6.	<i>Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo - UM12.....</i>	<i>117</i>
Tabla 7.	<i>Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM12</i>	<i>119</i>
Tabla 8.	<i>Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo - UM12.....</i>	<i>121</i>
Tabla 9.	<i>Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM11</i>	<i>122</i>
Tabla 10.	<i>Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo - UM10.....</i>	<i>124</i>
Tabla 11.	<i>Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM10</i>	<i>125</i>
Tabla 12.	<i>Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo – UM 09</i>	<i>127</i>
Tabla 13.	<i>Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM 09</i>	<i>128</i>
Tabla 14.	<i>Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo – UM06</i>	<i>130</i>
Tabla 15.	<i>Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM06</i>	<i>131</i>
Tabla 16.	<i>Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo – UM05</i>	<i>133</i>
Tabla 17.	<i>Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM05</i>	<i>134</i>
Tabla 18.	<i>Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM 05</i>	<i>136</i>
Tabla 19.	<i>Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM04</i>	<i>137</i>
Tabla 20.	<i>Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo – UM03</i>	<i>139</i>
Tabla 21.	<i>Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM03</i>	<i>140</i>
Tabla 22.	<i>Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo – UM02</i>	<i>142</i>
Tabla 23.	<i>Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM02</i>	<i>143</i>
Tabla 24.	<i>Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo – UM01</i>	<i>145</i>
Tabla 25.	<i>Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM01</i>	<i>146</i>
Tabla 26.	<i>Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo – UM07</i>	<i>149</i>
Tabla 27.	<i>Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM07</i>	<i>150</i>
Tabla 28.	<i>Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo – UM08</i>	<i>152</i>
Tabla 29.	<i>Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM08</i>	<i>153</i>
Tabla 30.	<i>Resumen de la Evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI).....</i>	<i>154</i>
Tabla 31.	<i>Registro de mediciones de ahuellamiento – subtramo 12</i>	<i>158</i>
Tabla 32.	<i>Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) por subtramos evaluados</i>	<i>163</i>
Tabla 33.	<i>Determinación del PSI en función del IRI a lo largo del tramo evaluado</i>	<i>165</i>
Tabla 34.	<i>Clasificación vehicular subtramo paradero Enaco - día martes.....</i>	<i>189</i>
Tabla 35.	<i>Clasificación vehicular subtramo 4to paradero - día jueves.....</i>	<i>191</i>
Tabla 36.	<i>Clasificación vehicular subtramo hospital regional – día sábado.....</i>	<i>193</i>
Tabla 37.	<i>Agrupamiento de las Concentraciones de co2 y el Aforo Vehicular</i>	<i>196</i>
Tabla 38.	<i>Interpretación de la intensidad de correlación de Spearman</i>	<i>206</i>
Tabla 39.	<i>Resumen general de variables evaluadas para el análisis correlacional</i>	<i>207</i>
Tabla 40.	<i>Matriz de correlación</i>	<i>210</i>
Tabla 41.	<i>Resumen general de correlaciones</i>	<i>222</i>
Tabla 42.	<i>Coeficientes estimados del modelo de regresión lineal múltiple.....</i>	<i>229</i>
Tabla 43.	<i>Estadísticos de ajuste del modelo de regresión lineal múltiple.....</i>	<i>230</i>

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Matriz de Consistencia.....	244
Anexo 2.	Ábacos para la determinación del Índice de Condición del Pavimento (PCI) en pavimentos flexibles.	245
Anexo 3.	Ábacos para la Determinación del Valor de Deducción corregido (CDV) en pavimentos flexibles.	248
Anexo 4.	Ábacos para la determinación del Índice de Condición del Pavimento (PCI) en pavimentos Rígidos.....	249
Anexo 5.	Ábacos para la Determinación del Valor de Deducción corregido (CDV) en pavimentos Rígidos.....	252
Anexo 6.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 01	253
Anexo 7.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 02	254
Anexo 8.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 03	255
Anexo 9.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 04	256
Anexo 10.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 05	257
Anexo 11.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 06	258
Anexo 12.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 07	259
Anexo 13.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 08	260
Anexo 14.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 09	261
Anexo 15.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 10	262
Anexo 16.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 11	263
Anexo 17.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 12	264
Anexo 18.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 13	265
Anexo 19.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 14	266
Anexo 20.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 15	267
Anexo 21.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 16	268
Anexo 22.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 17	269
Anexo 23.	Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 18	270
Anexo 24.	Registro de concentraciones de dióxido de carbono (CO ₂) mediante sensor portátil AZ7755.....	271
Anexo 25.	Certificado de Calibración HandHeld CO ₂ /Temp/RH METER	281

Anexo 26.	Certificado de Calibración del APARATO MERLIN (Machine for Evaluating Roughness Using low- cost Instrumentation)	282
Anexo 27.	Plano Topográfico de la Investigación.	284
Anexo 28.	Reconocimiento de campo y delimitación de subtramos con el Odómetro.....	285
Anexo 29.	Evaluación del IRI mediante recorrido continuo del tramo.....	286
Anexo 30.	Registro de fallas para el PCI en pavimentos flexibles y rígidos.	287
Anexo 31.	Fallas para el cálculo del PCI en pavimentos flexibles y rígidos	288
Anexo 32.	Medición del ahuellamiento según su nivel de severidad.....	289
Anexo 33.	Pruebas de funcionamiento y manejo del equipo sensor de CO ₂ con apoyo del docente del Departamento de Investigaciones de Física.....	290
Anexo 34.	Registro de CO ₂ en los subtramos evaluados.....	291

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la relación entre la pérdida de serviciabilidad del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el tránsito vehicular en la avenida La Cultura, tramo Enaco–Limacpampa, ciudad del Cusco, durante el año 2025.

La investigación fue de enfoque cuantitativo, tipo aplicada y diseño no experimental. La evaluación funcional del pavimento se realizó mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), el Índice de Condición del Pavimento (PCI), el ahuellamiento (RD) y el Índice de Serviabilidad Presente (PSI). Asimismo, se efectuó el aforo vehicular clasificado y el monitoreo de las concentraciones ambientales de CO₂ mediante un sensor portátil con tecnología NDIR. Para el análisis estadístico se empleó el coeficiente de correlación Rho de Spearman.

Los resultados evidenciaron diferencias entre los subtramos evaluados. El pavimento flexible deteriorado presentó un IRI promedio de 6.625 m/km, un PSI promedio de 1.530, un PCI promedio de 16.50 y deformaciones por ahuellamiento superiores a 120 mm. En contraste, los subtramos con mejores condiciones funcionales registraron menores valores de IRI, mayores índices de PCI y PSI, y menores concentraciones ambientales de CO₂.

El aforo vehicular mostró altos volúmenes de tránsito, con predominio de automóviles. Las concentraciones ambientales de CO₂ oscilaron entre 400 y 900 ppm, alcanzando los valores más altos en los sectores con menor serviciabilidad y mayor flujo vehicular. Se concluye que existe una relación significativa entre la pérdida de serviciabilidad del pavimento y el incremento de las concentraciones ambientales de CO₂.

Palabras clave: IRI, PCI, PSI, Ahuellamiento, CO₂.

ABSTRACT

The The objective of this research was to determine the relationship between pavement serviceability loss and ambient carbon dioxide (CO₂) concentrations generated by vehicular traffic along La Cultura Avenue, Enaco–Limapampa section, in the city of Cusco, during 2025.

The study adopted a quantitative approach and an applied, non-experimental research design. Pavement functional performance was evaluated using the International Roughness Index (IRI), Pavement Condition Index (PCI), rutting depth (RD), and Present Serviceability Index (PSI). In addition, classified traffic volume counts were conducted, and ambient CO₂ concentrations were monitored using a portable sensor based on Non-Dispersive Infrared (NDIR) technology. Spearman's rank correlation coefficient was used for the statistical analysis.

The results revealed differences among the evaluated sections. The deteriorated flexible pavement presented an average IRI of 6.625 m/km, an average PSI of 1.530, an average PCI of 16.50, and rutting depths exceeding 120 mm. In contrast, sections with better functional conditions exhibited lower IRI values, higher PCI and PSI values, and lower ambient CO₂ concentrations.

Traffic counts showed high traffic volumes, predominantly composed of passenger cars. Ambient CO₂ concentrations ranged from 400 to 900 ppm, with the highest values recorded in sections exhibiting lower pavement serviceability and higher traffic volumes. It is concluded that there is a significant relationship between pavement serviceability loss and the increase in ambient carbon dioxide (CO₂) concentrations.

Keywords: International Roughness Index (IRI), Pavement Condition Index (PCI), Present Serviceability Index (PSI), Rutting, Carbon dioxide (CO₂).

INTRODUCCIÓN

La ciudad del Cusco viene experimentando un acelerado crecimiento urbano y un incremento sostenido del parque automotor, situación que ha generado una presión significativa sobre la infraestructura vial existente. Como consecuencia, los pavimentos urbanos presentan un deterioro progresivo que ocasiona la disminución de su nivel de serviciabilidad. Esta problemática no solo afecta la seguridad, comodidad y eficiencia de la circulación vehicular, sino que también influye en la operación de los vehículos y contribuye al incremento de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) en el entorno urbano.

El dióxido de carbono (CO₂) constituye uno de los principales gases de efecto invernadero asociados a las actividades antropogénicas, especialmente al transporte terrestre. En ciudades intermedias como Cusco, donde el tránsito vehicular se ha intensificado en los últimos años, resulta necesario analizar los factores que influyen en el incremento de las concentraciones de este contaminante. Entre dichos factores, la condición funcional del pavimento adquiere especial relevancia debido a su influencia sobre la calidad de rodadura, la velocidad de operación y el comportamiento de la circulación vehicular.

El pavimento, como estructura destinada a soportar las cargas del tránsito y proporcionar adecuadas condiciones de circulación, experimenta un deterioro progresivo debido al efecto combinado del tráfico vehicular, las condiciones climáticas y la limitada aplicación de programas de mantenimiento vial. La pérdida de serviciabilidad del pavimento se manifiesta mediante irregularidades superficiales, tales como incremento de la rugosidad, fisuración y deformaciones permanentes, las cuales afectan negativamente la operación vehicular y generan condiciones de circulación menos eficientes.

La avenida La Cultura constituye una de las principales arterias viales de la ciudad del Cusco, caracterizada por presentar un elevado flujo vehicular y diversos niveles de deterioro superficial del pavimento, especialmente en el tramo comprendido entre Enaco y Limacpampa.

Estas características convierten a dicho sector en un escenario representativo para analizar la relación entre la condición funcional del pavimento, el tránsito vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO_2) asociadas a la circulación vehicular.

En este contexto, la presente tesis titulada “Evaluación de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO_2) asociadas a la pérdida de serviciabilidad del pavimento en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025”, tiene como objetivo determinar la relación entre la condición funcional del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO_2) registradas en el entorno vial. Para ello, se emplean indicadores técnicos como el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), el Índice de Condición del Pavimento (PCI), el ahuellamiento y el Índice de Serviabilidad Presente (PSI), complementados con el análisis del flujo vehicular y las condiciones operacionales de circulación.

Los resultados de la investigación permiten comprender el comportamiento de las concentraciones ambientales de CO_2 en relación con el deterioro funcional del pavimento urbano, aportando información técnica relevante para la planificación, evaluación y gestión del mantenimiento vial urbano. Asimismo, el estudio contribuye al desarrollo de estrategias orientadas a mejorar las condiciones de circulación vehicular y fortalecer la gestión sostenible de la infraestructura vial urbana.

Finalmente, la principal contribución de la presente investigación consiste en establecer relaciones estadísticas entre los indicadores funcionales del pavimento, el flujo vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO_2), aplicadas a un contexto urbano local donde este tipo de investigaciones aún es limitado.

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. Planteamiento de Problema

El crecimiento urbano y el incremento continuo del parque automotor en la ciudad del Cusco han generado una mayor demanda sobre la red vial urbana, particularmente sobre la superficie de rodadura del pavimento, acelerando su deterioro progresivo. Esta problemática se manifiesta mediante irregularidades superficiales que disminuyen el nivel de serviciabilidad del pavimento, afectando la calidad de rodadura, la operación del tránsito vehicular y el confort de los usuarios.

La pérdida de serviciabilidad del pavimento, evaluada mediante indicadores funcionales como el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), el Índice de Condición del Pavimento (PCI), el ahuellamiento y el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), se encuentra asociada a las condiciones de circulación vehicular y a la variación de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) registradas en vías urbanas con elevado flujo vehicular.

En la ciudad del Cusco, específicamente en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, considerada una de las principales arterias viales de la ciudad por su alto aforo vehicular, se evidencian sectores con diferentes niveles de deterioro funcional del pavimento, atribuibles al tránsito constante y a la limitada ejecución de programas de mantenimiento oportuno. Sin embargo, pese a la importancia de este tramo dentro de la red vial urbana, no se dispone de estudios técnicos locales que evalúen de manera integrada la relación entre la serviciabilidad del pavimento, el aforo vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂).

La ausencia de información técnica que relacione estos parámetros limita la adecuada toma de decisiones en la gestión y mantenimiento de pavimentos urbanos, así como la formulación de estrategias orientadas a reducir el impacto ambiental asociado al tránsito vehicular.

En este contexto, resulta necesario evaluar la relación entre la serviciabilidad del pavimento, el aforo vehicular y las concentraciones de CO₂ mediante mediciones en campo y el uso de indicadores técnicos, con la finalidad de generar información confiable que contribuya a una gestión vial más eficiente y sostenible en la ciudad del Cusco, específicamente en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa

1.2. Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

P.G.: ¿Cuál es la relación entre la pérdida de la serviciabilidad del pavimento y las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el tránsito vehicular en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025?

1.2.2 Problema Específico

P.E.01.: ¿Qué relación existe entre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025?

P.E.02.: ¿Qué relación existe entre el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025?

P.E.03.: ¿Qué relación existe entre el nivel de ahuellamiento del pavimento y las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025?

P.E.04.: ¿Existen diferencias en las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) entre los distintos niveles de serviciabilidad del pavimento determinados mediante los indicadores IRI, PCI, ahuellamiento y PSI, considerando el flujo vehicular registrado en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025?

1.3. Justificación e importancia de la investigación

1.3.1 *Justificación Metodológica*

La presente investigación se justifica metodológicamente debido a la aplicación de procedimientos técnicos estandarizados para la evaluación de la condición funcional del pavimento y las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el tránsito vehicular. El uso de indicadores reconocidos, tales como el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), Índice de Condición del Pavimento (PCI), ahuellamiento y el Índice de Serviabilidad Presente (PSI), permite una evaluación objetiva, sistemática y reproducible de la pérdida de serviabilidad del pavimento.

Asimismo, el análisis de las concentraciones ambientales de CO₂ a partir de mediciones en campo y del flujo vehicular permite evaluar el comportamiento del dióxido de carbono asociado al tránsito vehicular bajo distintas condiciones funcionales del pavimento.

1.3.2 *Justificación Teórica*

La presente investigación se sustenta teóricamente en los principios de la ingeniería de pavimentos y del transporte, los cuales establecen que el deterioro funcional del pavimento influye en las condiciones de operación vehicular, afectando la regularidad de la superficie de rodadura y la eficiencia del tránsito. La pérdida de serviabilidad del pavimento, evaluada mediante indicadores técnicos como el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y el Índice de Serviabilidad Presente (PSI), permite describir de manera objetiva la condición funcional de las vías urbanas.

Diversos enfoques teóricos señalan que las irregularidades superficiales del pavimento incrementan las resistencias al rodamiento y generan variaciones en la velocidad de operación de los vehículos. En consecuencia, dichas condiciones operativas se reflejan en mayores concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) asociadas al tránsito vehicular. En este contexto, la investigación contribuye a fortalecer el marco teórico que vincula la condición

funcional del pavimento con el impacto ambiental del transporte urbano, aplicado al caso específico de la ciudad del Cusco.

1.3.3 Justificación Práctica

Desde una perspectiva práctica, el estudio permite evaluar la condición funcional del pavimento en el tramo Enaco – Limacpampa de la avenida La Cultura y analizar su relación con las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el tránsito vehicular. La información obtenida constituye un insumo técnico que puede apoyar la toma de decisiones en la gestión y mantenimiento de pavimentos urbanos, incorporando criterios de eficiencia operativa y sostenibilidad.

Los resultados de la investigación pueden ser utilizados por entidades responsables de la administración vial como base para la priorización de intervenciones de mantenimiento y rehabilitación, considerando no solo el nivel de deterioro del pavimento, sino también su impacto indirecto de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂).

1.3.4 Justificación Social

La investigación presenta relevancia social debido a que la condición funcional de las vías urbanas influye directamente en el confort de los usuarios y la calidad del servicio de transporte. Un pavimento con adecuada serviciabilidad favorece una circulación más fluida, reduce tiempos de viaje y contribuye a disminuir los costos de operación vehicular, beneficiando a los usuarios que transitan diariamente por la avenida La Cultura.

Asimismo, al aportar información técnica que respalda la gestión eficiente de la infraestructura vial, el estudio contribuye indirectamente al bienestar de la población urbana, promoviendo condiciones de movilidad más seguras y sostenibles en la ciudad del Cusco.

1.4. Objetivos de Investigación

1.4.1 Objetivo General

O.G.: Determinar la relación entre la pérdida de serviciabilidad del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO_2) asociadas al tránsito vehicular en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025

1.4.2 Objetivos Específicos

O.E.01: Determinar la relación entre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025.

O.E.02: Determinar la relación entre el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025.

O.E.03: Determinar la relación entre el nivel de ahuellamiento del pavimento y las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025.

O.E.04: Comparar las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) entre los distintos niveles de serviciabilidad del pavimento, determinados a partir de los valores de PCI, IRI, ahuellamiento y PSI, considerando el flujo vehicular registrado en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025.

1.5. Limitaciones de la Investigación

1.5.1 Limitación espacial

La presente investigación se encuentra delimitada espacialmente al tramo Enaco – Limacpampa de la avenida La Cultura, en la ciudad del Cusco. En consecuencia, los resultados obtenidos representan únicamente las condiciones funcionales del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO_2) asociadas al tránsito vehicular en dicho tramo, no siendo extrapolables de manera directa a otros sectores de la avenida ni a otras vías urbanas con diferentes características geométricas, estructurales o de tránsito.

1.5.2 Limitación Temporal

La investigación se desarrolló durante el año 2025; por tanto, los resultados representan las condiciones funcionales del pavimento, el comportamiento del tránsito vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) registradas durante el periodo de evaluación. En consecuencia, no contemplan variaciones estacionales, cambios en la intensidad del flujo vehicular ni los efectos de intervenciones de conservación, mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción del pavimento posteriores al estudio. Por ello, la interpretación de los resultados se circunscribe al contexto temporal y espacial en el que se desarrolló la investigación.

1.5.3 Limitación Metodológica

La principal limitación metodológica de la investigación radica en que no se realizan mediciones directas de emisiones vehiculares en fuente, sino mediciones de concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) registradas en el entorno vial. En consecuencia, los resultados obtenidos representan el comportamiento de las concentraciones de CO₂ asociadas al tránsito vehicular y la condición funcional del pavimento, pudiendo estar influenciados por factores ambientales y operacionales propios del entorno urbano.

La investigación no cuantifica emisiones directas de escape vehicular ni aplica modelos de simulación tipo MOVES o HDM-4; únicamente analiza correlaciones entre indicadores funcionales del pavimento y concentraciones ambientales de CO₂ registradas en campo.

1.5.4 Limitación técnica

Las actividades de levantamiento de información de campo estuvieron condicionadas por la disponibilidad de instrumentos, las condiciones normales de tránsito y la accesibilidad al tramo de estudio durante los periodos de medición. Además, el análisis se realizó bajo condiciones habituales de circulación vehicular, sin considerar escenarios extraordinarios como accidentes, cierres viales u obras de mantenimiento que pudieran alterar temporalmente el comportamiento del tránsito y las emisiones asociadas.

1.5.5 Variables de la investigación

Variable Independiente (x): Pérdida de serviciabilidad del pavimento.

Corresponde al nivel de deterioro funcional del pavimento, el cual se manifiesta a través de irregularidades superficiales, deformaciones y deterioros que afectan la regularidad de la superficie de rodadura, la comodidad de circulación y el nivel de servicio ofrecido a los usuarios. Esta variable se evalúa mediante indicadores técnicos ampliamente utilizados en la ingeniería vial para caracterizar la condición funcional del pavimento.

X₁: Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Mide la irregularidad superficial del pavimento, expresada en metros por kilómetro (m/km).

X₂: Índice de Condición del Pavimento (PCI). Evalúa la condición superficial del pavimento a partir de la identificación, cuantificación y severidad de los deterioros presentes, expresado mediante un valor adimensional comprendido entre 0 y 100, conforme a metodologías estandarizadas

X₃: Ahuellamiento. Representa la deformación longitudinal permanente en las huellas de rodadura del pavimento ocasionada por el tránsito vehicular repetido, expresada en milímetros (mm), y constituye un indicador del deterioro funcional de la superficie de rodadura.

X₄: Índice de Serviciabilidad Presente (PSI). Refleja el nivel de comodidad percibida por el usuario y la capacidad funcional del pavimento durante la circulación vehicular, expresado en una escala adimensional.”

Variable Dependiente (y): Corresponde a las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) registradas en el entorno vial del tramo de estudio, las cuales se encuentran asociadas al tránsito vehicular y al comportamiento operacional de la circulación vehicular.

Es decir:

$$Y = f(x)$$

$$CO_2 = f(IRI, PCI, PSI, Ahuellamiento, flujo vehicular)$$

1.5.6 Operacionalización de Variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador de medición	Técnica de medición	Instrumento
Variable Independiente (X): Pérdida de serviciabilidad del pavimento	Nivel de deterioro funcional del pavimento que afecta la regularidad de la superficie de rodadura, la comodidad de circulación y el nivel de servicio brindado al tránsito vehicular.	Se evalúa mediante mediciones y procedimientos técnicos aplicados a la condición funcional del pavimento, utilizando indicadores como el IRI, PCI, ahuellamiento y PSI en el tramo de estudio.	Rugosidad	Índice de Rugosidad Internacional (IRI) (m/km)	Medición de perfil longitudinal	Perfilómetro / método Merlin
			Condición superficial	Índice de Condición del Pavimento (PCI) (0–100)	Inspección visual sistemática	Ficha PCI- ASTM D6433
			Deformaciones	Ahuellamiento (mm)	Medición directa	Regla metálica / plantilla
			Serviciabilidad	Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) (adimensional)	Cálculo indirecto	Modelo AASHO
Variable Dependiente (Y): concentraciones de dióxido de carbono (CO ₂)	Corresponde a las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO ₂) registradas en el entorno vial del tramo de estudio mediante mediciones en campo durante periodos representativos de flujo vehicular.	mediciones de concentración ambiental de CO ₂ , complementadas con información del flujo vehicular y parámetros operativos.	Emisiones vehiculares	Concentración de CO ₂ (ppm)	Medición ambiental en campo	Sensor de CO ₂

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1 *Antecedentes Internacionales*

Según la United States Environmental Protection Agency (EPA, 2021), el modelo “*Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES)*” fue desarrollado para estimar las emisiones atmosféricas generadas por vehículos automotores bajo diferentes condiciones operacionales de tránsito. Este modelo considera variables como la velocidad de circulación, el tipo de vehículo, el volumen de tránsito y las características operativas de la vía para evaluar el comportamiento de las emisiones vehiculares. Diversas aplicaciones del modelo han evidenciado que las variaciones en las condiciones de circulación vehicular influyen directamente en la generación de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero, entre ellos el dióxido de carbono (CO₂). En ese sentido, el modelo MOVES constituye una referencia técnica importante para investigaciones relacionadas con tránsito vehicular, operación vial y emisiones atmosféricas urbanas (United States Environmental Protection, 2021).

Según (Zaabar & Chatti, 2010), en la investigación “*Calibration of HDM-4 Fuel Consumption Models*”, analizaron la influencia de la rugosidad superficial del pavimento sobre el consumo de combustible y la operación vehicular. La metodología consideró modelos de simulación vehicular y parámetros funcionales del pavimento, utilizando el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) como indicador principal de evaluación. Los resultados evidenciaron que el incremento de la rugosidad superficial genera mayores consumos de combustible y variaciones en las condiciones operacionales de circulación vehicular. El estudio concluye que el deterioro funcional del pavimento influye indirectamente en la generación de emisiones vehiculares, constituyendo un antecedente relevante para investigaciones relacionadas con emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y serviciabilidad del pavimento.

(Nielsen, Gürtler, & Peters, 2024), en el artículo *“Modelado de las emisiones de CO₂ específicas por combustible, tipo de vehículo y edad de los vehículos de carretera a nivel mundial”*, desarrollaron un modelo global para estimar las emisiones vehiculares de dióxido de carbono entre 1970 y 2020. La investigación consideró variables como tipo de combustible, antigüedad vehicular y categoría de vehículo. Los resultados evidenciaron que los vehículos pesados generan una proporción significativa de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) pese a representar una menor participación dentro del parque automotor. El estudio concluye que las condiciones operacionales del tránsito y las características vehiculares influyen directamente en las emisiones atmosféricas urbanas, aportando fundamentos para el análisis de las concentraciones de CO₂ asociadas al tránsito vehicular

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Según (Gomez Castañeda & Gonzales Yjuma, 2020), en la tesis *“Determinación de la concentración de monóxido de carbono (CO) del parque automotor de las ciudades de Pucallpa y Aguaytía”*, evaluaron la concentración de monóxido de carbono generada por el tránsito vehicular en diferentes puntos urbanos. La metodología incluyó mediciones ambientales en zonas de alto flujo vehicular y comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Los resultados mostraron que las mayores concentraciones de contaminantes se registran en sectores con congestión vehicular y elevado volumen de tránsito. El estudio concluye que las condiciones de circulación vehicular y la condición operativo del parque automotor influyen significativamente en la calidad del aire urbano.

De igual manera (Perez Retiz & Vásquez Baca, 2021) en la tesis *“Evaluación de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en el aire generada por el parque automotor en Huánuco”*, analizaron las concentraciones ambientales de CO₂ en zonas urbanas con tránsito vehicular. La metodología comprendió mediciones de CO₂ en intersecciones de alto flujo vehicular y el análisis comparativo de los valores obtenidos. Los resultados indicaron que las concentraciones registradas se relacionan con la intensidad del tránsito y las condiciones de

circulación vehicular. El estudio concluye que el crecimiento del parque automotor incrementa progresivamente las emisiones asociadas al transporte urbano, recomendando el monitoreo continuo de contaminantes atmosféricos

2.1.3 Antecedentes Local

Según (Alonzo Lanado, 2023), en la tesis *“Uso del método PCI para evaluar la funcionalidad del pavimento flexible de la avenida La Cultura”*, evaluó la condición funcional del pavimento mediante el método PCI en distintos sectores de la avenida La Cultura de la ciudad del Cusco. La metodología se desarrolló mediante inspección visual sistemática de deterioros superficiales conforme a la norma ASTM D6433. Los resultados evidenciaron un deterioro significativo asociado al elevado volumen de tránsito vehicular y a la limitada intervención de mantenimiento vial. El estudio concluye que el índice PCI constituye una herramienta eficaz para evaluar la condición funcional del pavimento y apoyar la gestión de mantenimiento vial urbano.

Asimismo (Carhuarupay Molleda, 2010), en la tesis *“Grado de contaminación por dióxido de carbono en la ciudad del Cusco”*, determinó las concentraciones ambientales de CO₂ en diferentes sectores urbanos de la ciudad. La metodología incluyó mediciones ambientales en zonas con distintos niveles de tránsito vehicular. Los resultados mostraron concentraciones inferiores a los límites permisibles; sin embargo, se identificó una tendencia de incremento asociada al crecimiento del parque automotor. El estudio concluye que el tránsito vehicular constituye una fuente importante de emisiones atmosféricas urbanas en la ciudad del Cusco.

Finalmente (Gil Mora, 2021), en el artículo *“Calidad del Aire en la Cuenca Atmosférica del Cusco”*, analizó las emisiones atmosféricas urbanas mediante mediciones de campo y el uso del modelo MODEM. Los resultados identificaron al transporte vehicular como una de las principales fuentes de contaminación atmosférica en la ciudad del Cusco. El estudio concluye que el incremento del tránsito vehicular y las condiciones operacionales de circulación influyen

directamente en el comportamiento de las emisiones contaminantes urbanas, recomendando la implementación de medidas de gestión ambiental y transporte sostenible.

De acuerdo con los antecedentes revisados, se observa que existen investigaciones relacionadas con la evaluación funcional del pavimento, el análisis de emisiones vehiculares y el comportamiento de contaminantes atmosféricos asociados al tránsito urbano. Sin embargo, no se identificaron estudios que establezcan de manera directa la relación entre indicadores funcionales del pavimento, como el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), el Índice de Condición del Pavimento (PCI), el ahuellamiento y el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), con las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) en vías urbanas. En ese sentido, la presente investigación busca contribuir al desarrollo de información técnica que relacione la condición funcional del pavimento con el comportamiento de las concentraciones de CO₂ asociadas al tránsito vehicular.

No se identificaron investigaciones urbanas locales que correlacionen directamente indicadores funcionales del pavimento (IRI, PCI, PSI y ahuellamiento) con concentraciones ambientales de CO₂.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Los gases de efecto invernadero (GEI) son componentes atmosféricos asociados al incremento de emisiones generadas por actividades antropogénicas. En el sector transporte, el dióxido de carbono (CO₂) representa uno de los principales gases emitidos debido a la combustión de combustibles fósiles en vehículos automotores, motivo por el cual constituye un indicador relevante en estudios de tránsito urbano y calidad del aire (Ministerio del Ambiente, 2021).

2.2.2 Incremento del Dióxido de Carbono (CO₂) en la Atmósfera

El incremento de las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) en entornos urbanos se encuentra asociado, entre otros factores, al crecimiento del parque automotor y al aumento

de la intensidad del tránsito vehicular. En el transporte terrestre, el CO₂ se genera como producto de la combustión de combustibles fósiles utilizados en motores de gasolina y diésel, constituyendo un indicador relevante del comportamiento de las emisiones asociadas a la movilidad urbana.

En vías urbanas, las concentraciones ambientales de CO₂ pueden variar en función del flujo vehicular y de las condiciones operacionales de circulación, tales como la congestión, las detenciones frecuentes y la variación de velocidades vehiculares

(IPCC, 2014) Desde la perspectiva de la ingeniería vial, estas condiciones pueden verse influenciadas por la condición funcional del pavimento, debido a que las irregularidades superficiales modifican la uniformidad de circulación y el comportamiento operativo del tránsito vehicular.

2.2.3 Dióxido de Carbono (CO₂)

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas incoloro e inodoro producido de manera natural mediante procesos biogeoquímicos; sin embargo, su concentración atmosférica se ha incrementado significativamente debido a actividades antropogénicas, principalmente por la combustión de combustibles fósiles y la deforestación.

En el sector transporte, el CO₂ constituye un indicador relevante del impacto ambiental asociado al tránsito vehicular, debido a que sus concentraciones se relacionan con la intensidad del flujo vehicular y las condiciones operativas de circulación en el sistema vial (Ministerio del Ambiente, 2021).

2.2.4 Concentraciones ambientales de (CO₂)

Las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) corresponden a la cantidad de este gas presente en la atmósfera dentro de un determinado entorno y periodo de tiempo, generalmente expresadas en partes por millón (ppm). En zonas urbanas, dichas concentraciones se encuentran influenciadas principalmente por las emisiones generadas por

fuentes móviles, especialmente el tránsito vehicular asociado a la combustión de combustibles fósiles.

En el contexto del transporte urbano, las concentraciones de CO₂ se relacionan con factores como el volumen de tránsito, la congestión vehicular, la velocidad de circulación y las condiciones operacionales de las vías. Las variaciones en la fluidez del tránsito y en la uniformidad de desplazamiento vehicular pueden influir en el comportamiento de las concentraciones ambientales de este gas en el entorno vial.

De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), el dióxido de carbono constituye uno de los principales gases de efecto invernadero asociados a actividades antropogénicas, siendo el transporte terrestre una fuente significativa de emisiones en áreas urbanas (IPCC, 2014).

Asimismo, el Ministerio del Ambiente señala que las emisiones generadas por fuentes móviles representan una de las principales contribuciones a la contaminación atmosférica en ciudades con elevado crecimiento del parque automotor y alta intensidad de tránsito vehicular (Ministerio del Ambiente, 2017).

2.2.5 Guía para la Medición del CO₂

2.2.5.1 Referencias Técnicas

Para la presente investigación se realizó una revisión de la normativa nacional relacionada con la calidad del aire y los contaminantes atmosféricos. Como resultado, se precisa que en el Perú no existe un Estándar de Calidad Ambiental (ECA) específico que establezca un valor límite para la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en el aire ambiente ni una norma nacional específica que determine un procedimiento único para la medición de CO₂ generado por el tránsito vehicular en vías urbanas.

Esta consideración es importante debido a que el objetivo de la presente investigación no consiste en determinar el cumplimiento de un límite normativo de CO₂, sino en medir y

comparar las concentraciones de CO₂ registradas en diferentes tramos de la avenida La Cultura y analizar su relación con la condición funcional del pavimento y el flujo vehicular.

En consecuencia, los valores obtenidos durante el trabajo de campo fueron utilizados como datos de concentración ambiental de CO₂, expresados en partes por millón (ppm), y no como valores destinados a determinar el cumplimiento o incumplimiento de un estándar ambiental nacional.

Ante la ausencia de una normativa nacional específica para este propósito, el procedimiento de medición y registro adoptado en la investigación se sustentó en:

- Las especificaciones técnicas y recomendaciones del fabricante del equipo utilizado para la medición de CO₂.
- Los principios generales de muestreo y medición de contaminantes atmosféricos establecidos en normas técnicas internacionales aplicables como referencia.
- Las normas de la familia ISO 16000, relacionadas con estrategias y procedimientos de muestreo de contaminantes presentes en el aire, consideradas como referencia metodológica y no como una norma específica para emisiones vehiculares de CO₂.
- Los criterios de uniformidad establecidos por los investigadores para garantizar que las mediciones realizadas en los diferentes tramos fueran comparables.

Las condiciones reales de tránsito vehicular y las características físicas y funcionales de los tramos evaluados.

Por lo tanto, la ausencia de una normativa nacional específica para la medición de CO₂ vehicular no impide el desarrollo de la investigación, debido a que el propósito del estudio es de carácter comparativo y correlacional. La metodología establece criterios uniformes de medición, registro y procesamiento de los datos, permitiendo analizar estadísticamente la relación entre la concentración de CO₂, la condición del pavimento y el flujo vehicular.

2.2.5.2 Equipos e Instrumentos

Para el desarrollo de las mediciones se utilizó un sensor portátil basado en tecnología infrarroja no dispersiva (NDIR), complementado con una Raspberry Pi para el almacenamiento y transmisión de los datos registrados en el ambiente.

2.2.6 Procedimiento de Medición de CO₂

El procedimiento de medición se desarrolló de manera uniforme en los diferentes tramos evaluados, siguiendo las siguientes etapas:

a) Identificación del punto de medición

Los puntos de captación de CO₂ no fueron seleccionados de manera aleatoria, sino que fueron definidos a partir de los subtramos establecidos mediante el PCI; dentro de cada subtramo se seleccionó el punto que representaba de manera más adecuada la condición funcional predominante del pavimento.

b) Preparación del equipo

Antes de iniciar la medición se verificó el estado operativo del medidor de CO₂ y se permitió que el equipo alcanzara condiciones adecuadas de funcionamiento y estabilización, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

c) Ubicación del equipo

El equipo fue colocado en una posición estable y representativa del ambiente circundante, evitando obstrucciones que pudieran alterar la circulación natural del aire. Se procuró mantener una ubicación uniforme entre los diferentes puntos de medición para garantizar la comparabilidad de los registros.

Asimismo, se evitó colocar el sensor directamente frente a una fuente puntual de emisión, con la finalidad de obtener una medición representativa de la concentración ambiental del tramo y no únicamente de una descarga localizada.

d) Registro de la concentración de CO₂

Una vez estabilizada la lectura del equipo, se procedió a registrar la concentración de CO₂ expresada en ppm. Las mediciones fueron asociadas con la hora correspondiente y con el tramo evaluado.

2.2.7 Emisiones vehiculares urbanas

Las emisiones vehiculares urbanas corresponden a los gases y partículas liberados a la atmósfera como consecuencia del funcionamiento de vehículos automotores en entornos urbanos. Estas emisiones constituyen una de las principales fuentes de contaminación atmosférica en las ciudades, debido al crecimiento del parque automotor y al incremento del flujo vehicular.

Según el Ministerio del Ambiente, las emisiones provenientes de fuentes móviles incluyen contaminantes generados por la combustión interna de los vehículos automotores, siendo el transporte terrestre uno de los principales contribuyentes de emisiones atmosféricas en zonas urbanas (Ministerio del Ambiente, 2017). Entre los principales gases asociados al tránsito vehicular se encuentra el dióxido de carbono (CO₂), cuyas concentraciones se relacionan con la intensidad del flujo vehicular y las condiciones de circulación en la infraestructura vial.

Asimismo, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental señala que las vías urbanas con elevada congestión vehicular presentan mayores concentraciones de contaminantes atmosféricos asociados al tránsito, especialmente en intersecciones y avenidas de alto flujo vehicular (Huamán Ojeda, 2012)

En el contexto de la presente investigación, el análisis de las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) adquiere relevancia debido a que estas se encuentran asociadas al comportamiento del tránsito vehicular y a las condiciones funcionales del pavimento, las cuales influyen en la uniformidad de circulación y la condición operativo de los vehículos en el tramo de estudio.

2.2.8 Influencia de la condición funcional del pavimento en la operación vehicular

La condición funcional del pavimento influye directamente en la condición operativo de los vehículos durante la circulación. Las irregularidades superficiales, evaluadas mediante indicadores como el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), modifican la calidad de rodadura y afectan las condiciones de circulación vehicular, influyendo en la estabilidad, comodidad y uniformidad del tránsito.

De acuerdo con (Zaabar & Chatti, 2010), la rugosidad superficial del pavimento constituye uno de los principales factores que influyen en la operación vehicular, debido a que altera las condiciones de desplazamiento, la estabilidad de circulación y la velocidad de operación de los vehículos. En ese sentido, los pavimentos con mayores niveles de deterioro funcional generan condiciones de circulación menos uniformes, especialmente en vías urbanas con elevado flujo vehicular.

Asimismo, el modelo HDM-4 considera que la rugosidad superficial del pavimento afecta directamente la velocidad de operación vehicular, estableciendo al IRI como uno de los principales indicadores funcionales de la condición del pavimento.

En el contexto urbano, las deficiencias funcionales del pavimento pueden generar variaciones en la circulación vehicular, incrementando las desaceleraciones, vibraciones y condiciones de tránsito no uniforme, factores asociados al comportamiento de las concentraciones de contaminantes atmosféricos vinculados al tránsito vehicular.

2.2.9 Calidad del Aire y Emisiones Vehiculares

2.2.9.1 Calidad del aire

La calidad del aire se define como la condición de la atmósfera en función de la concentración de contaminantes presentes y de sus efectos sobre la salud humana, el ambiente y los ecosistemas. En el Perú, la evaluación y control de la calidad del aire se regula mediante los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), los cuales establecen valores de referencia para contaminantes atmosféricos como el material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), el monóxido de

carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el dióxido de azufre (SO₂) (Ministerio del Ambiente, 2016).

Si bien el dióxido de carbono (CO₂) no se encuentra regulado como contaminante criterio dentro de los ECA del Perú, su análisis resulta relevante en estudios vinculados al transporte urbano, debido a que constituye un indicador asociado a las emisiones vehiculares y a las condiciones de circulación del tránsito en vías urbanas. En este contexto, las concentraciones ambientales de CO₂ permiten evaluar el comportamiento de las emisiones relacionadas con el flujo vehicular y las condiciones operacionales de circulación presentes en la infraestructura vial.

2.2.10 Rol del transporte urbano

El transporte urbano desempeña un rol fundamental en la dinámica económica y social de las ciudades; sin embargo, también constituye una de las principales fuentes de emisiones asociadas al tránsito vehicular. El crecimiento del parque automotor, la congestión vehicular y las deficiencias en la infraestructura vial influyen en la operación del tránsito y en la generación de contaminantes atmosféricos.

Un pavimento con baja serviciabilidad produce variaciones frecuentes de velocidad, desaceleraciones y desplazamientos no uniformes de los vehículos, afectando el comportamiento operacional del tránsito urbano e incrementando las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) asociadas al flujo vehicular (Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2016).

2.2.11 Límites Máximos Permisibles (LMP) para emisiones vehiculares en el Perú

Los Límites Máximos Permisibles (LMP) constituyen instrumentos normativos que regulan las emisiones provenientes de fuentes móviles, como los vehículos automotores. En el Perú, los LMP para emisiones vehiculares se encuentran regulados mediante el Decreto Supremo N.º 010-2017-MINAM.

Si bien esta normativa regula principalmente contaminantes atmosféricos como el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y el material particulado, constituye un referente técnico dentro de la gestión ambiental del transporte terrestre.

2.2.12 *Análisis del Tráfico y Deterioro del Pavimento*

2.2.12.1 *Tráfico Vial*

En el marco de la presente investigación, el tráfico vehicular adquiere especial relevancia debido a su influencia sobre el comportamiento funcional del pavimento. Un mayor volumen de tránsito, asociado a escenarios de congestión y a la pérdida de regularidad superficial del pavimento, genera desplazamientos vehiculares menos uniformes y variaciones en la operación del tránsito, factores vinculados al comportamiento de las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) registradas en el entorno urbano (Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2016)

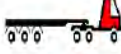
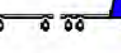
2.2.12.2 *Clasificación Vehicular*

De acuerdo con el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, la clasificación vehicular permite identificar la participación de las distintas categorías de vehículos dentro del tránsito vehicular, constituyendo un elemento importante para el análisis del comportamiento de la infraestructura vial.

Para fines de análisis del tránsito, los vehículos pueden agruparse en vehículos livianos, vehículos de transporte de pasajeros y vehículos de carga, categorías que presentan diferente influencia sobre el deterioro funcional del pavimento y las condiciones operativas de circulación vehicular (*Manual de carreteras diseño geométrico DG-2018*, 2018)

Figura 1.

Esquema de Clasificación de Vehículos

Tipo de Vehículo	Grafico	Tipo de Vehículo	Grafico
Motos		Autos	
Pick Up		2S1 -2S2	
Camionetas	Panel	2S3	
			
Rural Combi		3S1 - 3S2	
Micro		>3S3	
Bus	2E	2T2	
			
	3E	2T3	
			
	2E	3T2	
			
Camion	3E	3T3	
			
	4E		
			

Fuente: Imagen extraída de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC),

2016)

2.2.13 *Serviciabilidad – Regularidad Superficial*

Según (Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos, 2014), La satisfacción de los usuarios se manifiesta, fundamentalmente, por la calidad en que se encuentra la superficie de rodadura y los elementos que constituyen la seguridad vial.

AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials), fue la primera en sistematizar un procedimiento objetivo para establecer el nivel de deterioro de los pavimentos, procurando relacionar la condición funcional con la estructural.

Para el efecto introdujo el concepto de Present Serviabiability Index (PSI), que fue derivado de una encuesta efectuada en la década del 60 entre usuarios de carreteras en los Estados Unidos.

El Present Serviabiability Index o la serviabiabilidad fue definida como la capacidad de un pavimento para servir al tránsito para el cual fue diseñado. Los pavimentos fueron calificados con notas cuyos valores extremos variaban desde 0, para un camino intransitable, hasta 5 para una superficie en perfectas condiciones (situación ideal).

Tabla 1.

Escala de Índice de serviabiabilidad del pavimento

Índice de Serviabiabilidad	Calidad
5	Muy buena
4	
3	Buena
2	Regular
1	Mala
0	Pesima

Fuente: Imagen extraída de AASHTO 1993

El Índice de Serviabiabilidad Presente (PSI) es un parámetro que permite calificar la condición funcional de un pavimento a partir de la percepción de comodidad y calidad de rodadura que experimenta el usuario. Su determinación se basa en una evaluación visual y en mediciones asociadas a la rugosidad superficial, la presencia de deterioros y las deformaciones que afectan la condición funcional del pavimento.

El PSI fue desarrollado originalmente a partir del *AASHO Road Test*, donde se relacionaron las condiciones reales del pavimento con la apreciación subjetiva de paneles de conductores, permitiendo establecer una escala cuantitativa de serviabiabilidad. (AASHTO, Pavement Research, 1962)

2.2.14 Principales Hallazgos del AASHO ROAD TEST

El AASHO Road Test (American Association of State Highway Officials) fue un programa experimental desarrollado entre los años 1956 y 1960 en las proximidades de Ottawa, Illinois, Estados Unidos, con el propósito de estudiar el comportamiento de diferentes estructuras de pavimento sometidas a la acción repetida del tránsito. Los resultados obtenidos constituyeron una de las principales bases experimentales para el desarrollo de metodologías de evaluación y diseño de pavimentos.

Uno de los principales aportes del estudio fue el desarrollo del concepto de serviciabilidad del pavimento, mediante el cual se buscó expresar numéricamente la capacidad de una sección de pavimento para proporcionar condiciones adecuadas de circulación al usuario. Para ello, se relacionaron las apreciaciones subjetivas de los usuarios respecto a la calidad de circulación con mediciones objetivas de las características superficiales y funcionales del pavimento.

Durante el AASHO Road Test se utilizó inicialmente el Present Serviceability Rating (PSR), que correspondía a una valoración subjetiva realizada por un panel de usuarios que recorría las secciones experimentales y calificaba la calidad de circulación. Esta valoración se expresaba en una escala de 0 a 5, donde 5 correspondía a una condición excelente y 0 a una condición extremadamente deficiente.

Posteriormente, con la finalidad de disponer de un procedimiento objetivo que pudiera ser aplicado sin recurrir permanentemente a paneles de usuarios, se establecieron relaciones estadísticas entre las calificaciones subjetivas y determinadas características físicas del pavimento. De estas relaciones surgió el Present Serviceability Index (PSI) o Índice de Serviciabilidad Presente (ISP). El PSI permitió estimar cuantitativamente la serviciabilidad del pavimento a partir de mediciones objetivas de su condición superficial y funcional.

El PSI se expresa mediante una escala de 0 a 5, en la cual los valores cercanos a 5 representan pavimentos con mejores condiciones de servicio, mientras que los valores cercanos

a 0 representan pavimentos con una condición funcional muy deficiente. Por consiguiente, una disminución del PSI representa una pérdida de serviciabilidad del pavimento.

Pavimentos Asfálticos

Para los pavimentos flexibles, el AASHO Road Test estableció una relación entre la serviciabilidad y la irregularidad longitudinal, el agrietamiento, el parchado y el ahuellamiento.

La expresión correspondiente es:

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + SV) - 1.38 RD^2 - 0.01 * (C + P)^{0.5}$$

Donde:

PSI = Índice de Serviciabilidad Presente.

SV = Media de la varianza de la pendiente longitudinal de las ruedas.

C = Medida del agrietamiento de la superficie del pavimento.

P = Medida del área de parchado de la superficie del pavimento.

RD = Profundidad media del ahuellamiento en las trayectorias de las ruedas.

La ecuación evidencia que el incremento de la irregularidad longitudinal, el agrietamiento, el parchado y el ahuellamiento genera una reducción del valor del PSI. Por lo tanto, el deterioro progresivo de la superficie de rodadura se traduce en una disminución de la serviciabilidad del pavimento. La formulación original del AASHO Road Test para pavimentos flexibles se encuentra documentada en los reportes del ensayo.

La variable SV adquiere especial importancia debido a que representa la irregularidad longitudinal de la superficie. Una mayor variación de la pendiente implica una superficie más irregular y, consecuentemente, una mayor afectación de la calidad de circulación. El ahuellamiento también tiene una influencia importante, debido a que representa una deformación permanente de la superficie de rodadura en las trayectorias de las ruedas.

Por su parte, las variables C y P permiten incorporar al índice el efecto de los deterioros superficiales asociados al agrietamiento y a las áreas reparadas.

Pavimentos Rígidos

Para los pavimentos rígidos, el AASHO Road Test estableció una relación diferente debido a las características particulares de este tipo de estructura y a los deterioros considerados durante el ensayo.

La expresión correspondiente es:

$$PSI = 5.41 - 1.80 \log(1 + SV) - 0.09(C + P)^{0.5}$$

Donde:

PSI = Índice de Serviciabilidad Presente.

SV = media de la varianza de la pendiente longitudinal de las ruedas.

C = medida del agrietamiento de la superficie del pavimento.

P = medida del parchado de la superficie del pavimento.

A diferencia de la ecuación correspondiente a los pavimentos flexibles, la formulación para pavimentos rígidos no incorpora el término de ahuellamiento (RD), debido a que este deterioro no fue considerado de la misma manera en la formulación desarrollada para los pavimentos de concreto. El efecto de la condición superficial y de la irregularidad se representa principalmente mediante las variables SV, C y P. (American Association of State Highway Officials, 1962)

2.2.14.1 Relación entre IRI Y el PSI

Los valores de IRI pueden ser transformados a PSI mediante ecuaciones empíricas propuestas por diversos autores, entre los que destacan Paterson (1986) y Al - Omari y Darter (1994), las cuales han sido incorporadas en metodologías internacionales promovidas por AASHTO y en modelos de gestión de pavimentos como el HDM (Highway Development and Management).

En este contexto, una de las relaciones más utilizadas para la conversión de IRI a PSI es la siguiente:

$$PSI = 5e^{-\frac{IRI}{5.5}}$$

Donde:

PSI= índice de serviciabilidad del pavimento

IRI= índice de rugosidad del pavimento

e = 2,718281828 (base de logaritmos neperianos)

La presente ecuación corresponde a una correlación empírica reportada en estudios de evaluación funcional del pavimento y utilizada como aproximación para relacionar el IRI con el PSI. Esta expresión representa una relación exponencial decreciente, en la cual el incremento del valor del IRI, asociado a una mayor rugosidad del pavimento, produce una disminución del PSI, indicando un menor nivel de serviciabilidad. Es importante señalar que esta ecuación no proviene de una deducción teórica, sino de un ajuste estadístico basado en datos experimentales, por lo que se clasifica como un modelo empírico ampliamente validado en estudios de evaluación de pavimentos.

En consecuencia, la utilización de esta relación permite transformar los valores de rugosidad obtenidos mediante mediciones en campo en indicadores de serviciabilidad, facilitando la interpretación del comportamiento funcional del pavimento y su análisis dentro del contexto de la presente investigación.

2.2.15 *Rugosidad del Pavimento*

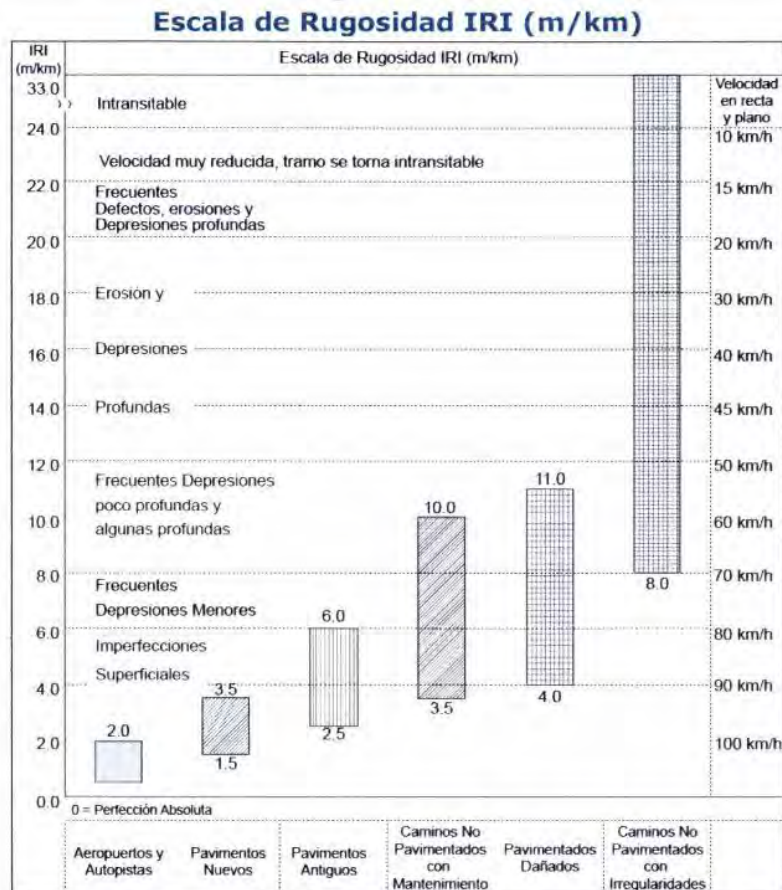
Según (AASHTO, 1993) la rugosidad del pavimento se define como el conjunto de irregularidades longitudinales presentes en la superficie de rodadura, las cuales afectan la comodidad de los usuarios, la condición operacional del vehículo y la percepción general de la calidad del pavimento.

De acuerdo con AASHTO, la rugosidad constituye uno de los parámetros fundamentales para evaluar la condición funcional del pavimento, comúnmente medida

mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que cuantifica el nivel de regularidad superficial y permite comparar de manera estandarizada la condición de distintos tramos viales.

Figura 2.

Escala de Rugosidad (IRI) del pavimento



Fuente: Imagen de Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos

2.2.15.1 Rugosímetro Merlin

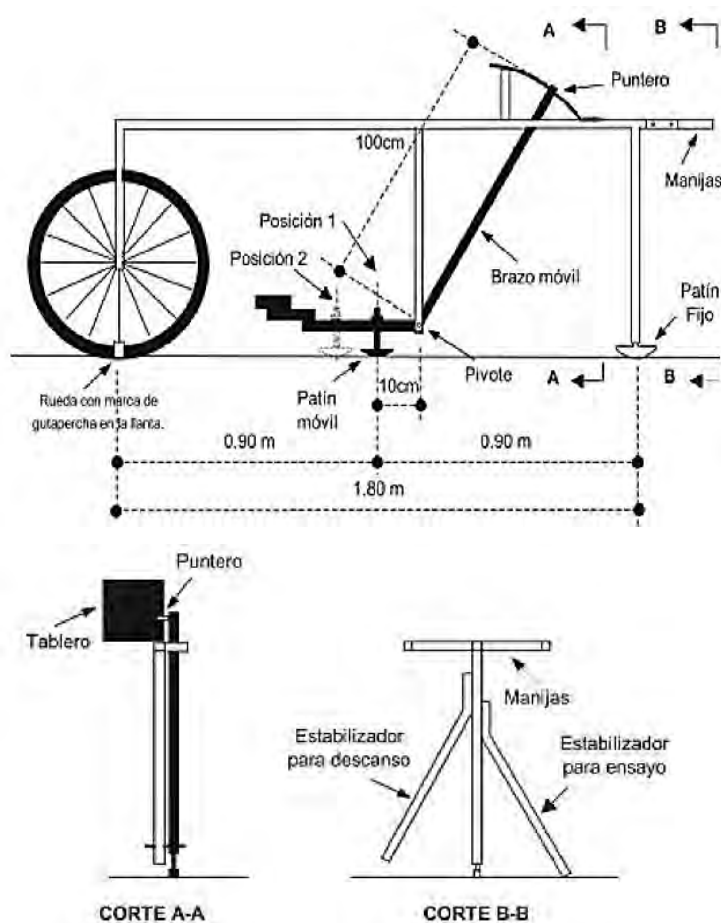
Se compone de una estructura metálica conformada por un marco principal dentro del cual destacan un elemento horizontal y dos elementos verticales, que soportan el sistema mecánico utilizado para la medición de la rugosidad superficial del pavimento. En la parte delantera del instrumento se ubica una rueda con neumático, cuya función es permitir el desplazamiento del equipo a lo largo del tramo evaluado. En la sección posterior se disponen dos estabilizadores inclinados: uno destinado a mantener el equipo en posición durante la ejecución del ensayo y otro empleado para sostenerlo en condición de descanso.

El elemento horizontal del equipo posee dos manijas posteriores que facilitan su levantamiento, permitiendo que el desplazamiento se realice de forma similar al funcionamiento de una carretilla. Asimismo, en la parte central del marco se articula un brazo móvil, el cual transmite las variaciones verticales del pavimento desde el patín de apoyo ubicado en la zona inferior hasta el extremo superior del mecanismo. Dichas variaciones son amplificadas mediante un sistema de palanca, de modo que el desplazamiento del patín se refleja en la indicación del puntero sobre el tablero graduado.

El instrumento posee dos apoyos inferiores: un patín fijo y un patín móvil articulado mediante un pivote central, distanciados aproximadamente 0,90 m entre sí y formando una longitud total de referencia de 1,80 m. La lectura se realiza en el tablero ubicado en el extremo superior del brazo móvil, en el cual el puntero señala la desviación correspondiente a cada posición. Este principio constructivo permite registrar las irregularidades longitudinales del pavimento utilizando una geometría simple, una mecánica estática y una lectura directa del desplazamiento vertical observado. (del Águila Rodríguez, 1999)

Figura 3.

Esquema Rugosímetro de Merlin



Fuente: Imagen Adaptado de (del Águila Rodríguez, 1999)

2.2.16 Concepto y Utilidad del método PCI

El deterioro de un pavimento depende del tipo de daño, su severidad y la extensión o densidad con que se presenta. Debido a la gran variedad de combinaciones posibles entre estos factores, la formulación de un índice único que represente la condición del pavimento fue inicialmente compleja. Para resolver esta dificultad, Shahin desarrolló el concepto de valores deducidos, los cuales actúan como factores de ponderación que expresan el impacto relativo de cada deterioro sobre la condición global del pavimento.

A partir de estos valores deducidos se obtiene el Pavement Condition Index (PCI), un indicador numérico que varía de **0**, correspondiente a un pavimento completamente fallado, hasta 100, que representa un pavimento en óptimas condiciones. El PCI permite clasificar

cualitativamente la condición del pavimento y es ampliamente utilizado en sistemas de gestión para la toma de decisiones de mantenimiento y rehabilitación.

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En el Cuadro 1 se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento. (Y. Shahin, 2005)

Tabla 2.

Rangos de calificación del (PCI) del pavimento

Rangos de Calificación del PCI	
Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-16	Muy malo
10-0	Fallado

Fuente: Imagen Adaptada de (ASTM D6433 International, 2003)

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada daño presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima. (Vásquez Varela, 2002)

2.2.17 Unidades de Muestreo

La unidad de muestreo corresponde a una sección homogénea del pavimento seleccionada para realizar la evaluación de su condición superficial. La división de la vía en unidades de muestreo permite obtener resultados representativos y facilita la aplicación sistemática del método PCI.

Cada unidad de muestreo debe presentar características similares en cuanto a estructura, tipo de pavimento y condiciones de tránsito, de manera que la evaluación refleje de forma adecuada la condición general del tramo analizado. (Vásquez Varela, 2002)

2.2.18 Deterioros del Pavimento

Los deterioros del pavimento son manifestaciones visibles de fallas que se presentan como consecuencia de la acción del tránsito, las condiciones climáticas, el envejecimiento de los materiales y deficiencias constructivas. Estos deterioros afectan la capacidad estructural y funcional de la vía, así como la seguridad y comodidad del usuario.

De acuerdo con la norma ASTM D6433 (2003), los deterioros se clasifican según su tipo y nivel de severidad en bajo, medio y alto, lo que permite una evaluación uniforme y estandarizada de la condición del pavimento. Esta clasificación constituye la base para la evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI), ya que permite valorar de manera objetiva el estado superficial de la infraestructura vial y garantizar un procedimiento uniforme, reproducible y estandarizado durante las inspecciones de campo.

2.3. Clasificación General de Fallas del Pavimento

2.3.1 Fallas en Vías con Pavimento Flexibles

Las fallas en pavimentos flexibles incluyen agrietamientos, deformaciones, pérdidas de material y fallas superficiales, las cuales se desarrollan principalmente por la repetición de cargas de tráfico y la degradación del ligante asfáltico.

2.3.2 Fallas en Vías con Pavimento Rígidos

En los pavimentos rígidos, las fallas se presentan como fisuras, escalonamientos, desprendimientos y deterioro de las juntas, originadas por las cargas repetidas del tránsito, las variaciones de temperatura y las deficiencias en la transferencia de carga entre las losas.

2.4. Marco Normativo

La evaluación de la condición del pavimento mediante el método PCI se sustenta en las siguientes normas y documentos técnicos:

- ❖ ASTM D6433: *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*.
- ❖ Vásquez Varela, J. (2002). *Manual para la evaluación del pavimento mediante el método PCI*.
- ❖ Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Manuales y normas técnicas para la gestión, conservación y evaluación de la infraestructura vial, utilizados como referencia para la medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) y la planificación del mantenimiento vial.
- ❖ AASHO Road Test (1962). Investigación desarrollada por la *American Association of State Highway Officials*, que establece el concepto de serviciabilidad del pavimento y el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), utilizado para evaluar el desempeño funcional del pavimento según la comodidad del usuario.
- ❖ Banco Mundial (World Bank). fundamento internacional del IRI

2.5. Hipótesis de la investigación

La presente investigación parte de la observación del progresivo deterioro del pavimento en la avenida La Cultura, evidenciado por la presencia de baches, fisuras, deformaciones y otras irregularidades superficiales que afectan su nivel de serviciabilidad. Estas deficiencias del pavimento se relacionan con variaciones en la estabilidad y eficiencia de la circulación vehicular, generando cambios en las condiciones de aceleración, frenado y desplazamiento de los vehículos. En este contexto, se plantea la existencia de una relación entre la condición del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂).

2.5.1 Hipótesis General

H.G.: Existe una relación significativa entre la pérdida de la serviciabilidad del pavimento y las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) asociadas al tránsito vehicular en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025.

2.5.2 Hipótesis Específicas

H.E1.: Existe una relación directa entre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025.

H.E2.: Existe una relación inversa entre el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025.

H.E3.: Existe una relación directa entre el nivel de ahuellamiento del pavimento y las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025.

H.E4.: Existen diferencias en las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) entre los distintos niveles de serviciabilidad del pavimento, determinados a partir de los valores de IRI, PCI, ahuellamiento y PSI, considerando el flujo vehicular registrado en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Ubicación del Área de Estudio

La presente investigación se desarrolló en la avenida La Cultura, específicamente en el tramo comprendido entre el paradero Enaco y la plaza Limacpampa, ubicado en la ciudad del Cusco, provincia y departamento del Cusco. Esta vía constituye un corredor urbano principal que conecta los distritos de San Sebastián y Cusco, caracterizado por un alto flujo vehicular diario.

La selección de este tramo respondió a su importancia estratégica dentro de la red vial urbana del Cusco y a la representatividad de las condiciones reales de circulación que presenta diariamente.

El punto inicial del tramo de estudio se localiza aproximadamente en las coordenadas 13°32'02" S y 71°54'38" W, a una altitud de 3 246,20 m s. n. m., mientras que el punto final se ubica en las coordenadas 13°31'10" S y 71°58'24" W, a una altitud de 3 383,26 m s. n. m.

Figura 4.

Ubicación del Tramo de Estudio en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco – Limacpampa, Cusco



Fuente: Google Earth Imagen Satelital del Área de Estudio. Captura septiembre 2025.

3.2. Características de la investigación

3.2.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo, debido a que se basa en la medición objetiva y el análisis de datos numéricos correspondientes a los indicadores de serviciabilidad del pavimento (IRI, PCI, PSI y ahuellamiento), el aforo vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂). La información obtenida fue procesada mediante técnicas estadísticas, permitiendo determinar la relación entre las variables de estudio y contrastar las hipótesis planteadas.

3.2.2 Tipo de la Investigación

El tipo de investigación es aplicada, ya que busca generar conocimiento orientado a la solución de un problema práctico relacionado con la pérdida de la serviciabilidad del pavimento y su relación con las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), con la finalidad de aportar información para la planificación del mantenimiento vial y la gestión ambiental.

3.2.3 Nivel de la Investigación

El nivel de la investigación es correlacional, ya que tiene como propósito determinar el grado de relación existente entre la pérdida de la serviciabilidad del pavimento, representada por los indicadores IRI, PCI, PSI y ahuellamiento, y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂). Para ello, se aplicaron técnicas de análisis estadístico, como el coeficiente de correlación de Spearman y la regresión lineal múltiple, que permitieron evaluar la asociación entre las variables de estudio.

3.2.4 Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es no experimental de corte transversal, debido a que las variables de estudio no fueron manipuladas de manera intencional, sino que fueron observadas, medidas y analizadas tal como se presentan en su contexto natural. Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014), en los estudios no experimentales el investigador observa los fenómenos sin intervenir en ellos, para posteriormente analizar las relaciones existentes entre las variables.

3.3. Población y Muestra

3.3.1 Población

La población de estudio está conformada por el tramo del pavimento de la Avenida La Cultura, ubicado en la ciudad del Cusco, correspondiente al segmento comprendido entre el paradero Enaco y la plaza Limacpampa, con una longitud aproximada de 7.200 km, durante el año 2025. Este tramo representa una sección significativa de uno de los principales ejes viales urbanos, debido a su importancia en la articulación de zonas residenciales, comerciales y de servicios.

Debido a su relevancia dentro del sistema de transporte urbano, el tramo en estudio presenta un tránsito vehicular intenso y heterogéneo, conformado por vehículos livianos, transporte público y unidades de carga ligera y pesada, lo que somete al pavimento a cargas repetitivas, favoreciendo su degradación progresiva.

En el contexto de la presente investigación, la población se define como la totalidad de la superficie pavimentada del tramo Enaco – Limacpampa de la Avenida La Cultura, la cual es evaluada desde el punto de vista funcional, mediante un análisis superficial de su condición de conservación y nivel de serviciabilidad. Para efectos del análisis, cada segmento del pavimento se considera como una unidad homogénea, tomando en cuenta factores como el grado de deterioro, la intensidad del tráfico y las condiciones ambientales.

Cabe precisar que el tramo en estudio presenta tanto pavimento flexible como pavimento rígido, los cuales son considerados dentro de la evaluación funcional del pavimento, mediante el análisis de su condición de conservación y nivel de serviciabilidad. Este enfoque permite desarrollar una evaluación integral de la relación entre la condición funcional del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) asociadas a la circulación vehicular en el tramo de estudio.

3.3.2 Muestra

La muestra principal estuvo conformada por doce (12) unidades de muestreo ubicadas a lo largo del tramo de estudio de la avenida La Cultura, en la ciudad del Cusco. Cada unidad de muestreo corresponde a un subtramo de aproximadamente 102 m de longitud, definido de acuerdo con los criterios establecidos en la norma ASTM D6433 para la evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI), adaptados a las condiciones de tránsito urbano presentes en el área de estudio.

Las unidades de muestreo seleccionados son los siguientes:

Subtramo 12: Ubicado en el paradero Enaco, correspondiente a un pavimento flexible en mal estado, donde se identificaron deterioros significativos como fisuras, baches, deformaciones superficiales y ahuellamientos.

Subtramo 11: Ubicado en el paradero San Miguel, caracterizado por presentar pavimento flexible en mal estado, con presencia de grietas, fisuras longitudinales y huecos superficiales.

Subtramo 10: Ubicado en el paradero Camionero del distrito de San Sebastián, correspondiente a un pavimento flexible en mal estado, con presencia de grietas y ahuellamientos con distintas severidades.

Subtramo 09: Ubicado en el sexto paradero de San Sebastián, caracterizado por presentar pavimento flexible deteriorado, con presencia de ahuellamientos, fisuras longitudinales y huecos superficiales.

Subtramo 08: Ubicado frente al Centro Comercial Tottus, correspondiente a un pavimento rígido en condición regular, con superficie estable y escaso nivel de deterioro.

Subtramo 07: Ubicado en el segundo paradero de San Sebastián, correspondiente a un pavimento rígido en condición regular, con superficie estable y mínimas fallas superficiales.

Subtramo 06: Ubicado en el sector Santa Úrsula, correspondiente a un pavimento flexible en condición regular, donde se observaron fisuras longitudinales y transversales, así como deterioro tipo piel de cocodrilo

Subtramo 05: Ubicado frente al Mall Real Plaza, correspondiente a un pavimento flexible en condición regular, con presencia de grietas y deterioro tipo piel de cocodrilo.

Subtramo 04: Ubicado frente al Hospital Regional del Cusco, correspondiente a un pavimento flexible con deterioros superficiales moderados.

Subtramo 03: Ubicado frente al sector Amauta, correspondiente a un pavimento flexible en mejores condiciones de conservación, evidenciándose únicamente parches y fisuras longitudinales y transversales de baja magnitud.

Tramo 02: Ubicado frente al óvalo del Colegio Inca Garcilaso de la Vega, correspondiente a un pavimento flexible en condición regular, con presencia mínima de fisuras y predominio de parches superficiales.

Tramo 01: Ubicado en la calle Arcopunku, ingresando por la plazoleta de Limacpampa, correspondiente a un pavimento flexible con presencia de huecos pequeños, grietas longitudinales y fisuras transversales.

En cada una de las doce (12) unidades de muestreo se realizó el levantamiento de información técnica mediante inspección visual directa para la identificación y cuantificación de fallas superficiales, con la finalidad de determinar el Índice de Condición del Pavimento (PCI). Asimismo, se efectuó la evaluación del ahuellamiento mediante procedimientos directos en campo.

De manera complementaria, se realizó el aforo vehicular mediante registro en video, permitiendo la clasificación de los vehículos por tipo y la determinación de su frecuencia de circulación. Además, se efectuó la medición de las concentraciones ambientales de dióxido de

carbono (CO₂) mediante un sensor portátil, obteniéndose valores expresados en partes por millón (ppm).

Asimismo, la evaluación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) mediante la rueda MERLIN se realizó en dieciocho (18) subtramos distribuidos a lo largo del tramo de estudio, con la finalidad de obtener una caracterización más detallada de la rugosidad superficial del pavimento y mejorar la representatividad espacial de los resultados.

Posteriormente, para el análisis correlacional entre las variables funcionales del pavimento, el aforo vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), se consideraron únicamente las doce (12) unidades de muestreo que contaban con información completa de todas las variables analizadas.

Finalmente, el tamaño de la muestra fue determinado considerando criterios técnicos y operativos relacionados con la disponibilidad de equipos para la medición de CO₂, así como la necesidad de representar adecuadamente la variabilidad de las condiciones del pavimento presentes en el tramo de estudio. En ese sentido, se seleccionaron unidades de muestreo con diferentes niveles de deterioro (alto, medio y bajo) y distintos tipos de pavimento (flexible y rígido), permitiendo obtener resultados representativos y adecuados para el análisis de la relación entre la condición funcional del pavimento, el tránsito vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂)

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para la presente investigación se aplicaron técnicas de observación directa, medición in situ y análisis estadístico correlacional, orientadas a evaluar la condición funcional del pavimento, el flujo vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, en la ciudad del Cusco. La recolección de datos se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de acuerdo con el diseño no experimental y de corte transversal de la investigación.

La evaluación de la condición funcional del pavimento se realizó mediante inspección técnica y mediciones de campo, aplicando metodologías reconocidas en la ingeniería vial. El Índice de Condición del Pavimento (PCI) fue determinado mediante inspección visual sistemática, conforme a la norma ASTM D6433, registrándose los tipos, severidad y extensión de los deterioros presentes en la superficie del pavimento.

De manera complementaria, la rugosidad superficial fue evaluada mediante la medición del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), utilizando la Rueda MERLIN, con la finalidad de caracterizar la calidad de rodadura del tramo estudiado. Asimismo, se efectuó la medición del ahuellamiento mediante procedimientos directos en campo, empleando una regla metálica y una plantilla, permitiendo cuantificar la deformación longitudinal permanente del pavimento en milímetros, como indicador del nivel de deterioro superficial.

A partir de los valores de rugosidad obtenidos en campo, se estimó el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) mediante la relación propuesta por la AASHTO, permitiendo evaluar el nivel de serviciabilidad del pavimento en términos de comodidad y funcionalidad para la circulación vehicular.

Por otro lado, para la evaluación de la variable ambiental, se realizaron mediciones in situ de la concentración ambiental de dióxido de carbono (CO_2) mediante un sensor portátil basado en tecnología infrarroja no dispersiva (NDIR), modelo AZ-7755 (Handheld CO_2 /Temperature/Relative Humidity Meter), complementado con una Raspberry Pi para el almacenamiento y transmisión de los datos registrados. Las mediciones permitieron obtener valores de concentración ambiental expresados en partes por millón (ppm).

Asimismo, el aforo vehicular se efectuó mediante grabaciones de video, permitiendo posteriormente la clasificación de los vehículos por tipo y la determinación de su frecuencia de paso. La información obtenida fue utilizada para complementar el análisis de las

concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), considerando la intensidad y composición del tránsito vehicular en cada unidad de muestreo.

Cabe precisar que la presente investigación no realizó mediciones directas de emisiones vehiculares en fuente, sino mediciones de concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) registradas en el entorno vial. En consecuencia, los resultados obtenidos representan el comportamiento de las concentraciones ambientales de CO₂ asociadas al tránsito vehicular y a las condiciones operacionales de circulación presentes en el tramo de estudio.

3.4.1 Procedimiento para Recolección de Datos

El procedimiento de recolección de datos se desarrolló de manera secuencial y organizada, con el objetivo de garantizar la confiabilidad y representatividad de la información obtenida. En una primera etapa, se realizó la planificación de los trabajos de campo, definiendo el tramo de estudio, las unidades de muestreo, los horarios de medición y la distribución de funciones del equipo técnico.

Posteriormente, se ejecutó la evaluación de la condición funcional del pavimento en las unidades de muestreo seleccionadas. Para ello, se realizaron de manera paralela la inspección visual sistemática para la determinación del Índice de Condición del Pavimento (PCI), conforme a la norma ASTM D6433, la medición del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) utilizando la Rueda Merlin, y la medición del ahuellamiento mediante procedimientos directos en campo. Estas evaluaciones permitieron determinar los niveles de deterioro del pavimento, tanto en secciones de pavimento flexible como rígido.

Con base en los resultados obtenidos, se consolidó la caracterización de la condición del pavimento y se validó la representatividad de las unidades de muestreo seleccionadas.

En una segunda etapa, se realizaron las mediciones de la concentración ambiental de dióxido de carbono (CO₂) mediante un sensor portátil tipo NDIR, de manera simultánea con el aforo vehicular, el cual fue ejecutado mediante grabaciones de video para la posterior clasificación de los vehículos por tipo y la determinación de su frecuencia de paso. Estas

mediciones se efectuaron en intervalos de tiempo previamente establecidos y bajo condiciones representativas del flujo vehicular.

Finalmente, todos los datos recolectados fueron registrados en fichas de campo y almacenados en medios digitales, para su posterior procesamiento, análisis estadístico e interpretación de resultados, permitiendo establecer la relación entre la condición funcional del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) registradas en el tramo de estudio.

3.4.2 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Los datos obtenidos durante el trabajo de campo fueron organizados y procesados utilizando hojas de cálculo, lo que permitió la elaboración de tablas y gráficos para su análisis descriptivo.

En primer lugar, los valores del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) fueron procesados conforme a los procedimientos establecidos en los manuales técnicos correspondientes, permitiendo caracterizar la rugosidad superficial del pavimento en cada unidad de muestreo.

Seguidamente, se procesaron los datos del Índice de Condición del Pavimento (PCI), obtenidos mediante inspección visual sistemática, los cuales se mantuvieron conforme a los valores registrados en campo, sin aplicar procesos de depuración, debido a que corresponden a una metodología estandarizada.

A partir de los valores de rugosidad (IRI), se estimó el Índice de Serviabilidad Presente (PSI) mediante la relación propuesta por la AASHTO, permitiendo evaluar el nivel de serviabilidad del pavimento.

Posteriormente, se consideraron los datos de ahuellamiento, los cuales fueron obtenidos mediante mediciones directas en campo y se mantuvieron sin tratamiento estadístico adicional, al tratarse de mediciones físicas de la condición superficial del pavimento.

En relación con la variable dependiente, los datos de concentración ambiental de dióxido de carbono (CO₂) fueron procesados considerando que el equipo de medición registra valores en intervalos de un segundo, generando una alta variabilidad. Por tal motivo, no se emplearon promedios, sino que se realizó un proceso de depuración y selección de registros representativos, considerando la variabilidad temporal de las mediciones y eliminando valores redundantes o atípicos no representativos del comportamiento del fenómeno. Las mediciones se realizaron durante periodos aproximados de una hora y media por cada unidad de muestreo.

Finalmente, el aforo vehicular fue procesado a partir de las grabaciones de video, permitiendo la clasificación de los vehículos por tipo y la determinación de su frecuencia de paso, como indicador de la intensidad del tránsito.

Los valores del PCI, IRI, ahuellamiento y PSI fueron clasificados de acuerdo con los rangos establecidos en normas y referencias técnicas, permitiendo determinar los niveles de deterioro del pavimento en cada unidad de muestreo.

Finalmente, se desarrolló un análisis correlacional entre los indicadores funcionales del pavimento (IRI, PCI, PSI y ahuellamiento), el flujo vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), mediante el coeficiente Rho de Spearman, debido al comportamiento no paramétrico de las variables analizadas. Las correlaciones permitieron determinar el grado de asociación existente entre el nivel de deterioro funcional del pavimento, las condiciones operacionales de circulación vehicular y las concentraciones ambientales de CO₂ registradas en cada unidad de muestreo. Asimismo, se evaluó la significancia estadística mediante el valor p, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

La interpretación de los coeficientes de correlación se realizó considerando la intensidad y dirección de la asociación entre variables, permitiendo identificar correlaciones directas o inversas entre la condición funcional del pavimento, el flujo vehicular y las concentraciones ambientales de CO₂.

3.4.3 Metodología para la Evaluaciones de Campo

La metodología empleada para la ejecución de las evaluaciones y mediciones se basó en procedimientos técnicos estandarizados de la ingeniería vial, incorporando de manera complementaria criterios de evaluación ambiental. Estas actividades se desarrollaron con la finalidad de garantizar la confiabilidad y consistencia de los datos obtenidos en campo.

La evaluación de la condición del pavimento se realizó mediante inspección visual sistemática, aplicando el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI), conforme a los lineamientos de la norma ASTM D6433, lo que permitió identificar, clasificar y cuantificar los deterioros presentes en la superficie del pavimento.

La evaluación de la rugosidad superficial se efectuó mediante el uso de la Rueda MERLIN, obteniendo el perfil longitudinal del pavimento para el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional (IRI). A partir de estos resultados, el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) fue estimado mediante el modelo propuesto por la AASHTO, como indicador del nivel de serviciabilidad del pavimento.

La medición del ahuellamiento se realizó mediante procedimientos directos en campo, empleando una regla metálica y una plantilla, con el objetivo de cuantificar la deformación longitudinal permanente del pavimento.

Por otro lado, la concentración ambiental de dióxido de carbono (CO_2) fue medida mediante un sensor portátil de dióxido de carbono (CO_2) basado en tecnología de infrarrojo no dispersivo (NDIR), modelo AZ-7755 (Handheld CO_2 /Temperature/Relative Humidity Meter), registrando valores en condiciones reales de operación vehicular. Estas mediciones fueron complementadas con el aforo vehicular, el cual permitió determinar la frecuencia y tipo de vehículos en cada unidad de muestreo.

Finalmente, la información obtenida de la condición funcional del pavimento, el aforo vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO_2) fue integrada para desarrollar el análisis correlacional entre las variables de estudio.

CAPITULO IV: PRESENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se describen los procedimientos de campo, el procesamiento y el análisis de los datos obtenidos durante la evaluación de la condición funcional del pavimento y del tránsito vehicular en el tramo de estudio de la avenida La Cultura, comprendido entre Enaco y la plaza Limacpampa.

En primer lugar, se presentan los resultados de la medición de la rugosidad superficial mediante el rugosímetro MERLIN, a partir de los cuales se determinó el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en cada unidad de muestreo.

Seguidamente, se exponen los resultados de la evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI), obtenidos mediante inspección visual conforme a la norma ASTM D6433, permitiendo identificar el nivel de deterioro superficial del pavimento.

A continuación, se presenta la estimación del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), calculado a partir de los valores de rugosidad (IRI), como indicador del nivel de serviciabilidad del pavimento.

Posteriormente, se muestran los resultados de la medición del ahuellamiento, como parámetro que permite evaluar la deformación longitudinal del pavimento.

En relación con la variable ambiental, se presentan los resultados de las mediciones de la concentración ambiental de dióxido de carbono (CO_2), registradas en condiciones reales de operación vehicular en cada unidad de muestreo.

Finalmente, se expone el análisis del aforo vehicular, incluyendo la clasificación y frecuencia de paso de los vehículos, lo que permitió caracterizar la intensidad del tránsito en el tramo de estudio.

En base a los resultados obtenidos, se desarrolla el análisis conjunto de las variables, estableciendo la relación entre la condición funcional del pavimento (IRI, PCI, PSI y ahuellamiento) y las concentraciones de CO_2 , con el fin de evaluar la influencia de la condición del pavimento sobre las concentraciones ambientales de CO_2 asociadas al tránsito vehicular.

4.1. Evaluación de la Rugosidad del Pavimento con Rugosímetro MERLIN

La evaluación de la rugosidad superficial del pavimento se realizó mediante el uso del Rugosímetro de Merlín, instrumento que permite la estimación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) a partir del análisis de las desviaciones del perfil longitudinal del pavimento. La evaluación se llevó a cabo el 07 de julio de 2025, a lo largo del tramo de estudio comprendido entre el paradero Enaco y la plaza Limacpampa, el cual presenta un alto volumen de tránsito vehicular, siguiendo el procedimiento establecido en el Manual de Carreteras – Mantenimiento del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

El tramo total fue dividido en 18 subtramos, cada uno con una longitud aproximada de 400 m, con el fin de garantizar una adecuada representatividad espacial de las condiciones del pavimento. Esta longitud fue definida en función de criterios técnicos de homogeneidad y variabilidad del deterioro superficial, en concordancia con lo establecido en el Manual de Carreteras – Mantenimiento del MTC, el cual recomienda realizar evaluaciones en tramos homogéneos sin establecer una longitud fija. Asimismo, el valor adoptado se encuentra dentro de los rangos comúnmente utilizados en la aplicación del método MERLIN, que varían entre 200 m y 500 m en evaluaciones de campo, lo que asegura la confiabilidad y precisión de los resultados obtenidos. Las progresivas evaluadas se detallan en la Tabla correspondiente, abarcando desde la progresiva 7+200 m hasta la 0+000 m.

Durante la evaluación, el Rugosímetro de Merlín se desplazó manualmente sobre la superficie de rodadura, registrándose las desviaciones verticales del perfil longitudinal del pavimento en intervalos regulares, conforme al procedimiento estándar del método. Para cada subtramo se efectuaron múltiples lecturas, las cuales fueron posteriormente organizadas y procesadas para la obtención de valores representativos del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

El uso del Rugosímetro MERLIN resulta adecuado para el presente estudio, debido a que permite estimar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de manera confiable en vías

urbanas, incluso en condiciones de alto volumen de tránsito y velocidades de operación variables, como es el caso de la avenida La Cultura. Asimismo, este método constituye una alternativa práctica, reproducible y de bajo costo en comparación con equipos de alta precisión, como los perfilómetros láser o los vehículos instrumentados, los cuales requieren mayores recursos económicos, tecnológicos y operativos para su implementación. De este modo, el método MERLIN se presenta como una herramienta eficiente para evaluaciones de campo, manteniendo consistencia con las especificaciones técnicas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

4.2. Método de Medición

La evaluación de la rugosidad superficial se inició en el paradero Enaco, considerado como el inicio del tramo de estudio, y concluyó en la plaza Limacpampa, correspondiente al final del tramo. El recorrido se efectuó por el carril Izquierdo en sentido de subida, próximo a la berma central, con el objetivo de evaluar la zona de mayor carga vehicular.

El tramo total fue dividido en segmentos de aproximadamente 400 m, definidos en función de criterios técnicos de homogeneidad y de aplicación del método MERLIN. En cada segmento se realizaron 200 lecturas en sentido de ida, lo que permitió incrementar la confiabilidad y precisión de los resultados obtenidos.

Las progresivas evaluadas se presentan en la Tabla 2, donde se detallan los tramos analizados y su respectiva longitud. Todas las lecturas fueron registradas en el formato de campo correspondiente, el cual consta de 20 filas y 10 columnas, iniciándose el llenado desde el casillero (1,1) y avanzando de manera secuencial conforme al orden de medición.

Con el fin de asegurar la confiabilidad de los datos obtenidos, las mediciones de rugosidad se realizaron sobre una superficie seca y en condiciones normales de tránsito, evitando factores externos que alteraran las lecturas. Asimismo, cada tramo fue evaluado siguiendo el procedimiento del método MERLIN, garantizando la consistencia y repetibilidad de las mediciones.

4.3. Progresivas de los Subtramos de Estudio

Los subtramos de estudio se ubican dentro del tramo de la avenida La Cultura comprendido entre el paradero Enaco (progresiva 7+200) y la plaza Limacpampa (progresiva 0+000). Con la finalidad de realizar un análisis detallado y representativo de la rugosidad superficial del pavimento, este tramo fue subdividido en subtramos consecutivos de aproximadamente 400 m de longitud.

Esta subdivisión permitió evaluar de manera específica las variaciones en la condición funcional del pavimento a lo largo del tramo de estudio, facilitando la comparación entre sectores con distintos niveles de deterioro.

Las progresivas correspondientes a cada subtramo evaluado se presentan en la Tabla 2, donde se especifican los límites iniciales y finales de cada uno de ellos.

Tabla 3.

progresivas del subtramo de estudio

Tipo de Pavimento	Subtramo	Progresivas (m)
P.Flexible	Subtramo 1	7 + 200 - 6 + 800
	Subtramo 2	6 + 800 - 6 + 400
	Subtramo 3	6 + 400 - 6 + 000
	Subtramo 4	6 + 000 - 5 + 600
	Subtramo 5	5 + 600 - 5 + 200
	Subtramo 6	5 + 200 - 4 + 800
	Subtramo 7	4 + 800 - 4 + 600
P. Rígido	Subtramo 7.1	4 + 600 - 4 + 400
	Subtramo 8	4 + 400 - 4 + 000
	Subtramo 9	4 + 000 - 3 + 665
P.Flexible	Subtramo 9.1	3 + 665 - 3 + 600
	Subtramo 10	3 + 600 - 3 + 200
	Subtramo 11	3 + 200 - 2 + 800
	Subtramo 12	2 + 800 - 2 + 400
	Subtramo 13	2 + 400 - 2 + 000
	Subtramo 14	2 + 000 - 1 + 600
	Subtramo 15	1 + 600 - 1 + 200
	Subtramo 16	1 + 200 - 0 + 800
	Subtramo 17	0 + 800 - 0 + 400
	Subtramo 18	0 + 400 - 0 + 000

Fuente: Elaboración propia

4.4. Procesamiento de Datos

El procesamiento de los datos obtenidos mediante el Rugosímetro MERLIN se realizó a partir de la elaboración de histogramas de frecuencia, los cuales permitieron representar la distribución de las desviaciones registradas en cada subtramo evaluado. Este procedimiento facilitó el análisis del comportamiento de los datos y la identificación de su tendencia de distribución, permitiendo determinar los valores extremos y el intervalo central de las mediciones.

Con base en la información obtenida de los histogramas, se determinó el rango **D**, correspondiente a la amplitud de la distribución de las lecturas registradas. Este parámetro constituye la base para la estimación del Índice Internacional de Rugosidad (IRI), mediante las ecuaciones de calibración establecidas para el método MERLIN. Finalmente, los valores de IRI obtenidos permitieron cuantificar el nivel de rugosidad superficial del pavimento y evaluar su condición funcional en cada uno de los subtramos analizados.

4.4.1 Cálculo del Rango “D”

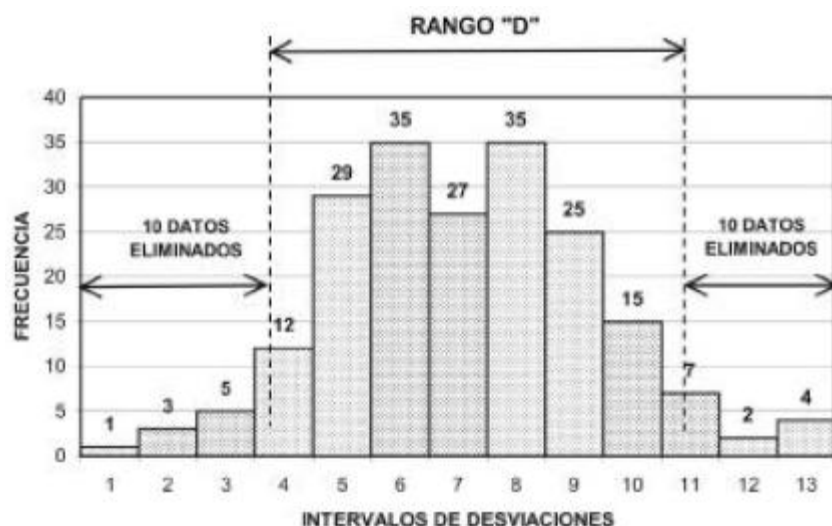
El rango total “D” se determinó a partir del histograma de frecuencias de las desviaciones medidas, considerando el 90 % central de los datos. Para ello, se excluyó el 5 % de los valores extremos superiores y el 5 % de los valores extremos inferiores, con el fin de eliminar lecturas atípicas que pudieran distorsionar el resultado final, de acuerdo con el procedimiento establecido en el método MERLIN y las recomendaciones del Manual de Carreteras – Mantenimiento del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

El rango “D” se obtuvo como la diferencia entre los valores extremos del conjunto de datos centrales, conforme a la metodología del método MERLIN.

Valores elevados del rango “D” indican una mayor dispersión de las desviaciones medidas, lo cual se asocia a una superficie de rodadura más irregular y, por tanto, a un mayor nivel de rugosidad del pavimento. Por el contrario, valores bajos del rango “D” reflejan una superficie más uniforme, característica de pavimentos con mejor condición funcional.

Figura 5.

Histograma de Distribución de Frecuencia de una Muestra de 200 Desviaciones Medidas en Forma consecutiva



Fuente: Elaboración propia, con base en el método MERLIN (MTC)

4.4.2 Factor de corrección para el ajuste de "D"

Para realizar el cálculo del factor de corrección del equipo (F.C.), se utilizó la siguiente expresión:

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

Donde:

EP: Es el espesor de la pastilla del rugosímetro Merlin, expresado en milímetros (mm)

LI: Posición inicial del puntero del equipo

LF: Posición final del puntero del equipo

El espesor de la pastilla (EP = 6.2 mm) corresponde al valor estándar del equipo utilizado durante la evaluación. El factor de corrección obtenido es un parámetro adimensional que permite ajustar el rango "D" calculado previamente, garantizando la consistencia y precisión de los resultados obtenidos, de acuerdo con los lineamientos del método MERLIN.

4.4.3 Cálculo de “D” corregido

El rango “D” corregido se determinó multiplicando el rango inicial por el factor de corrección del equipo, obteniéndose así un valor ajustado que representa con mayor precisión la irregularidad longitudinal del pavimento en cada tramo evaluado, de acuerdo con el procedimiento establecido en el método MERLIN.

$$D = (Rango\ D) \times F.C \times 5$$

Donde:

Rango D corresponde al rango obtenido a partir del histograma de frecuencias de las lecturas del rugosímetro MERLIN,

F.C. Es el factor de corrección del equipo, determinado en función del espesor de la pastilla utilizada durante el ensayo, 5 representa la longitud de referencia del tablero del rugosímetro MERLIN, expresada en milímetros(mm).

El valor corregido del rango “D” se expresa en milímetros (mm) y constituye el parámetro base para la estimación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

4.4.4 Cálculo del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

La estimación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se realizó a partir del valor del rango “D” corregido, empleando las ecuaciones empíricas establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) para el método MERLIN, las cuales dependen del rango de variación del índice.

Para valores del IRI comprendidos entre 2.4 m/km y 15.9 m/km, se utilizó la siguiente expresión:

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$$

Por otro lado, cuando el valor del IRI es menor a 2.4 m/km, se aplicó la siguiente relación:

$$IRI = 0.0485 \times D$$

Estas expresiones permiten convertir el valor del rango “D” en el correspondiente Índice de Rugosidad Internacional.

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) obtenido para cada subtramo constituye un indicador fundamental de la condición funcional del pavimento, dado que valores elevados se asocian a mayores irregularidades superficiales, generando incremento en las vibraciones vehiculares, variaciones en la velocidad de operación y mayores resistencias al desplazamiento. Estas condiciones afectan la dinámica del tránsito y se relacionan con el incremento de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

4.4.5 Clasificación de Rugosidad según las Especificaciones Técnicas del MTC

La condición funcional del pavimento fue evaluada mediante los valores de IRI, los cuales permiten cuantificar las irregularidades longitudinales de la superficie de rodadura. De acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), los valores de IRI permiten clasificar la condición del pavimento en diferentes niveles de condición.

En función de estos rangos, el MTC establece la clasificación de la condición funcional del pavimento en las categorías: bueno, regular, malo y muy malo, conforme se presenta en la Tabla 3, la cual fue utilizada como referencia para la interpretación de los resultados obtenidos en el tramo de estudio.

Tabla 4.

Clasificación de la condición del pavimento según el IRI (MTC)

Estado	Rugosidad IRI	
	Pavimentada	No Pavimentada
Bueno	$0 < \text{IRI} \leq 2.8$	$\text{IRI} \leq 6$
Regular	$2.8 < \text{IRI} \leq 4$	$6 < \text{IRI} \leq 8$
Malo	$4 < \text{IRI} \leq 5$	$8 < \text{IRI} \leq 10$
Muy Malo	$5 < \text{IRI}$	$10 < \text{IRI}$

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales del MTC

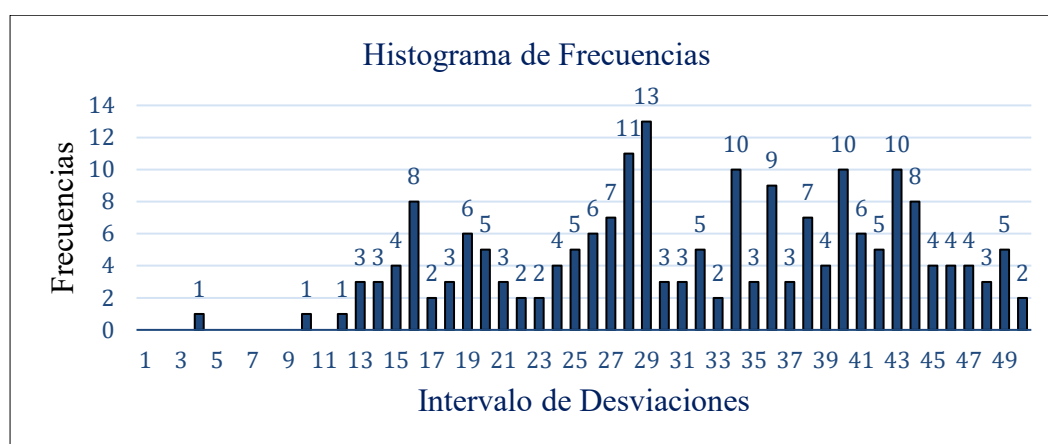
4.5. Tratamiento y Análisis de los Datos – Pavimento Flexible

4.5.1 Subtramo 1: progresiva 7 + 200 km - 6 + 800km

El histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN subtramo 01 fue elaborado a partir de los datos registrados en la hoja de campo correspondiente, donde se consignaron las 200 lecturas consecutivas del equipo.

Figura 6.

Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 01



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

A partir del histograma de frecuencias obtenido con el rugosímetro MERLIN (Figura 7), se determinó el rango “D” considerando el 5 % de datos extremos y los datos centrales, conforme al procedimiento establecido para este método.

$$5\% \text{ Izq. (10 datos)} = 3/4 = 0.75$$

$$5\% \text{ Der (10 datos)} = 0.00$$

$$\text{Datos centrales} = 32$$

$$\text{Rango Total “D”} = 5\% \text{ Izq. (10 datos)} + 5\% \text{ Der. (10 datos)} + \text{Datos centrales}$$

$$\text{Rango Total “D”} = 0.75 + 0 + 32 = 32.75 \text{ mm}$$

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{(LI - LF) \times 5} \quad \text{donde:}$$

EP: Espesor de la pastilla =6.2mm

LI: Posición inicial del puntero=25

LF: Posición final del puntero=12

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de “D” se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$D = \text{Rango "D"} \times F.C. \times (5\text{mm del tablero de Merlin})$

$$D = 32.75 \times 0.953 \times 5 = 156.18\text{mm}$$

Determinación del valor de IRI

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$$

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times 156.18 = 7.94\text{m/km}$$

$$IRI = 7.94 \text{ m/km}$$

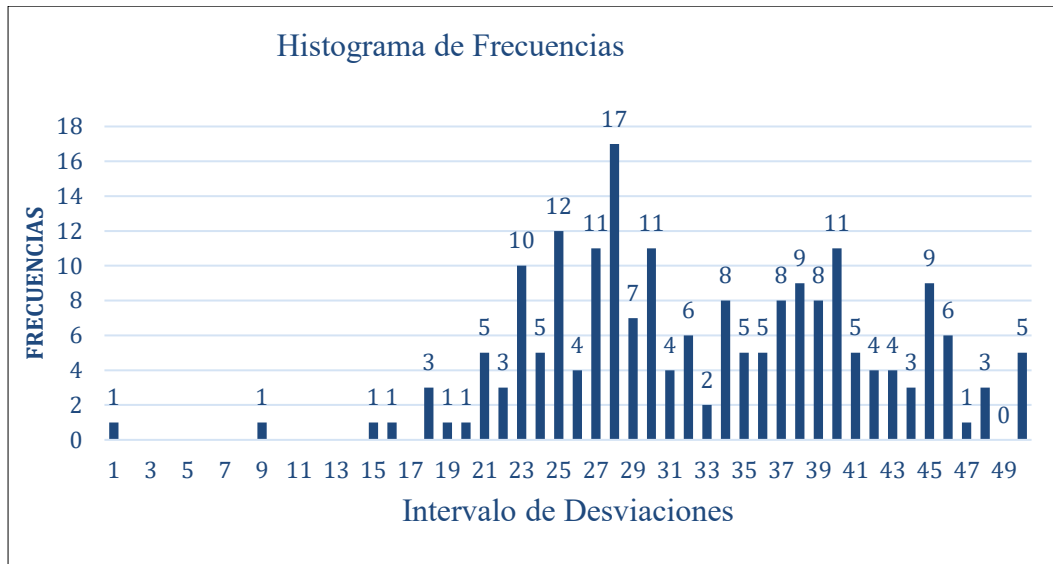
El valor de IRI se encuentra dentro del rango $2.4 < IRI < 15.9$.

De acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del Subtramo 1 en un nivel de calidad: MUY MALO, lo que evidencia una condición funcional deficiente del pavimento y una pérdida significativa de la regularidad superficial.

4.5.2 Subtramo 02: progresiva 6 + 800km - 6 + 400km

Figura 7.

*Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN –
Subtramo 02*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 8 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Subtramo 02. A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

$$5\% \text{ Izq. (10 datos)} = 4/5 = 0.80$$

$$5\% \text{ Der (10 datos)} = 5/6 = 0.83$$

$$\text{Datos centrales} = 24$$

$$\text{Rango Total “D”} = 5\% \text{ Izq. (10 datos)} + 5\% \text{ Der. (10 datos)} + \text{Datos centrales}$$

$$\text{Rango Total “D”} = 0.80 + 0.83 + 24 = 25.63 \text{ mm}$$

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{(LI - LF) \times 5} \quad \text{donde:}$$

EP: Espesor de la pastilla = 6.2mm

LI: Posición inicial del puntero = 25

LF: Posición final del puntero = 12

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de “D” se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$D = \text{Rango "D"} \times F.C. \times (5\text{mm del tablero de Merlín})$$

$$D = 25.63 \times 0.953 \times 5 = 122.12\text{mm}$$

Determinación del valor de IRI

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$$

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times 122.12$$

$$IRI = 6.3510 \text{ m/km}$$

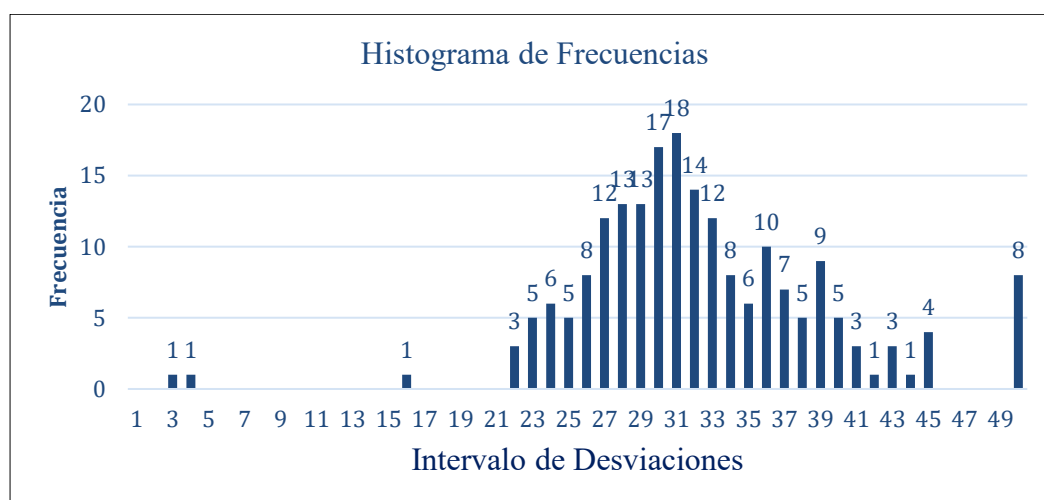
El valor de IRI se encuentra dentro del rango $2.4 < IRI < 15.9$

De acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del subtramo 02 en un nivel de calidad: MUY MALO, lo que evidencia una condición funcional deficiente del pavimento y una pérdida significativa de la regularidad superficial.

4.5.3 Subtramo 03: progresiva 6 + 400 km - 6 + 000km

Figura 8.

Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 03



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 9 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Subtramo 03. A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

$$5\% \text{ Izq. (10 datos)} = 1/5 = 0.20$$

$$5\% \text{ Der (10 datos)} = 2/4=0.50$$

$$\text{Datos centrales} = 21$$

$$\text{Rango Total “D”} = 5\% \text{ Izq. (10 datos)} + 5\% \text{ Der. (10 datos)} + \text{Datos centrales}$$

$$\text{Rango Total “D”} = 0.20+0.50+21 = 21.70 \text{ mm}$$

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{(LI - LF) \times 5} \quad \text{donde:}$$

EP: Espesor de la pastilla =6.2mm

LI: Posición inicial del puntero=25

LF: Posición final del puntero=12

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de “D” se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$D = \text{Rango "D"} \times F.C. \times (5\text{mm del tablero de Merlin})$$

$$D = 21.70 \times 0.953 \times 5 = 103.40\text{mm}$$

Determinación del valor de IRI

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$$

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times 103.40$$

$$IRI = 5.46 \text{ m/Km}$$

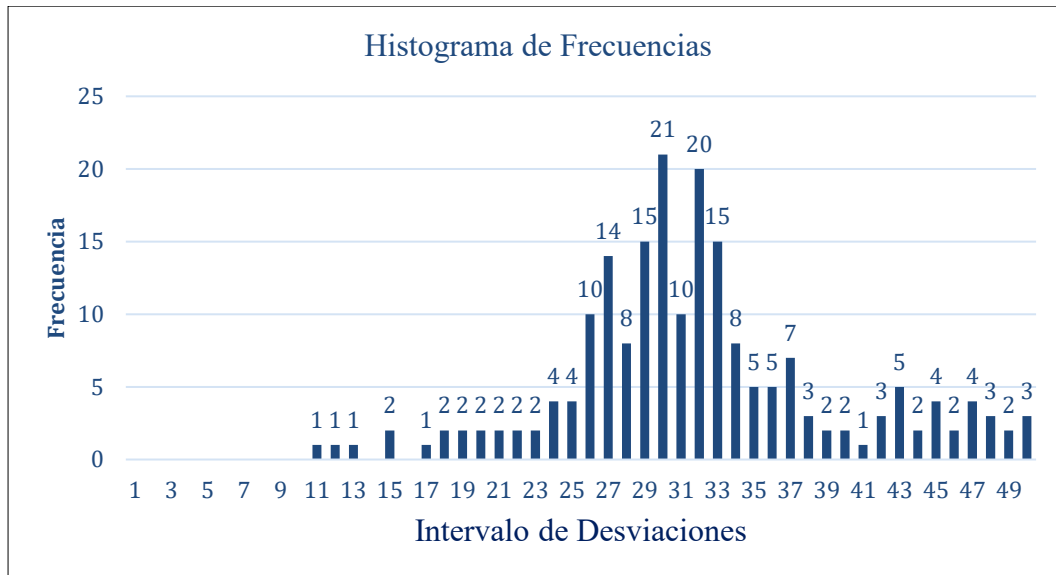
El valor de IRI se encuentra dentro del rango $2.4 < IRI < 15.9$

El valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del Subtramo 03 en un nivel de calidad: MUY MALO, lo que evidencia una condición funcional deficiente del pavimento y una pérdida significativa de la regularidad superficial

4.5.4 Subtramo 04: progresiva 6 + 000 Km - 5 + 600Km

Figura 9.

Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – subtramo 04



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 10 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Subtramo 04. A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

5% Izq. (10 datos) = 0

5% Der (10 datos) = 2/4=0.50

Datos centrales = 27

Rango Total “D” = 5% Izq. (10 datos) + 5% Der. (10 datos) + Datos centrales

Rango Total “D” = 0+0.50+27 = 27.50 mm

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de “D” se obtuvo mediante la siguiente expresión:

D = Rango "D" x F.C. x (5mm del tablero de MERLIN)

D = 27.50 x 0.953 x 5

$$D = 131.037\text{mm}$$

Determinación del valor de IRI

$$\text{IRI} = \text{IRI} = 0.593 + 0.0471 \times D$$

$$\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 \times 131.037$$

$$\text{IRI} = 6.76 \text{ m/Km}$$

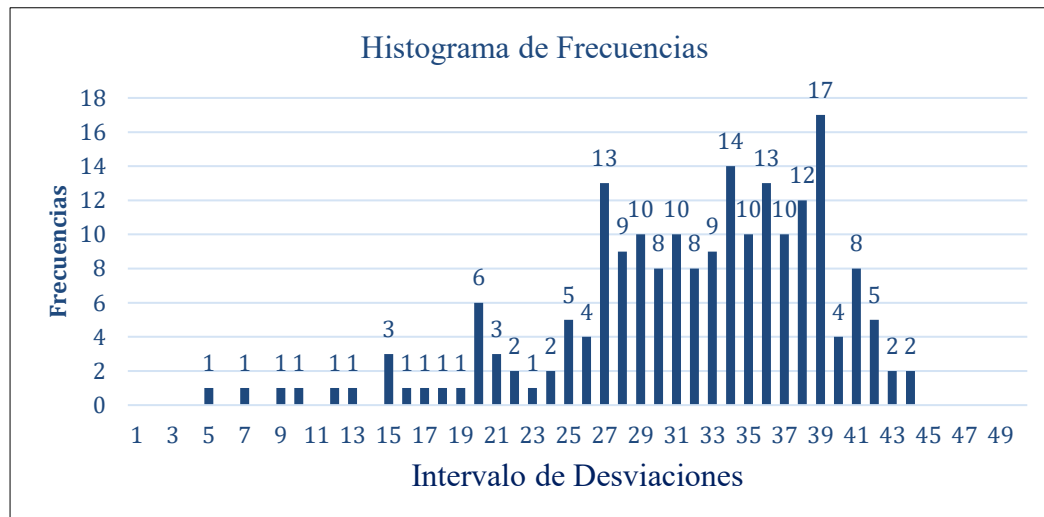
El valor de IRI se encuentra dentro del rango $2.4 < \text{IRI} < 15.9$

El valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del Tramo 04 en un nivel de calidad: MUY MALO, lo que evidencia una condición funcional deficiente del pavimento y una pérdida significativa de la regularidad superficial.

4.5.5 Subtramo 05: Progresiva 5 + 600 km - 5 + 200km

Figura 10.

Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – subtramo 05



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 11 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Tramo 05. A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

$$5\% \text{ Izq. (10 datos)} = 0$$

$$5\% \text{ Der (10 datos)} = 7/8=0.87$$

$$\text{Datos centrales} = 24$$

$$\text{Rango Total "D"} = 5\% \text{ Izq. (10 datos)} + 5\% \text{ Der. (10 datos)} + \text{Datos centrales}$$

$$\text{Rango Total "D"} = 0+0.870+24$$

$$D= 24.875 \text{ mm}$$

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{(LI - LF) \times 5} \quad \text{donde:}$$

EP: Espesor de la pastilla =6.2mm

LI: Posición inicial del puntero=25

LF: Posición final del puntero=12

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de "D" se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$D = \text{Rango "D"} \times F.C. \times (5\text{mm del tablero de Merlin})$$

$$D = 24.857 \times 0.953 \times 5$$

$$D= 118.634\text{mm}$$

Determinación del valor del IRI

$$IRI=0.593+0.0471 \times D$$

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times 118.634 = IRI = 6.180 \text{ m/km}$$

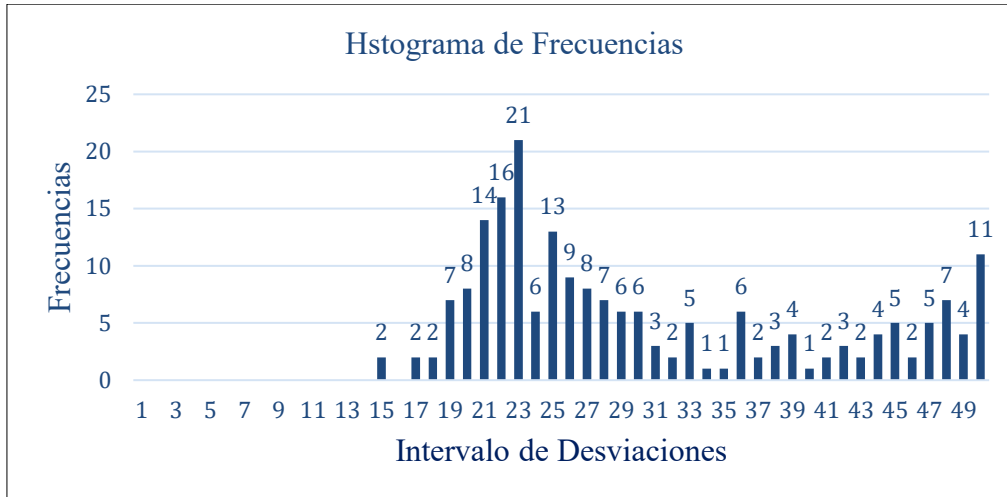
El valor de IRI se encuentra dentro del rango $2.4 < IRI < 15.9$

De acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del Subtramo 05 en un nivel de calidad: MUY MALO, lo que evidencia una condición funcional deficiente del pavimento y una pérdida significativa de la regularidad superficial

4.5.6 Subtramo 06: Progresiva 5 + 200 km - 4 + 800km

Figura 11.

Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo06



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 12 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Subtramo 06. A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

$$5\% \text{ Izq. (10 datos)} = 3/7 = 0.428$$

$$5\% \text{ Der (10 datos)} = 1/11 = 0.090$$

Datos centrales = 30

$$\text{Rango Total "D"} = 5\% \text{ Izq. (10 datos)} + 5\% \text{ Der. (10 datos)} + \text{Datos centrales}$$

$$\text{Rango Total "D"} = 0.428 + 0.090 + 30 = 30.519 \text{ mm}$$

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de “D” se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$D = \text{Rango "D"} \times F.C. \times (5 \text{ mm del tablero de MERLIN})$$

$$D = 30.519 \times 0.953 \times 5 = 145.554 \text{ mm}$$

Determinación del valor de IRI

$$IRI = IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$$

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times 145.554$$

$$IRI = 7.448 \text{ m/Km}$$

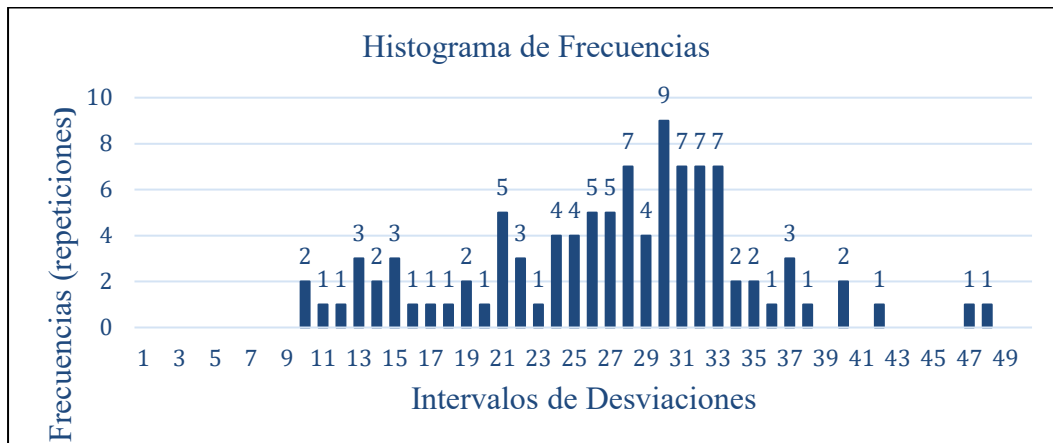
El valor de IRI se encuentra dentro del rango $2.4 < IRI < 15.9$

De acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del subtramo 06 en un nivel de calidad: MUY MALO, lo que evidencia una condición funcional deficiente del pavimento y una pérdida significativa de la regularidad superficial.

4.5.7 Subtramo 07: progresiva 4 + 800 km - 4 + 600km

Figura 12.

Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro – Subtramo 07



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 13 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Subtramo 07. A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

5% Izq. (10 datos) = 0

5% Der (10 datos) = 0

Datos centrales = 25

Rango Total “D” = 5% Izq. (10 datos) + 5% Der. (10 datos) + Datos centrales

Rango Total “D” = 0+0+25 = 25 mm

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{(LI - LF) \times 5} \quad \text{donde:}$$

EP: Espesor de la pastilla = 6.2mm

LI: Posición inicial del puntero = 25

LF: Posición final del puntero = 12

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de "D" se obtuvo mediante la siguiente expresión:

D = Rango "D" x F.C. x (5mm del tablero de MERLIN)

$$D = 25.0 \times 0.953 \times 5 = 119.2308 \text{ mm}$$

Determinación del valor de IRI

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$$

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times 119.2308$$

$$IRI = 6.208 \text{ m/km}$$

El valor de IRI se encuentra dentro del rango $2.4 < IRI < 15.9$

el valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del Subtramo 07 en un nivel de calidad:

MUY MALO, lo que evidencia una condición funcional deficiente del pavimento y una pérdida significativa de la regularidad superficial

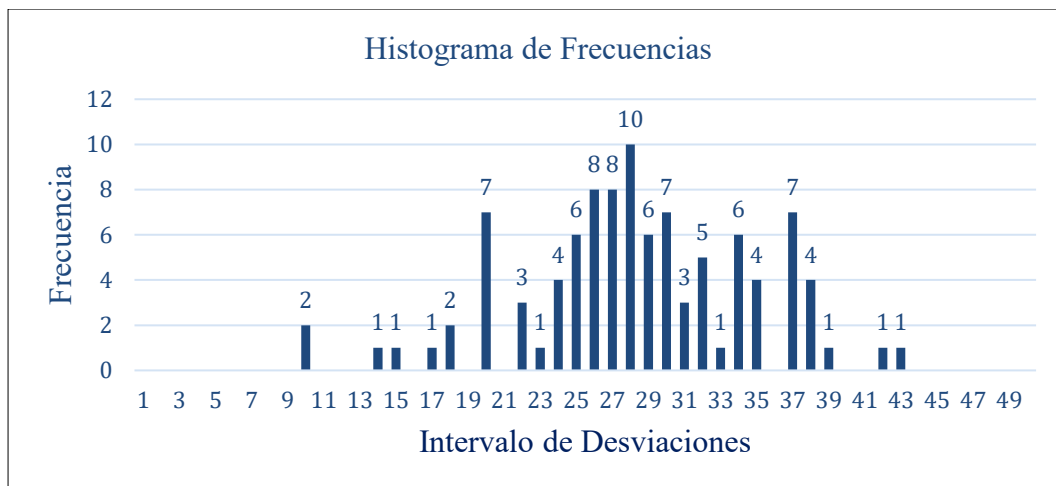
4.6. Tratamiento y análisis de los datos Obtenidos en el Pavimento Rígido

4.6.1 Subtramo: 07.1 Progresiva 4 + 600 km - 4 + 400km

Figura 13.

Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN –

Subtramo 07.1



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

5% Izq. (10 datos) = $4/7=0.571$

5% Der (10 datos) = $4/7=0.571$

Datos centrales = 14

Rango Total “D” = 5% Izq. (10 datos) + 5% Der. (10 datos) + Datos centrales

Rango Total “D” = $0.571+0.571+14 = 15.142 \text{ mm}$

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{(LI - LF) \times 5} \quad \text{donde:}$$

EP: Espesor de la pastilla = 6.2mm

LI: Posición inicial del puntero=25

LF: Posición final del puntero=12

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de “D” se obtuvo mediante la siguiente expresión:

D = Rango "D" x F.C. x (5mm del tablero de MERLIN)

D = $15.142 \times 0.953 \times 5 = 72.21 \text{ mm}$

Determinación del valor de IRI

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$$

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times 72.21$$

$$IRI = 3.994 \text{ m/Km}$$

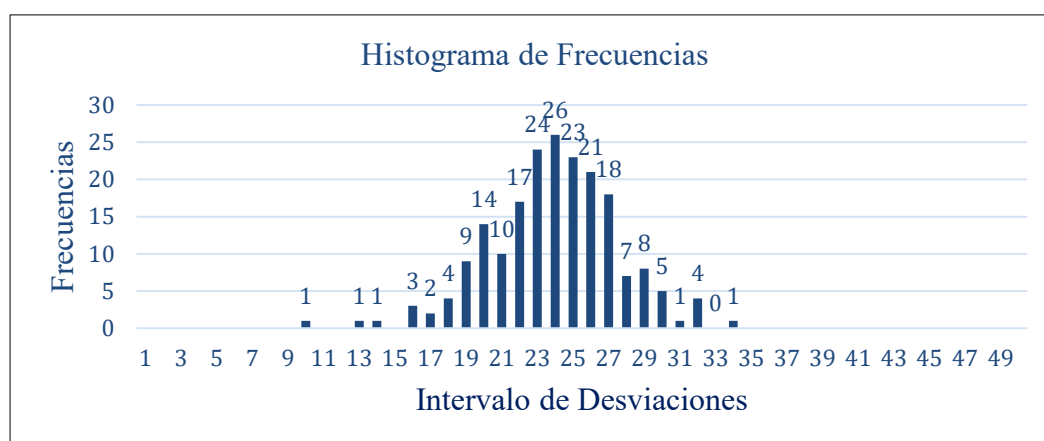
El valor de IRI se encuentra dentro del rango $2.4 < IRI < 15.9$

De acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del Tramo 07.1 en un nivel de calidad: REGULAR

4.6.2 Subtramo 08: Progresiva 4 + 400 km - 4 + 000km

Figura 14.

Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 08



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 15 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Subtramo 08. A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

$$5\% \text{ Izq. (10 datos)} = 2/4 = 0.5$$

$$5\% \text{ Der (10 datos)} = 1/5 = 0.2$$

$$\text{Datos centrales} = 11$$

$$\text{Rango Total “D”} = 5\% \text{ Izq. (10 datos)} + 5\% \text{ Der. (10 datos)} + \text{Datos centrales}$$

$$\text{Rango Total “D”} = 0.5 + 0.2 + 11 = 11.7 \text{ mm}$$

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{(LI - LF) \times 5} \quad \text{donde:}$$

EP: Espesor de la pastilla =6.2mm

LI: Posición inicial del puntero=25

LF: Posición final del puntero=12

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de “D” se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$D = \text{Rango "D"} \times F.C. \times (5\text{mm del tablero de MERLIN})$

$$D = 11.70 \times 0.953 \times 5 = 57.18\text{mm}$$

Determinación del valor de IRI

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$$

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times 57.18$$

$$IRI = 3.286 \text{ m/Km}$$

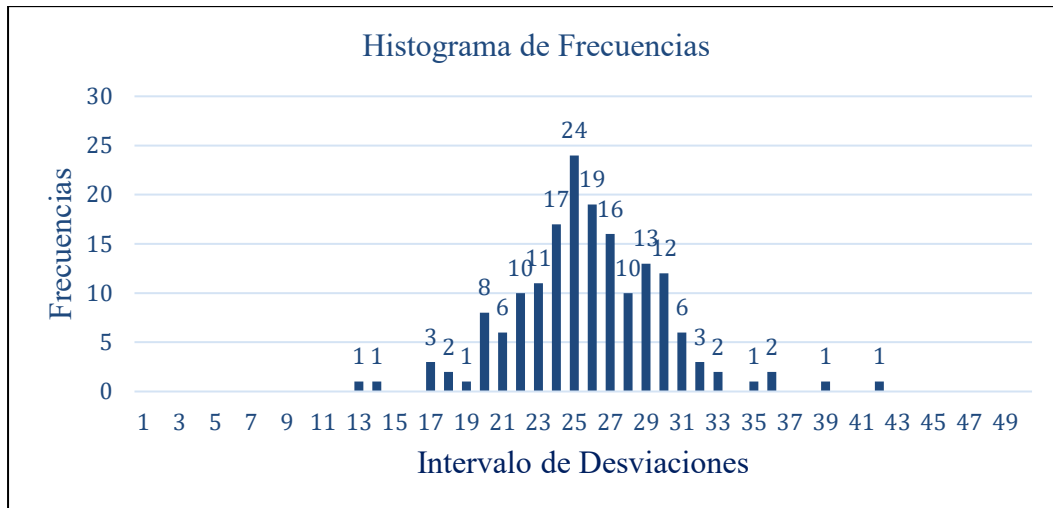
El valor de IRI se encuentra dentro del rango $2.4 < IRI < 15.9$

De acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del Subtramo 08 en un nivel de calidad: REGULAR

4.6.3 Subtramo 09: progresiva 4 + 000 km - 3 + 665km

Figura 15.

Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 09



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 16 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Subtramo 09. A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

5% Izq. (10 datos) = $6/8=0.75$

5% Der (10 datos) = 0

Datos centrales = 11

Rango Total “D” = 5% Izq. (10 datos) + 5% Der. (10 datos) + Datos centrales

Rango Total “D” = $0.75+0.00+11 = 11.75 \text{ mm}$

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{(LI - LF) \times 5} \quad \text{donde:}$$

EP: Espesor de la pastilla = 6.2mm

LI: Posición inicial del puntero=25

LF: Posición final del puntero=12

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de “D” se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$D = \text{Rango "D"} \times \text{F.C.} \times (5\text{mm del tablero de MERLIN})$$

$$D = 11.75 \times 0.953 \times 5 = 56.038\text{mm}$$

Determinación del valor de IRI

$$\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 \times D$$

$$\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 \times 56.038$$

$$\text{IRI} = 3.232 \text{ m/Km}$$

El valor de D se encuentra dentro del rango $2.4 < \text{IRI} < 15.9$

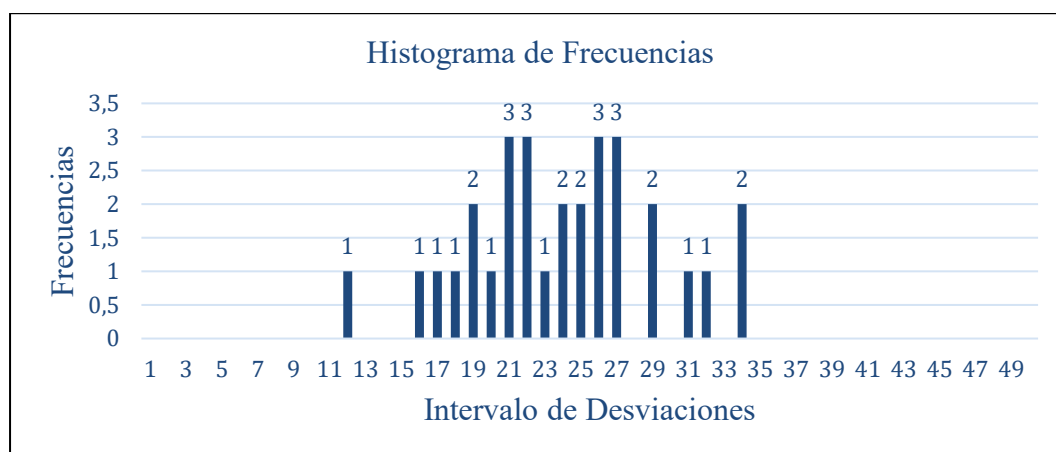
De acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del Subtramo 09 en un nivel de calidad: REGULAR

4.7. Tratamiento y Análisis de los Datos – Pavimento Flexible

4.7.1 Subtramo 09.1: Progresiva 3 + 665 km - 3 + 600km)

Figura 16.

Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 09.1



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 17 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Subtramo 09.1 A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

$$5\% \text{ Izq. (10 datos)} = 0$$

$$5\% \text{ Der (10 datos)} = 2/3 = 0.66$$

$$\text{Datos centrales} = 4$$

$$\text{Rango Total "D"} = 5\% \text{ Izq. (10 datos)} + 5\% \text{ Der. (10 datos)} + \text{Datos centrales}$$

$$\text{Rango Total "D"} = 0.00 + 0.67 + 4 = 4.67 \text{ mm}$$

El factor de corrección (F:C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{(LI - LF) \times 5} \quad \text{donde:}$$

EP: Espesor de la pastilla = 6.2mm

LI: Posición inicial del puntero = 25

LF: Posición final del puntero = 12

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de “D” se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$D = \text{Rango "D"} \times F.C. \times (5 \text{ mm del tablero de MERLIN})$$

$$D = 4.67 \times 0.953 \times 5 = 22.25 \text{ mm}$$

DETERMINACION DEL IRI

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D = 0.593 + 0.0471 \times 22.25 = 2.001$$

$$IRI < 2.4$$

$$IRI = 0.0485 \times 22.25$$

$$IRI = 1.07 \text{ m/km}$$

el valor de IRI se encuentra dentro del rango $IRI < 2.4$

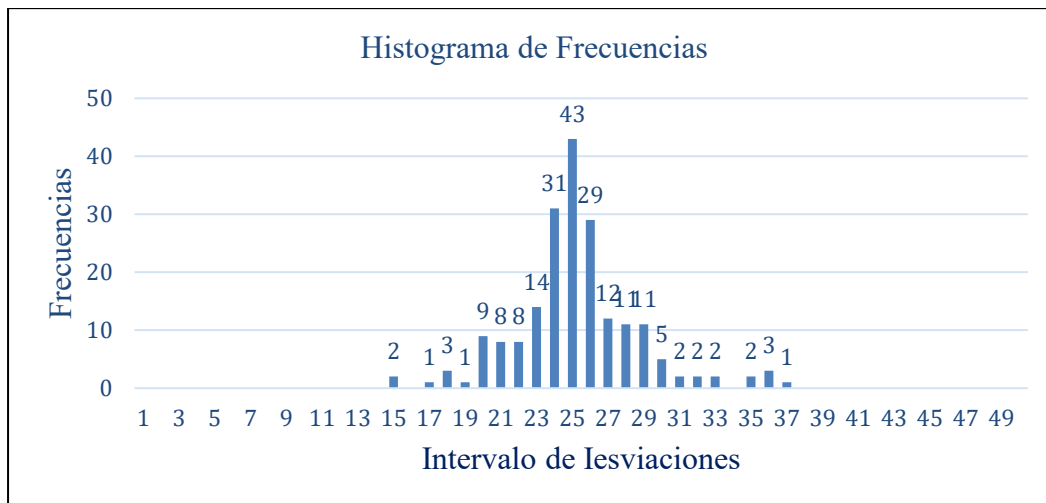
De acuerdo al MTC, el valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del Subtramo

09.1 en un nivel de calidad: BUENO

4.7.2 Subtramo 10: Progresiva 3+600 km - 3 + 200km)

Figura 17.

*Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN –
Subtramo 10*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 18 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Subtramo 10. A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

$$5\% \text{ Izq. (10 datos)} = 6/9 = 0.67$$

$$5\% \text{ Der (10 datos)} = 0$$

$$\text{Datos centrales} = 11$$

$$\text{Rango Total "D"} = 5\% \text{ Izq. (10 datos)} + 5\% \text{ Der. (10 datos)} + \text{Datos centrales}$$

$$\text{Rango Total "D"} = 0.75 + 0.00 + 11 = 11.67 \text{ mm}$$

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de “D” se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$D = \text{Rango "D"} \times F.C. \times (5 \text{ mm del tablero de MERLIN})$$

$$D = 11.67 \times 0.953 \times 5 = 55.641 \text{ mm}$$

Determinando el valor de IRI

$$IRI=0.593+0.0471xD$$

$$IRI=0.593+0.0471x55.641$$

$$IRI = 3.21 \text{ m/km}$$

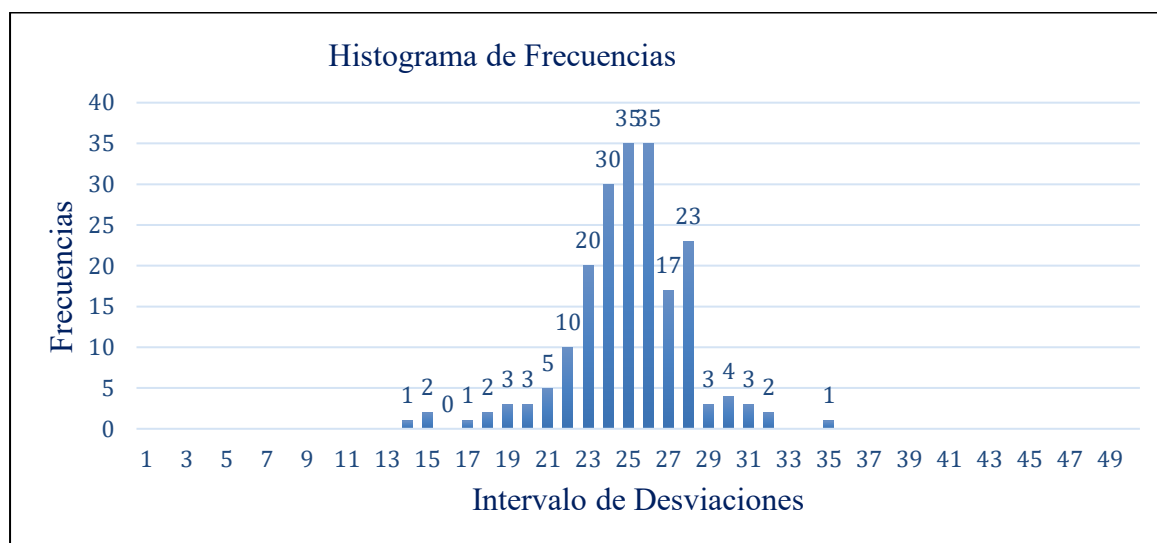
IRI se encuentra dentro del rango $2.4 < IRI < 15.9$.

De acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del Subtramo 10 en un nivel de calidad: REGULAR

4.7.3 Subtramo 11: progresiva 3 + 200 km - 2 + 800km

Figura 18.

Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 11



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 19 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Subtramo 11. A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

Cálculo del rango “D”

$$5\% \text{ Izq. (10 datos)} = 2/3 = 0.67$$

$$5\% \text{ Der (10 datos)} = 0$$

Datos centrales = 9

Rango Total "D" = 5% Izq. (10 datos) + 5% Der. (10 datos) + Datos centrales

Rango Total "D" = 0.67+0.00+9.00 = 9.67 mm

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{(LI - LF) \times 5} \quad \text{donde:}$$

EP: Espesor de la pastilla = 6.2mm

LI: Posición inicial del puntero=25

LF: Posición final del puntero=12

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de "D" se obtuvo mediante la siguiente expresión:

D = Rango "D" x F.C. x (5mm del tablero de MERLIN)

$$D = 9.67 \times 0.953 \times 5 = 46.1025 \text{ mm}$$

Determinación del valor del IRI

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$$

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times 46.1023$$

$$IRI = 2.764 \text{ m/km}$$

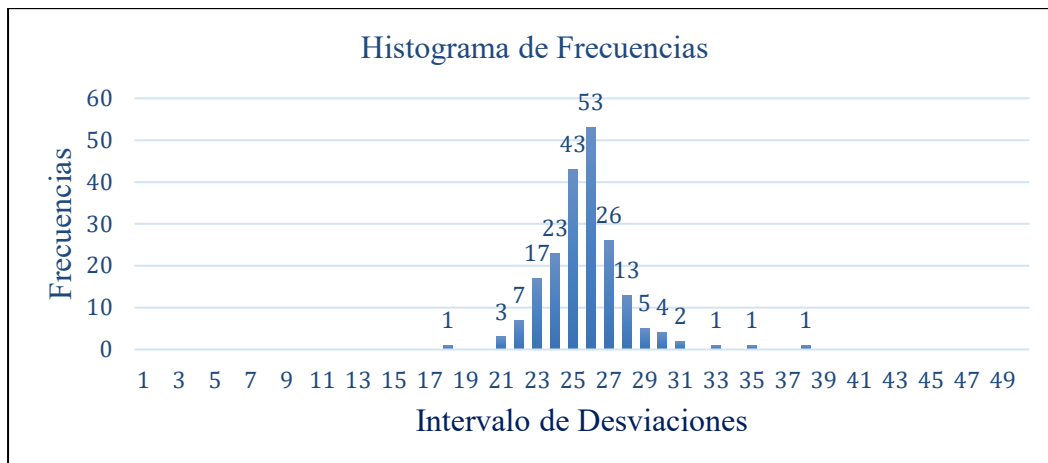
El valor de IRI se encuentra dentro del rango $2.4 < IRI < 15.9$, se aplicó la ecuación:

De acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del Subtramo 11 en un nivel de calidad: BUENO.

4.7.4 Subtramo 12: Progresiva 2 + 800 km - 2 + 400km

Figura 19.

*Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN –
Subtramo 12*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 20 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Tramo 12. A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

$$5\% \text{ Izq. (10 datos)} = 1/7 = 0.142$$

$$5\% \text{ Der (10 datos)} = 4/5 = 0.8$$

$$\text{Datos centrales} = 6$$

$$\text{Rango Total “D”} = 5\% \text{ Izq. (10 datos)} + 5\% \text{ Der. (10 datos)} + \text{Datos centrales}$$

$$\text{Rango Total “D”} = 0.142 + 0.80 + 6.00 = 6.94 \text{ mm}$$

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{(LI - LF) \times 5} \quad \text{donde:}$$

EP: Espesor de la pastilla = 6.2mm

LI: Posición inicial del puntero = 25

LF: Posición final del puntero = 12

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de “D” se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$D = \text{Rango "D"} \times F.C. \times (5\text{mm del tablero de MERLIN})$$

$$D = 6.94 \times 0.953 \times 5 = 33.11\text{mm}$$

Determinando el valor de IRI

$$IRI = 0.0485 \times D$$

$$IRI = 0.0485 \times 33.11$$

$$IRI = 1.60 \text{ m/Km}$$

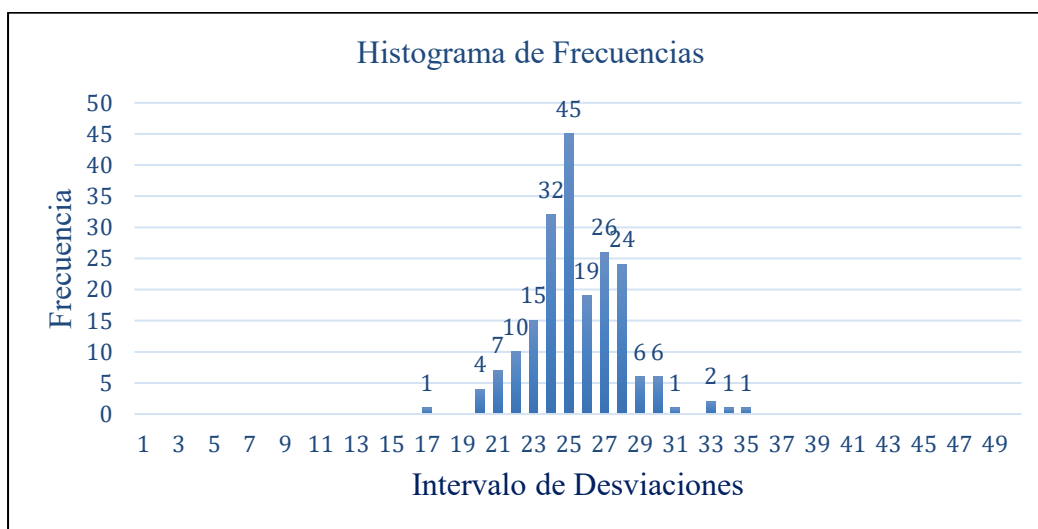
El valor de IRI se encuentra dentro del rango $IRI < 2.4$.

De acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del Tramo 12 en un nivel de calidad: BUENO.

4.7.5 Subtramo 13: Progresiva 2 + 400 km - 2 + 000km

Figura 20.

Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 13



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 21 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Subtramo 13. A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

$$5\% \text{ Izq. (10 datos)} = 2/7=0.285$$

$$5\% \text{ Der (10 datos)} = 1/6 = 0.167$$

$$\text{Datos centrales} = 8$$

$$\text{Rango Total “D”} = 5\% \text{ Izq. (10 datos)} + 5\% \text{ Der. (10 datos)} + \text{Datos centrales}$$

$$\text{Rango Total “D”} = 0.285+0.167+8.00 = 8.45 \text{ mm}$$

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{(LI - LF) \times 5} \quad \text{donde:}$$

EP: Espesor de la pastilla =6.2

LI: Posición inicial del puntero=25

LF: Posición final del puntero=12

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de “D” se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$D = \text{Rango "D"} \times F.C. \times (5\text{mm del tablero de MERLIN})$$

$$D = 8.45 \times 0.953 \times 5 = 40.31\text{mm}$$

Determinación del valor de IRI

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$$

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times 40.31 = IRI = 2.49\text{m/Km}$$

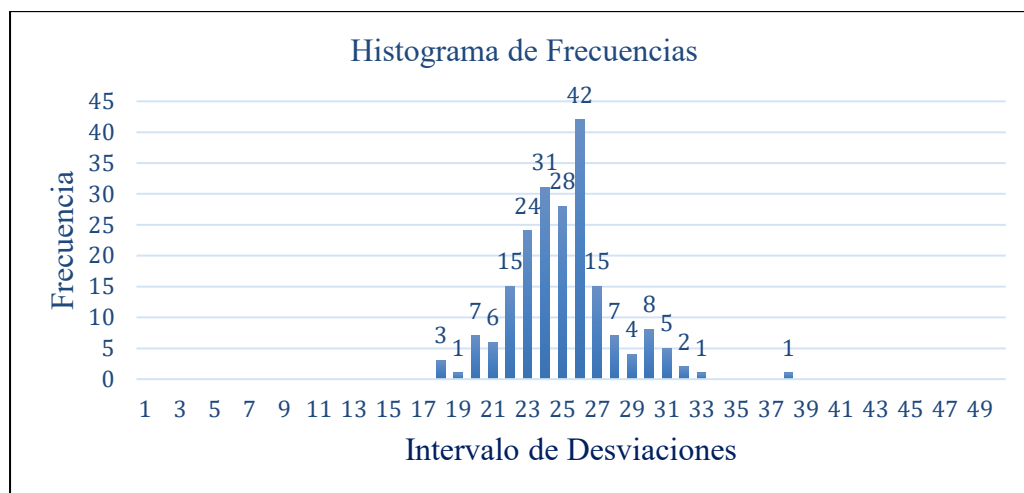
De acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del Subtramo 13 en un nivel de calidad: BUENO.

4.7.6 Subtramo 14: progresiva 2 + 000 km - 1 + 600km

Figura 21.

Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN –

Subtramo 14



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 22 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Subtramo 14. A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

$$5\% \text{ Izq. (10 datos)} = 1/7 = 1.142$$

$$5\% \text{ Der (10 datos)} = 7/8 = 0.875$$

$$\text{Datos centrales} = 9$$

$$\text{Rango Total "D"} = 5\% \text{ Izq. (10 datos)} + 5\% \text{ Der. (10 datos)} + \text{Datos centrales}$$

$$\text{Rango Total "D"} = 0.1.142 + 0.875 + 9.00 = 10.017 \text{ mm}$$

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de “D” se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$D = \text{Rango "D"} \times F.C. \times (5\text{mm del tablero de MERLIN})$$

$$D = 10.017 \times 0.953 \times 5 = 47.77\text{mm}$$

Determinación del valor de IRI

$$IRI=0.593+0.0471xD$$

$$IRI=0.593+0.0471x47.77$$

$$IRI = 2.84\text{m/km}$$

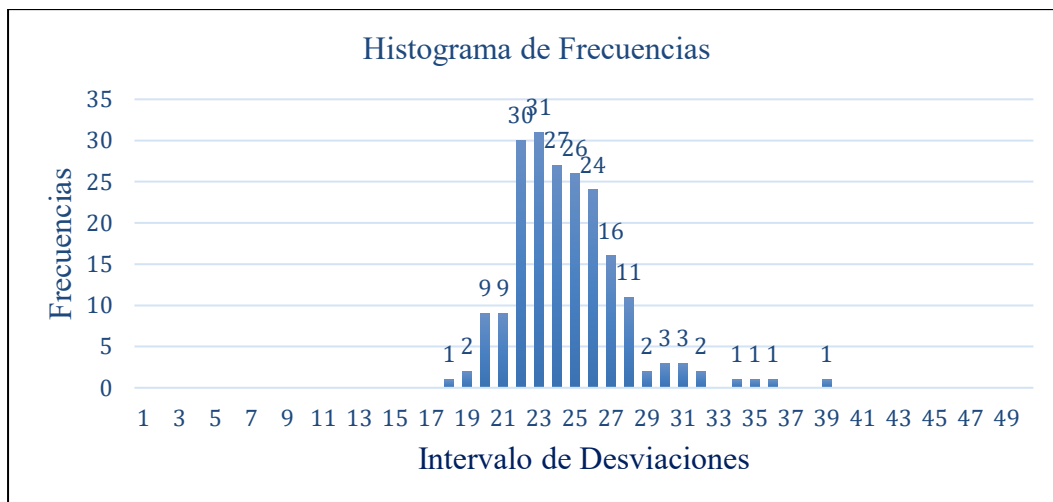
El valor de IRI se encuentra dentro del rango $2.4 < IRI < 15.9$.

De acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del Subtramo 14 en un nivel de calidad: REGULAR, lo que evidencia una condición funcional deficiente del pavimento y una pérdida significativa de la regularidad superficial.

4.7.7 Subtramo 15: Progresiva 1 + 600 km - 1 + 200km

Figura 22.

Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 15



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 23 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Subtramo 15. A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

$$5\% \text{ Izq. (10 datos)} = 2/7 = 0.23$$

$$5\% \text{ Der (10 datos)} = 2/3 = 0.67$$

Datos centrales = 9

Rango Total "D" = 5% Izq. (10 datos) + 5% Der. (10 datos) + Datos centrales

Rango Total "D" = 0.23+0.67+9.00 = 9.9 mm

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{(LI - LF) \times 5} \quad \text{donde:}$$

EP: Espesor de la pastilla =6.2mm

LI: Posición inicial del puntero=25

LF: Posición final del puntero=12

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de "D" se obtuvo mediante la siguiente expresión:

D = Rango "D" x F.C. x (5mm del tablero de MERLIN)

$$D = 9.9 \times 0.953 \times 5 = 47.16 \text{ mm}$$

Determinación del valor del IRI

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$$

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times 47.16$$

$$IRI = 2.81 \text{ m/Km}$$

El valor de IRI se encuentra dentro del rango $2.4 < IRI < 15.9$

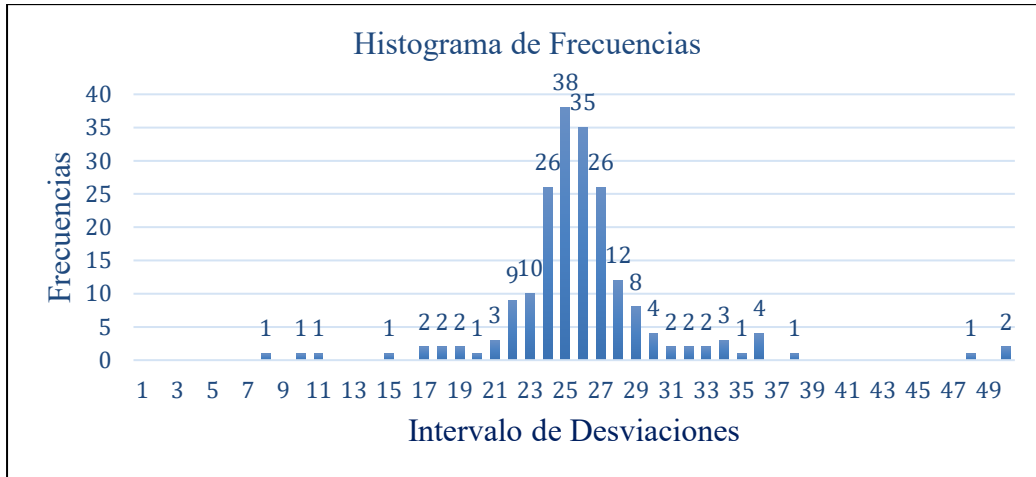
De acuerdo con MTC, el valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del Subtramo

15 en un nivel de calidad: REGULAR.

4.7.8 Subtramo 16: Progresiva 1 + 200 km - 0 + 800km

Figura 23.

*Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN –
Subtramo 16*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 24 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Subtramo 16. A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

5% Izq. (10 datos) = 0

5% Der (10 datos) = $2/3 = 0.67$

Datos centrales = 14

Rango Total “D” = 5% Izq. (10 datos) + 5% Der. (10 datos) + Datos centrales

Rango Total “D” = $0.00 + 0.67 + 14 = 14.67$ mm

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de “D” se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$D = \text{Rango "D"} \times F.C. \times (5\text{mm del tablero de MERLIN})$

$D = 14.67 \times 0.953 \times 5 = 69.95\text{mm}$

Determinación del valor de IRI

$$IRI=0.593+0.0471xD$$

$$IRI =0.593+0.0471x69.95$$

$$IRI = 3.89\text{m/km}$$

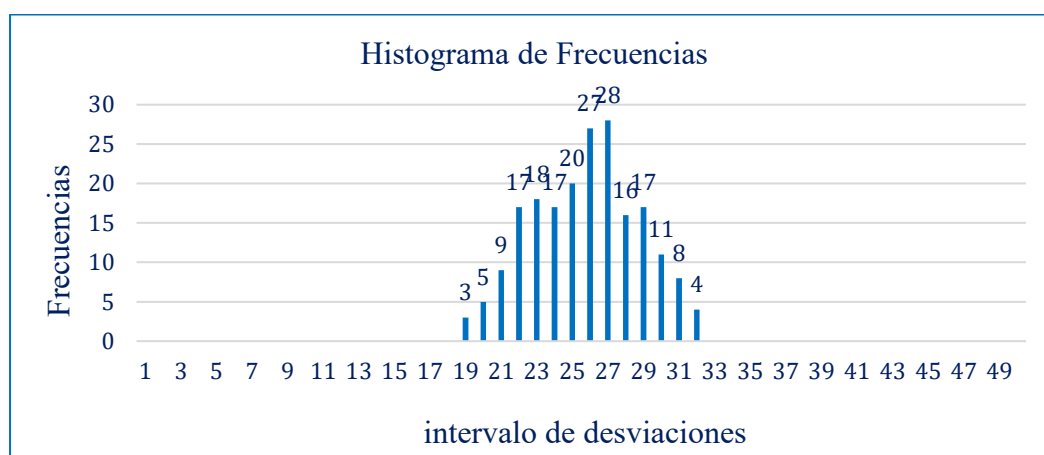
El valor de IRI se encuentra dentro del rango $2.4 < IRI < 15.9$

De acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el valor obtenido del IRI permite clasificar el pavimento del Tramo 16 en un nivel de calidad: REGUL.

4.7.9 Subtramo 17: Progresiva 0 + 800 km - 0 + 400km

Figura 24.

Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN – Subtramo 17



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 25 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Subtramo 17. A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

$$5\% \text{ Izq. (10 datos)} = 0.07$$

$$5\% \text{ Der (10 datos)} = 2/4 = 0.5$$

$$\text{Datos centrales} = 9$$

$$\text{Rango Total “D”} = 5\% \text{ Izq. (10 datos)} + 5\% \text{ Der. (10 datos)} + \text{Datos centrales}$$

$$\text{Rango Total “D”} = 0.07 + 0.5 + 9 = 9.57 \text{ mm}$$

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{(LI - LF) \times 5} \quad \text{donde:}$$

EP: Espesor de la pastilla =6.2

LI: Posición inicial del puntero=25

LF: Posición final del puntero=12

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de “D” se obtuvo mediante la siguiente expresión:

D = Rango "D" x F.C. x (5mm del tablero de MERLIN)

$$D = 9.57 \times 0.953 \times 5 = 45.58 \text{ mm}$$

Determinación del valor de IRI

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$$

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times 45.58$$

$$IRI = 2.74$$

El valor de IRI se encuentra dentro del rango $2.4 < IRI < 15.9$.

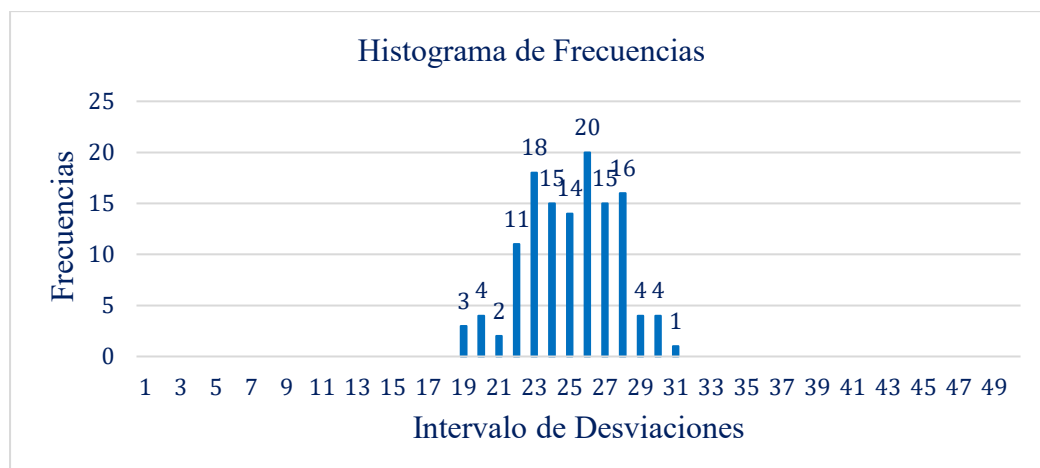
De acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el valor de IRI obtenido permite clasificar al pavimento del Subtramo 17 dentro de una condición funcional BUENA. Esto indica que la superficie de rodadura presenta un nivel aceptable de regularidad superficial, favoreciendo una circulación vehicular relativamente uniforme y confortable.

4.7.10 Subtramo 18: Progresiva 0 + 400 km - 0 + 000km

Figura 25.

Histograma de frecuencias de las desviaciones medidas con el rugosímetro MERLIN –

Subtramo 18



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos con el rugosímetro MERLIN (2025)

En la Figura 26 se presenta el histograma de frecuencias correspondiente al Subtramo 18. A partir del análisis estadístico de los datos registrados con el rugosímetro MERLIN, se obtuvo un rango total “D”

$$5\% \text{ Izq. (10 datos)} = 6/11 = 0.75$$

$$5\% \text{ Der (10 datos)} = 6/16 = 0.38$$

Datos centrales = 5

$$\text{Rango Total “D”} = 5\% \text{ Izq. (10 datos)} + 5\% \text{ Der. (10 datos)} + \text{Datos centrales}$$

$$\text{Rango Total “D”} = 0.75 + 0.38 + 5 = 5.91 \text{ mm}$$

El factor de corrección (F.C) se calculó mediante la expresión:

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{(LI - LF) \times 5} \quad \text{donde:}$$

EP: Espesor de la pastilla = 6.2

LI: Posición inicial del puntero = 25

LF: Posición final del puntero = 12

$$F.C. = \frac{6.2 \times 10}{(25 - 12) \times 5} = 0.953$$

El valor corregido de “D” se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$D = \text{Rango "D"} \times \text{F.C.} \times (5\text{mm del tablero de Merlin})$$

$$D = 5.91 \times 0.953 \times 5 = 28.17 \text{ mm}$$

Determinación del valor de IRI

$$\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 \times D$$

$$\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 \times 28.17$$

$$\text{IRI} = 1.92$$

el valor de IRI se encuentra dentro del rango $2.4 < \text{IRI} < 15.9$.

El valor del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) obtenido para el subtramo evaluado fue de 1.92 m/km. De acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), este valor permite clasificar al pavimento dentro de una condición funcional BUENA, debido a que presenta un adecuado nivel de regularidad superficial y condiciones favorables para la circulación vehicular

El análisis conjunto de los subtramos evaluados evidencia una variabilidad significativa en los valores de IRI a lo largo del tramo Enaco – Limacpampa reflejan diferentes niveles de deterioro funcional del pavimento. Asimismo, los subtramos que presentan mayores valores de rugosidad coinciden con sectores de mayor flujo vehicular y condiciones menos favorables de circulación, lo cual resulta relevante para el análisis correlacional con las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂).

Tabla 5.*Resultados del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) por subtramo*

Tipo de Pavimento	Subtramo	Progresivas (m)	IRI (m/km)
P. Flexible	Subtramo 1	7 + 200 - 6 + 800	7,9400
	Subtramo 2	6 + 800 - 6 + 400	6,3510
	Subtramo 3	6 + 400 - 6 + 000	5,4670
	Subtramo 4	6 + 000 - 5 + 600	6,7600
	Subtramo 5	5 + 600 - 5 + 200	6,1800
	Subtramo 6	5 + 200 - 4 + 800	7,4480
	Subtramo 7	4 + 800 - 4 + 600	6,2080
P. Rígido	Subtramo 7.1	4 + 600 - 4 + 400	3,9940
	Subtramo 8	4 + 400 - 4 + 000	3,2880
	Subtramo 9	4 + 000 - 3 + 665	3,2320
	Subtramo 9.1	3 + 665 - 3 + 600	1,0700
	Subtramo 10	3 + 600 - 3 + 200	3,2100
P. Flexible	Subtramo 11	3 + 200 - 2 + 800	2,7640
	Subtramo 12	2 + 800 - 2 + 400	1,6000
	Subtramo 13	2 + 400 - 2 + 000	2,4900
	Subtramo 14	2 + 000 - 1 + 600	2,8400
	Subtramo 15	1 + 600 - 1 + 200	2,8100
	Subtramo 16	1 + 200 - 0 + 800	3,8900
	Subtramo 17	0 + 800 - 0 + 400	2,7400
	Subtramo 18	0 + 400 - 0 + 000	1,9000

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los valores del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) obtenidos y presentados en la Tabla 4, se evidencia una diferenciación significativa en el comportamiento funcional del pavimento a lo largo del tramo evaluado. Los subtramos correspondientes al pavimento flexible inicial (Subtramos 01 al 07) presentan los valores más elevados de IRI, lo que indica un mayor nivel de rugosidad superficial y, en consecuencia, una condición funcional deficiente del pavimento.

En cambio, los subtramos correspondientes al pavimento rígido (Subtramos 7.1 al 09) registran valores significativamente menores de IRI, evidenciando una superficie de rodadura más uniforme y, por consiguiente, una mejor condición funcional del pavimento.

Por otro lado, Los subtramos finales con pavimento flexible (Subtramos 9.1 al 18) presentan valores de IRI comprendidos entre 1.07 m/km y 3.89 m/km, evidenciando

predominantemente condiciones funcionales entre buenas y regulares. Sin embargo, en determinados sectores se identifican condiciones funcionales deficientes, especialmente en las zonas finales del tramo evaluado, donde se observa un incremento de las irregularidades superficiales del pavimento y una mayor pérdida de regularidad en la superficie de rodadura.

4.7.11 *Índice Internacional de Rugosidad (IRI) Promedio para el Pavimento*

Subtramo (1 – 7): Pavimento Flexible: **$IRI_{prom} = 6.625 \text{ m/Km}$**

Subtramo (7.1 – 9): Pavimento Rígido: **$IRI_{prom} = 3.483 \text{ m/Km}$**

Subtramo (9.1 – 18): Pavimento Flexible: **$IRI_{prom} = 2.53 \text{ m/Km}$**

Los valores promedio del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), evidencia una variación significativa en la condición funcional del pavimento a lo largo del tramo de estudio. El pavimento flexible correspondiente a los Subtramos 1 al 7 presenta el mayor valor promedio ($IRI = 6.622 \text{ m/km}$), lo que indica una condición funcional deficiente, asociada a una superficie de rodadura altamente irregular.

Por otro lado, el pavimento rígido comprendido entre los Subtramos 7.1 al 9 registra un valor promedio de IRI de 3.483 m/km , el cual refleja una condición funcional regular, evidenciando una mayor uniformidad superficial en comparación con el pavimento flexible inicial.

Por su parte, el pavimento flexible ubicado entre los Subtramos 9.1 al 18 presenta un valor promedio de IRI de 2.53 m/km , lo que corresponde a una condición funcional entre buena y regular, indicando una mejora relativa en la calidad de rodadura respecto a los subtramos iniciales.

Estos resultados evidencian que la condición funcional del pavimento no es homogénea a lo largo del tramo evaluado, presentando una clara mejora en los sectores intermedios y finales. Asimismo, se observa que el tipo de pavimento y su condición de conservación influyen

directamente en los niveles de rugosidad, lo cual resulta relevante para el análisis posterior de su relación con las emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

4.8. Evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI)

La norma ASTM D 6433-03 establece que, para la evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI), el pavimento debe identificarse inicialmente por subtramos, los cuales se subdividen posteriormente en secciones y en unidades de muestreo homogéneas.

Los tramos del pavimento se definen en función de su uso y sentido de circulación vehicular. En el presente estudio, la evaluación se realizó exclusivamente en el carril izquierdo de subida de la avenida La Cultura, debido al alto volumen de tránsito vehicular que presenta la vía, lo que limitó la intervención a un solo carril.

El tramo evaluado se extiende desde el Paradero Enaco hasta la Plaza Limacpampa. El Tramo Total corresponde desde la progresiva 7+200.00 hasta la progresiva 0+000.00, con una longitud aproximada de 7 200.00 m.

A lo largo del tramo de estudio se identificó la presencia de pavimento flexible y pavimento rígido, por lo que la subdivisión del tramo en secciones se realizó considerando la condición actual del pavimento, con el fin de garantizar la homogeneidad de las unidades de muestreo y la correcta aplicación de la metodología PCI.

Tramo Inicial: pavimento flexible

Subtramo 12 - Sección 69 = 7+102.00 – 7+000.00; (longitud = 102.00 m.)

Subtramo 11 - Sección 61 = 6+490.75 – 6+388.75; (longitud = 102.00 m.)

Subtramo 10 - Sección 55 = 5+851.88 – 5+749.88; (longitud = 102.00 m.)

Subtramo 09 - Sección 49 = 5+213.00 – 5+111.00; (longitud = 102.00 m.)

Tramo Intermedia: pavimento rígido (seccionado por losas)

Subtramo 08 - Sección 43 = 4+644.50 – 4+584.50; (losas= 20.00 Unds)

Subtramo 07 - Sección 37 = 3+700.50 – 3+635.50; (losas= 20.00 Unds)

Tramo Final: pavimento flexible

Subtramo 06 - Sección 31 = 3+296.38–3+194.38 –; (longitud = 102.00 m.)

Subtramo 05 - Sección 25 = 2+657.50 – 2+555.50; (longitud = 102.00 m.)

Subtramo 04 - Sección 19= 2+018.69 –1+916.63; (longitud = 102.00 m.)

Subtramo 03 - Sección 13 = 1+379.75 –1+277.75; (longitud = 102.00 m.)

Subtramo 02 - Sección 07 = 0+740.00 –0+638.00; (longitud = 102.00 m.)

Subtramo 01- Sección 02 = 0+202.00 – 0+102.00; (longitud = 102.00 m.)

De acuerdo con la norma ASTM D 6433-03, la longitud de la unidad de muestreo se establece en función del ancho de la calzada, existiendo valores recomendados para distintas dimensiones. Sin embargo, debido al alto volumen de tránsito vehicular en la avenida La Cultura, la aplicación de dichas dimensiones resultó inviable, ya que implicaría una afectación significativa al flujo vehicular.

Por tal motivo, se optó por realizar el muestreo considerando únicamente un carril de circulación, con un ancho de 3.17 m y una longitud de 102 m por unidad de muestreo, configuración que permitió reducir la interferencia con el tránsito y, al mismo tiempo, mantener la representatividad técnica de la evaluación del PCI.

4.8.1 Determinación de las Unidades de Muestreo para Evaluación

Las unidades de muestreo fueron definidas considerando criterios de homogeneidad estructural, tipo de pavimento y condiciones de tránsito, con el fin de garantizar la representatividad de la evaluación.

El proceso de muestreo se realizó de acuerdo con lo dispuesto en la Ecuación 1.

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2} \dots\dots\dots (Ec. 01)$$

donde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = 5%)

σ : Desviación estándar del PCI entre las unidades. Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (σ) del PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25) y de 15 para pavimento de concreto (rango PCI de 35).

El valor de N se puede calcular dividiendo la longitud total del pavimento del tramo entre la longitud de la unidad de muestra, lo que nos dará la cantidad total de las unidades de muestra.

$$N = \frac{7102}{102} = 69.62 \cong 69, \quad N=69$$

$$n = \frac{69 \times 10^2}{\frac{5^2}{4} \times (69 - 1) + 10^2} = 12.15 \cong 12, \quad n=12$$

Resultando:

$n = 12$, número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

4.8.2 Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección

Como se sabe el número mínimo de unidades de muestra a evaluar, es necesario determinar cuáles serán dichas unidades de muestra. Para lograrlo, se realiza el cálculo del intervalo de muestreo (i) de la siguiente forma utilizando la Ecuación 2:

$$i = \frac{N}{n} \quad \text{ecuación 2.}$$

Donde:

N: Número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número mínimo de unidades para evaluar.

i : Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo, 3.7 se redondea a 3)

$$i = \frac{69}{12} = 5.75 \cong 5 ; \quad i=5$$

Resultado:

$i = 5$, intervalo de muestreo.

En otras palabras, las unidades de muestra deben ser inspeccionadas con un intervalo de separación de 5, por ejemplo, las unidades de muestra escogidas para la inspección serán: T°2, T°7, T°13, ..., T°69. Cabe precisar que, dentro de este conjunto de tramos, se incluye el pavimento rígido correspondiente a los tramos T°7 y T°8, los cuales serán evaluados siguiendo el mismo procedimiento establecido para el resto de la red vial.

Figura 26.

Esquema del Pavimento Para el muestreo

SUBTRAMO 12		SUBTRAMO 11		SUBTRAMO 10		SUBTRAMO 09		SUBTRAMO 08		SUBTRAMO 07	
INICO	FIN	INICO	FIN	INICO	FIN	INICO	FIN	INICO	FIN	INICO	FIN
7+000,00	7+102,00	6+388,75	6+490,75	5+749,88	5+851,88	5+111,00	5+213,00	4+584,50	4+644,50	3+635,50	3+700,50
SUBTRAMO 06		SUBTRAMO 05		SUBTRAMO 04		SUBTRAMO 03		SUBTRAMO 02		SUBTRAMO 01	
INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN
3+194,38	3+296,38	2+555,50	2+657	1+916,63	2+018,63	1+277,75	1+379,75	0+638,88	0+740,88	0+102,00	0+202,00

Fuente: elaboración propia

4.9. Cálculo del PCI de las Unidades de Muestreo para el Pavimento Flexible

4.9.1 Cálculo del PCI de la Unidad de Muestreo N.º 12

Es importante saber sobre las 19 clases de daños definidas en el método PCI basados en manual ASMT D6433 y Vásquez Varela, mencionados en el capítulo de marco teórico para pavimento flexible. Es preciso determinar los daños existentes en la unidad de muestra, categorizándolos de acuerdo a su nivel de severidad: Baja (L), media (M) o Alta (H).

Para ello se tomará como ejemplo la unidad de muestra N.º 12, correspondiente a la sección 69 del tramo inicial. completando correctamente el formato de evaluación para pavimentos flexibles mencionados en el capítulo de marco teórico.

Figura 27.

Hoja de Registro por Unidad de Muestreo – UM12

Hoja de Registro-Unidad de Muestreo(U.M)												12		
HOJA DE REGISTRO DE UNIDAD DE MUESTREO METODO DE PCI (ASTM D6433)														
PCI-01. AVENIDA CON SUPERFICIE ASFÁLTICA EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO TRAMO: 1 SECCIÓN: 69 FECHA: 07 de julio del 2025 UNIDAD DE MUESTREO N° 12 INSPECCIONADO POR: Equipo de Campo PROYECTO: Evaluación del Pavimento Flexible mediante PCI ÁREA : 323.34 m2										ESQUEMA 				
1. Piel de cocodrilo			6. Depresión			11. Parcheo			16. Desplazamiento					
2. Exudación			7. Fisura de borde			12. Pulimiento de agregados			17. Grieta parabólica (slippage)					
3. Agrietamiento en bloque			8. Fisura de reflexión de junta			13. Huecos			18. Hinchamiento					
4. Abultamientos y hundimientos			9. Desnivel carril-berma			14. Cruce de vía férrea			19. Desprendimiento de agregados					
5. Corrugación			10. Fisuras longitudinales y transversales			15. Ahuellamiento			100					
Daño	Severidad	Cantidades Parciales								total	Densidad(%)	Valor deducido		
1	M	25.40	0.10							25.50	7.89	43.00		
1	H	6.96	3.90							10.86	3.36	46.00		
4	L	2.20	1.80							4.00	1.24	4.00		
4	M	0.40								0.40	0.12	2.00		
4	H	0.90								0.90	0.28	4.00		
5	L	1.54								1.54	0.48	3.00		
11	L	15.10	8.40							23.50	7.27	8.00		
11	M	8.15	7.05	2.45						17.65	5.46	19.00		
11	H	4.25								4.25	1.31	21.00		
13	L	4.00								4.00	1.24	21.00		
13	M	2.00								2.00	0.62	8.00		
13	H	1.00								1.00	0.31	22.00		
15	L	3.48								3.48	1.08	9.00		
15	M	32.50	15.60							48.10	14.88	32.00		
15	H	13.65	20.25	24.30	26.10					84.30	26.07	75.00		

Fuente: Elaboración Propia en Base a ASTM D6433

Con el registro completo de cada tipo de falla, se procede a calcular la densidad correspondiente, aplicando la relación establecida en el manual ASTM D06433

$$Densidad = \frac{\text{Registro Total de cada falla}}{\text{Area de la unidad de Muestreo}} \times 100\%, \quad \text{Es decir:}$$

$$D\ 1M = \frac{25.50}{323.34} \times 100\% \Rightarrow D\ 1M = 7.89\%$$

$$D\ 1H = \frac{10.86}{323.34} \times 100\% \Rightarrow D\ 1H = 3.36\%$$

$$D\ 4L = \frac{4.00}{323.34} \times 100\% \Rightarrow D\ 4L = 1.24\%$$

$$D\ 4H = \frac{0.90}{323.34} \times 100\% \Rightarrow D\ 4H = 0.28\%$$

$$D\ 5L = \frac{1.54}{323.34} \times 100\% \Rightarrow D\ 5L = 0.48\%$$

$$D\ 11L = \frac{23.50}{323.34} \times 100\% \Rightarrow D\ 11L = 7.27\%$$

$$D\ 11M = \frac{17.65}{323.34} \times 100\% \Rightarrow D\ 11M = 5.46\%$$

$$D\ 15M = \frac{48.10}{323.34} \times 100\% \Rightarrow D\ 15M = 14.88\%$$

$$D\ 15H = \frac{84.30}{323.34} \times 100\% \Rightarrow D\ 15H = 26.07\%$$

Nota: de igual manera se calcula la densidad de todas las fallas existentes. A continuación, se determinan los valores deducidos de cada tipo de falla, utilizando el ábaco proporcionado por Vásquez Varela, tal como se indica en el capítulo correspondiente del marco teórico.

$$VD\ 1M = 43.00$$

$$VD\ 1H = 46.00$$

$$VD\ 4L = 4.00$$

$$VD\ 4H = 4.00$$

$$VD\ 5L = 3.00$$

VD 11L = 8.00

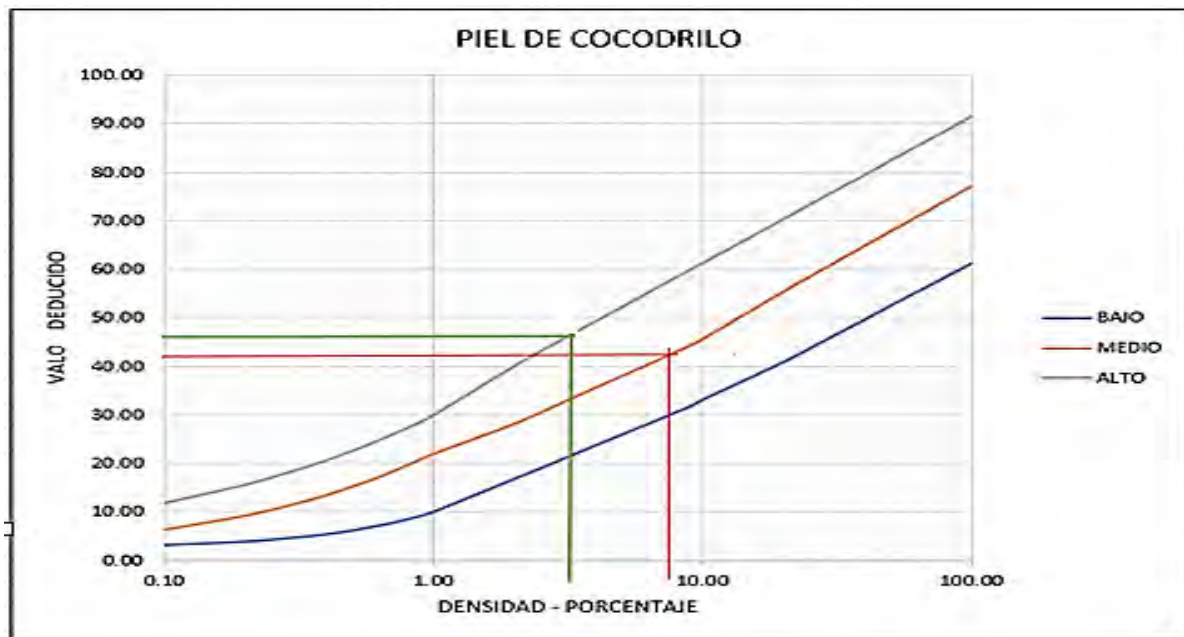
VD 11M = 19.00

VD 15M = 32.00

VD 15H = 15.00

Figura 28.

Abaco para Determinar los Valores Deducidos-UM12



Fuente: Abaco adaptado de (VÁSQUEZ VARELA, 2002) para determinar los valores deducidos.

Nota: El mismo procedimiento se aplicó para las demás fallas identificadas en el estudio, utilizando sus respectivos ábacos.

4.9.1.1 Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (*m*)

De acuerdo con el procedimiento establecido en la norma ASTM D6433, cuando ninguno o solo uno de los “Valores Deducidos” excede el valor de 2, se debe emplear el “Valor Deducido Total” (VDT) en lugar del mayor “Valor Deducido Corregido” (CDV). En el presente caso, todos los valores deducidos son superiores a 2; por consiguiente, se ordenan de

mayor a menor y, posteriormente, se calcula el número máximo admisible de valores deducidos (m) mediante la ecuación (3)

$$m = 1 + \frac{9}{98}(100 - HDV) \leq 10 \dots\dots\dots (Ec. 03)$$

Donde:

m: Número máximo admisible de “valores deducidos”, incluyendo fracción, para la unidad de muestreo 12.

HDV: El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo 12.

Tabla 6.

Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo - UM12

Daño	Severidad	Cantidades Parciales				total	Densidad(%)	Valor deducido	
1	M	25.40	0.10			25.50	7.89	43.00	Número de valores deducidos >2(q)
1	H	6.96	3.90			10.86	3.36	46.00	
4	L	2.20	1.80			4.00	1.24	4.00	
4	M	0.40				0.40	0.12	2.00	
4	H	0.90				0.90	0.28	4.00	valor deducido mas alto
5	L	1.54				1.54	0.48	3.00	
11	L	15.10	8.40			23.50	7.27	8.00	
11	M	8.15	7.05	2.45		17.65	5.46	19.00	75.00
11	H	4.25				4.25	1.31	21.00	Número máximo de VD(m)
13	L	4.00				4.00	1.24	21.00	
13	M	2.00				2.00	0.62	8.00	
13	H	1.00				1.00	0.31	22.00	
15	L	3.48				3.48	1.08	9.00	$m = 1 + \frac{9}{98}(100 - HDV) \leq 10$
15	M	32.50	15.60			48.10	14.88	32.00	
15	H	13.65	20.25	24.30	26.10	84.30	26.07	75.00	
generar igual cantidad de filas									3.30

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

$$m = 1 + \frac{9}{98}(100 - 75) \leq 10$$

$$m = 3.30 \leq 10$$

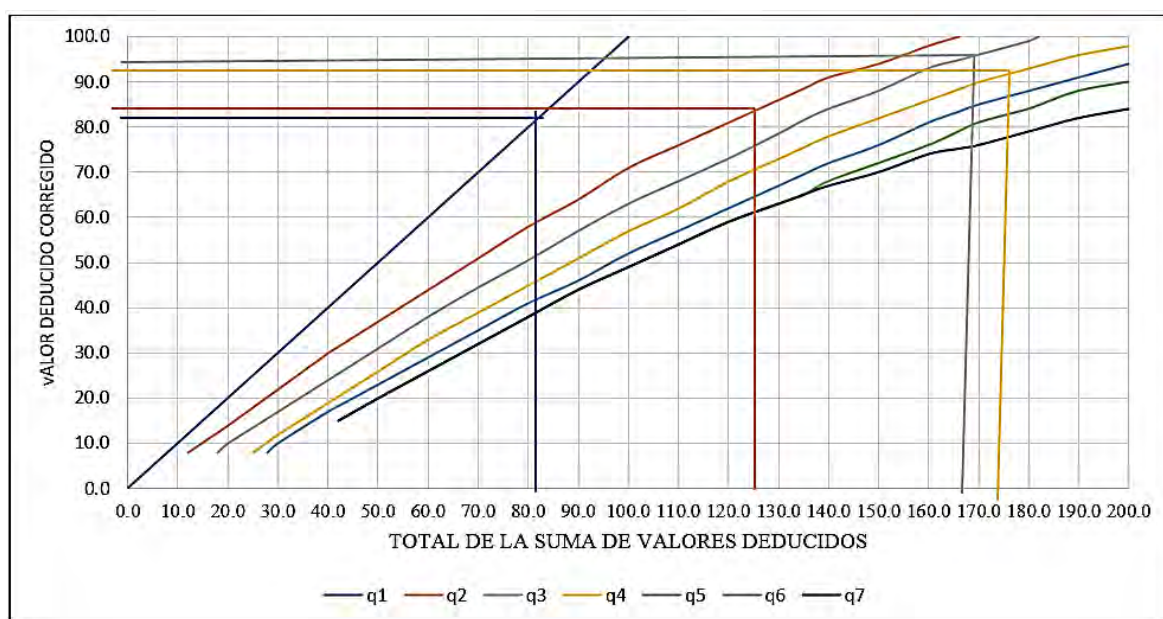
En este caso, el número de valores deducidos individuales se reduce a 3,30, considerando la parte fraccionaria. Si se disponen de menos valores deducidos que 3.30, se emplean todos los valores disponibles. Es decir, se tendrán cuatro valores a corregir: tres de ellos se ajustarán al 100 % y el último al 0,3 %

4.9.1.2 Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV

El valor máximo de CDV se determina mediante un proceso iterativo. En primer lugar, se calcula el CDV correspondiente a “q” y al “Valor Deducido Total” utilizando la curva de corrección para pavimentos flexibles, presentada en la Figura N.º 60 y adaptada de las curvas para pavimentos asfálticos de Vásquez Varela (2002).

Figura 29.

Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM12



Fuente: Abaco adaptado de (VÁSQUEZ VARELA, 2002) para determinar los valores deducidos.

Nota: Los cálculos se realizan siguiendo el mismo procedimiento para las demás unidades de muestra. A continuación, se presentan los cuadros de resumen correspondientes.

Posteriormente, en cada iteración, se reemplaza el menor valor deducido que sea mayor a 2 por el valor de 2, recalculando “q” y el CDV con la curva de corrección. Este procedimiento se repite de manera sucesiva hasta que “q” alcance el valor de 1, momento en el que se obtiene el CDV máximo.

Tabla 7.*Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM12*

NRO	Valores Ddeducidos				Valor Deducido Total (VDT)	q	Valor Deducido Corregido (VDC)
1	75.00	46.00	43.00	9.60	173.60	4	93.00
2	75.00	46.00	43.00	2	166.00	3	95
3	75.00	46.00	2	2	125.00	2	84
4	75.00	2	2	2	81.00	1	81
VALOR MAXIMO DE (VDC)							95.00
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO(PCI)					PCI= 100 – Max.VDC)=<10		
PCI=					5.00	PAVIMENTO FALLADO	

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

El máximo CDV es el mayor de los CDV, es decir 95

$$PCI_{12} = 100 - 95 = 5$$

Rangos de Calificación del PCI	
Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-16	Muy malo
10-0	Fallado

La unidad de muestra N.º 12, perteneciente a la Sección 69 del Tramo 01, presenta un PCI de 5, lo que indica que la condición del pavimento es **pavimento fallado**

Nota: Los cálculos se realizan siguiendo el mismo procedimiento para las demás unidades de muestra. A continuación, se presentan los cuadros de resumen correspondientes.

4.9.2 Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 11

Hoja de Registro-Unidad de Muestreo(U.M) 11													
HOJA DE REGISTRO DE UNIDAD DE MUESTREO METODO DE PCI (ASTM D6433)													
PCI-01. AVENIDA CON SUPERFICIE ASFÁLTICA EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO TRAMO: 1 SECCIÓN: 61 FECHA: 07 de julio del 2025 UNIDAD DE MUESTREO N° 11 INSPECCIONADO POR: Equipo de Campo PROYECTO: Evaluación del Pavimento Flexible mediante PCI ÁREA : 323.34 m2											ESQUEMA 		
1. Piel de cocodrilo		6. Depresión				11. Parcheo				16. Desplazamiento			
2. Exudación		7. Fisura de borde				12. Pulimiento de agregados				17. Grieta parabólica (slippage)			
3. Agrietamiento en bloque		8. Fisura de reflexión de junta				13. Huecos				18. Hinchamiento			
4. Abultamientos y hundimientos		9. Desnivel carril-berma				14. Cruce de vía férrea				19. Desprendimiento de agregados			
5. Corrugación		10. Fisuras longitudinales y transversales				15. Ahuellamiento				100			
Daño	Severidad	Cantidades Parciales								total	Densidad(%)	Valor deducido	
1	M	8.55	4.50							13.05	4.04	36.00	
1	M	1.60								1.60	0.49	12.00	
4	M	6.60								6.60	2.04	22.00	
4	M	3.90	2.80	3.20						9.90	3.06	9.00	
4	M	5.92								5.92	1.83	12.00	
5	M	1.00								1.00	0.31	18.00	
11	H	2.00								2.00	0.62	43.00	
11	M	11.55	18.00							29.55	9.14	42.00	
11	H	11.55	35.25	13.60						60.40	18.68	72.00	

Fuente: Elaboración Propia en Base a ASTM D6433

4.9.2.1 Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m) U. M. N.º 11

Tabla 8.

Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo - UM12

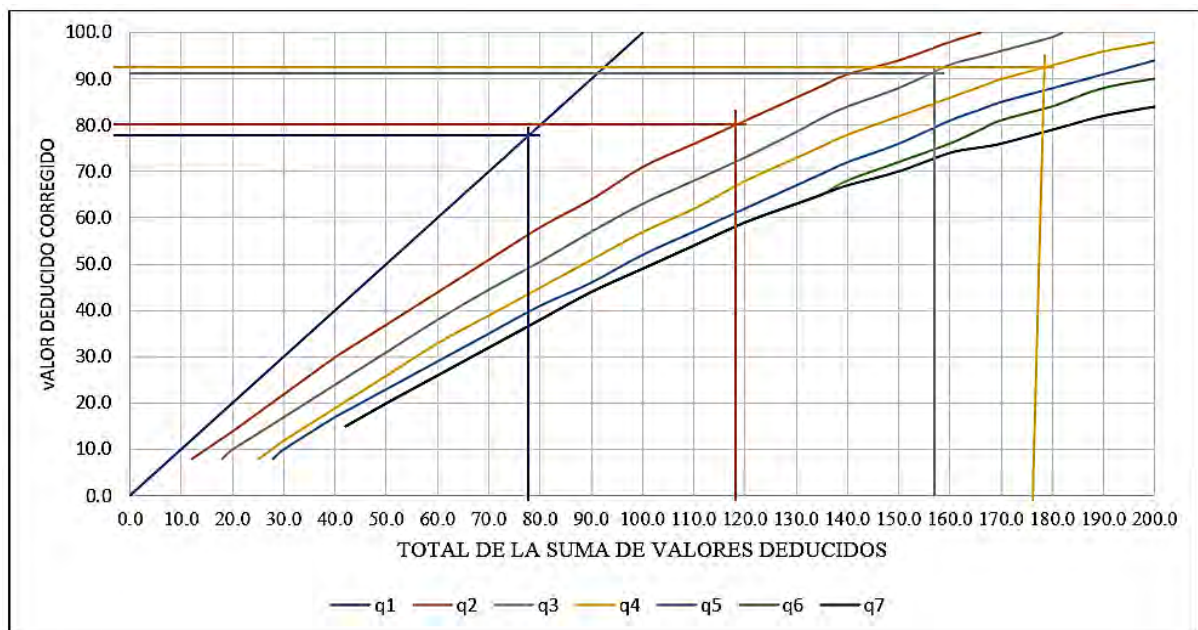
Daño	Severidad	Cantidades Parciales			total	Densidad(%)	Valor deducido	
1	M	8.55	4.50		13.05	4.04	36.00	
4	M	1.60			1.60	0.49	12.00	Número de valores deducidos >2(q)
5	M	6.60			6.60	2.04	22.00	
10	M	3.90	2.80	3.20	9.90	3.06	9.00	valor deducido mas alto
11	M	5.92			5.92	1.83	12.00	
13	M	1.00			1.00	0.31	18.00	
13	H	2.00			2.00	0.62	43.00	72.00
15	M	11.55	18.00		29.55	9.14	42.00	Número máximo de VD(m)
15	H	11.55	35.25	13.60	60.40	18.68	72.00	
					0.00	0.00		$m = 1 + \frac{9}{98} (100 - HDV) \leq 10$
generar igual cantidad de filas							3.57	≤ 10

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

4.9.2.2 Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV U. M. N.º 11

Figura 30.

Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM11



Fuente: Elaboración propia en Base al ábaco de Vázquez Varela (2002)

Tabla 9.*Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM11*

NRO	Valores Deducidos				Valor Deducido Total (VDT)	q	Valor Deducido Corregido (VDC)
1	72.00	43.00	42.00	20.52	177.52	4	93.00
2	72.00	43.00	42.00	2	159.00	3	92
3	72.00	43.00	2	2	119.00	2	80
4	72.00	2	2	2	78.00	1	78
VALOR MAXIMO DE (VDC)							93.00
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)					PCI= 100 – Max. VDC)		
PCI=					7.00	PAVIMENTO FALLADO	

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

El máximo CDV es el mayor de los CDV, es decir 93

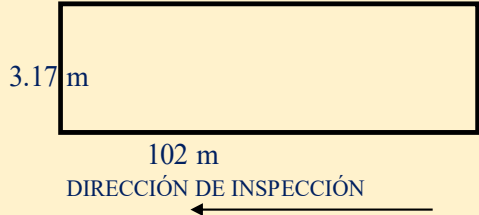
$$PCI_{11} = 100 - 93 = 7$$

Rango de clasificación del pavimento rígido

Rangos de Calificación del PCI	
Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-16	Muy malo
10-0	Fallado

La unidad de muestra N.º 11, perteneciente a la Sección 61 del Tramo 01, presenta un PCI de 7, lo que indica que la condición del pavimento es **pavimento fallado**

4.9.3 Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 10

Hoja de Registro-Unidad de Muestreo(U.M) 10													
HOJA DE REGISTRO DE UNIDAD DE MUESTREO METODO DE PCI (ASTM D6433)													
PCI-01. AVENIDA CON SUPERFICIE ASFÁLTICA EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO TRAMO: 1 SECCIÓN: 55 FECHA: 07 de julio del 2025 UNIDAD DE MUESTREO N° 10 INSPECCIONADO POR: Equipo de Campo ÁREA : 323.34 m2 PROYECTO: Evaluación del Pavimento Flexible mediante PCI											ESQUEMA 		
1. Piel de cocodrilo				6. Depresión				11. Parcheo				16. Desplazamiento	
2. Exudación				7. Fisura de borde				12. Pulimiento de agregados				17. Grieta parabólica (slippage)	
3. Agrietamiento en bloque				8. Fisura de reflexión de junta				13. Huecos				18. Hinchamiento	
4. Abultamientos y hundimientos				9. Desnivel carril-berma				14. Cruce de vía férrea				19. Desprendimiento de agregados	
5. Corrugación				10. Fisuras longitudinales y transversales				15. Ahuellamiento				100	
Daño	Severidad	Cantidades Parciales								total	Densidad(%)	Valor deducido	
1	L	1.24	0.67							1.90	0.59	6.00	
3	M	4.50	2.70	3.60						10.80	3.34	3.00	
11	L	1.58	7.65	1.70	3.33					14.25	4.41	11.00	
13	L	1.00								1.00	0.31	8.00	
13	M	2.00	1.00							3.00	0.93	28.00	
15	L	26.52								26.52	8.20	25.00	
15	M	11.70								11.70	3.62	32.00	
15	H	14.40	4.96							19.36	5.99	52.00	
18	M	1.20	1.10							2.30	0.71	8.00	

Fuente: Elaboración Propia en Base a ASTM D6433

4.9.3.1 Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m) U. M. N.º 10

Tabla 10.

Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo - UM10

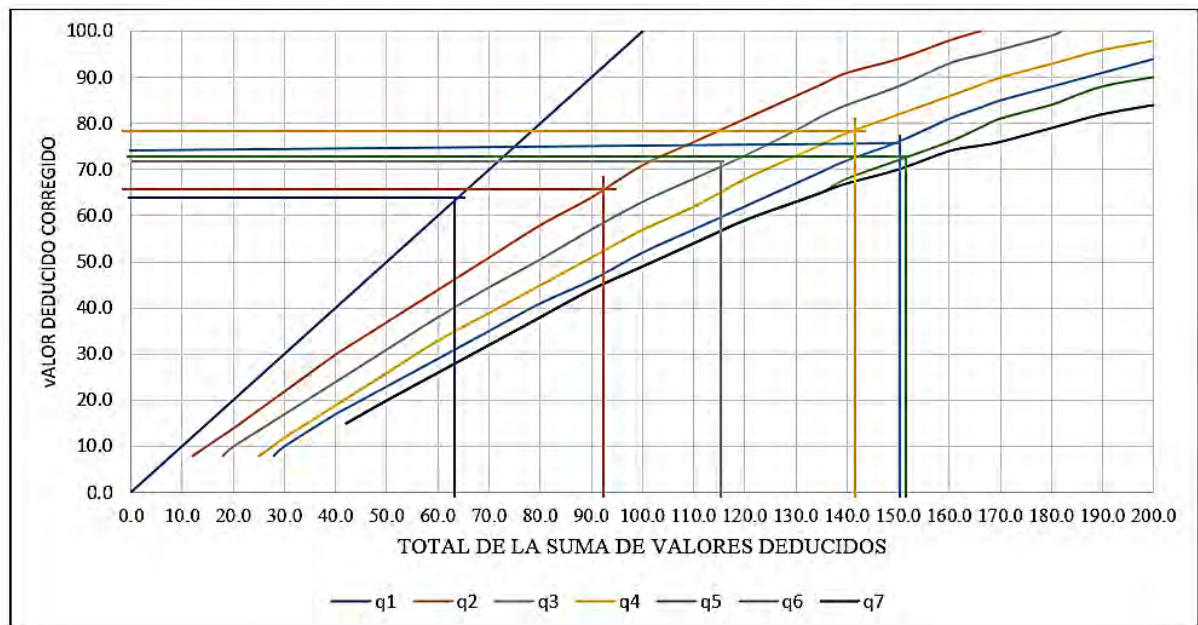
Severidad	Cantidades Parciales				total	Densidad(%)	Valor deducido	
L	1.235	0.67			1.90	0.59	6.00	Número de valores deducidos >2(q)
M	4.50	2.70	3.60		10.80	3.34	3.00	
L	1.575	7.65	1.70	3.33	14.25	4.41	11.00	valor deducido mas alto
L	1.00				1.00	0.31	8.00	
M	2.00	1.00			3.00	0.93	28.00	52.00
L	26.52				26.52	8.20	25.00	
M	11.70				11.70	3.62	32.00	Número máximo de VD(m)
H	14.40	4.96			19.36	5.99	52.00	
M	1.20	1.10			2.30	0.71	8.00	$m = 1 + \frac{2}{98} (100 - HDV) = <10$
generar igual cantidad de filas							5.41	

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

4.9.3.2 Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV U. M. N.º 10

Figura 31.

Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM10



Fuente: Elaboración propia en Base al ábaco de Vázquez Varela (2002)

Tabla 11.*Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM10*

Valores Deducidos						Valor Deducido Total (VDT)	q	Valor Deducido Corregido (VDC)
52.00	32.00	28.00	25.00	11.00	3.28	151.28	6	72.00
52.00	32.00	28.00	25.00	11.00	2	150.00	5	75.00
52.00	32.00	28.00	25.00	2	2	141.00	4	79.00
52.00	32.00	28.00	2	2	2	118.00	3	72.00
52.00	32.00	2	2	2	2	92.00	2	65.00
52.00	2	2	2	2	2	62.00	1	65.00
VALOR MAXIMO DE (VDC)								79.00
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO(PCI)						PCI= 100 – Max. VDC)		
PCI=						21.00	PAVIMENTO MUY MALO	

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

El máximo CDV es el mayor de los CDV, es decir 79

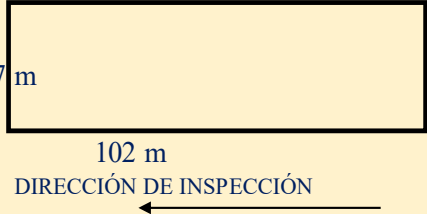
$$PCI_{10} = 100 - 79 = 21$$

Rango de clasificación del pavimento rígido

Rangos de Calificación del PCI	
Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-16	Muy malo
10-0	Fallado

La unidad de muestra N.º 10, perteneciente a la Sección 55 del Tramo 01, presenta un PCI de 21, lo que indica que la condición del pavimento es **pavimento muy malo**

4.9.4 Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 09

Hoja de Registro-Unidad de Muestreo(U.M) 9													
HOJA DE REGISTRO DE UNIDAD DE MUESTREO METODO DE PCI (ASTM D6433)													
PCI-01. AVENIDA CON SUPERFICIE ASFÁLTICA EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO TRAMO: 1 SECCIÓN: 49 FECHA: 07 de julio del 2025 UNIDAD DE MUESTREO N° 9 INSPECCIONADO POR: Equipo de Campo PROYECTO: Evaluación del Pavimento Flexible mediante PCI ÁREA : 323.34 m2											ESQUEMA 		
1. Piel de cocodrilo		6. Depresión				11. Parcheo				16. Desplazamiento			
2. Exudación		7. Fisura de borde				12. Pulimiento de agregados				17. Grieta parabólica (slippage)			
3. Agrietamiento en bloque		8. Fisura de reflexión de junta				13. Huecos				18. Hinchamiento			
4. Abultamientos y hundimientos		9. Desnivel carril-berma				14. Cruce de vía férrea				19. Desprendimiento de agregados			
5. Corrugación		10. Fisuras longitudinales y transversales				15. Ahuellamiento				100			
Daño	Severidad	Cantidades Parciales								total	Densidad(%)	Valor deducido	
4	M	0.80								0.80	0.25	4.00	
5	M	2.45								2.45	0.76	9.00	
11	L	1.98	1.58							3.56	1.10	4.00	
11	M	1.35	3.15							4.50	1.39	13.00	
13	M	1.00								1.00	0.31	18.00	
15	M	11.20	4.20	7.80						23.20	7.18	38.00	
15	H	6.30	4.94							11.24	3.48	47.00	

Fuente: Elaboración Propia en Base a ASTM D6433

4.9.4.1 Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m) U. M. N.º 09

Tabla 12.

Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo – UM 09

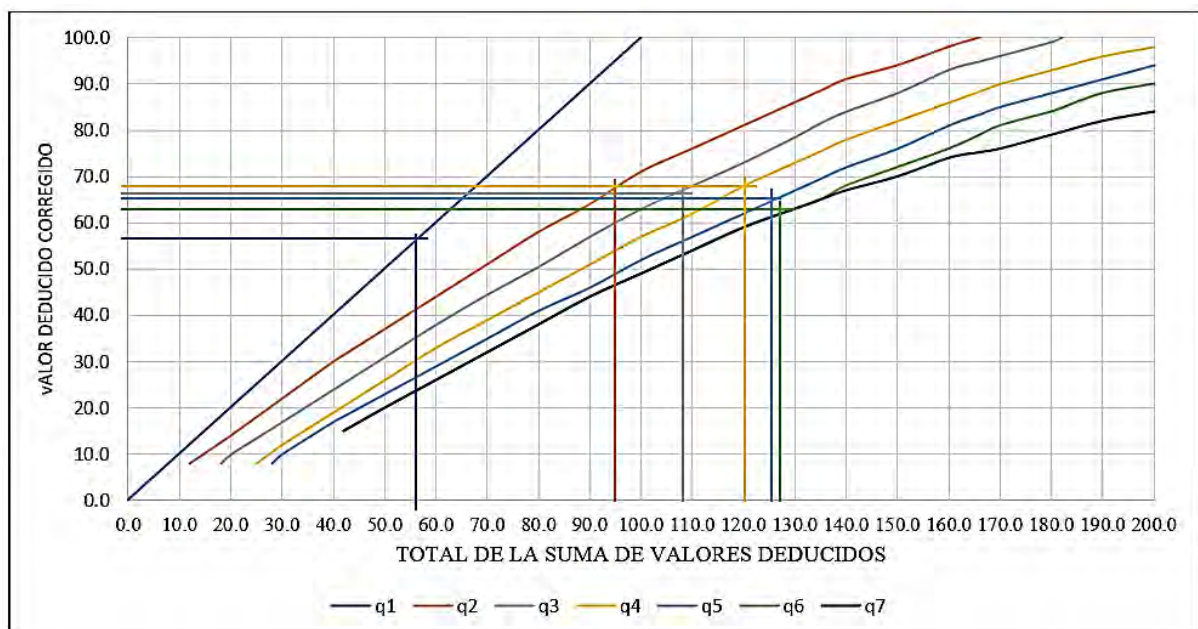
Daño	Severidad	Cantidades Parciales			total	Densidad(%)	Valor deducido	
4	M	0.80			0.80	0.25	4.00	Número de valores deducidos >2(q)
5	M	2.45			2.45	0.76	9.00	
11	L	1.98	1.58		3.56	1.10	4.00	
11	M	1.35	3.15		4.50	1.39	13.00	valor deducido mas alto
13	M	1.00			1.00	0.31	18.00	
15	M	11.20	4.20	7.80	23.20	7.18	38.00	
15	H	6.30	4.94		11.24	3.48	47.00	47.00
							Número máximo de VD(m)	
							$m = 1 + \frac{9}{98} (100 - HDV) \leq 10$	
generar igual cantidad de filas							5.87	<=10

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

4.9.4.2 Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV U. M. N.º 9

Figura 32.

Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM 09



Fuente: Elaboración propia en Base al ábaco de Vázquez Varela (2002)

Tabla 13.*Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM 09*

NRO	Valores Deducidos						Valor Deducido Total (VDT)	q	Valor Deducido Corregido (VDC)
1	47.00	38.00	18.00	13.00	9.00	3.48	128.48	6	62.00
2	47.00	38.00	18.00	13.00	9.00	2	127.00	5	65.00
3	47.00	38.00	18.00	13.00	2	2	120.00	4	67.00
4	47.00	38.00	18.00	2	2	2	109.00	3	66.00
5	47.00	38.00	2	2	2	2	93.00	2	65.00
6	47.00	2	2	2	2	2	57.00	1	47.00
VALOR MAXIMO DE (VDC)									67.00
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO(PCI)							PCI= 100 – Max. VDC)		
PCI=							33.00	PAVIMENTO MALO	

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

El máximo CDV es el mayor de los CDV, es decir 67

$$PCI_{06} = 100 - 67 = 33$$

Rango de clasificación del pavimento rígido

Rangos de Calificación del PCI	
Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-16	Muy malo
10-0	Fallado

La unidad de muestra N.º 09, perteneciente a la Sección 49 del Tramo 01, presenta un PCI de 33, lo que indica que la condición del pavimento es **pavimento malo**

4.9.5 Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 06

Hoja de Registro-Unidad de Muestreo(U.M) 6													
HOJA DE REGISTRO DE UNIDAD DE MUESTREO METODO DE PCI (ASTM D6433)													
PCI-01. AVENIDA CON SUPERFICIE ASFÁLTICA EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO TRAMO: 1 SECCIÓN: 31 FECHA: 07 de julio del 2025 UNIDAD DE MUESTREO N° 6 INSPECCIONADO POR: Equipo de Campo PROYECTO: Evaluación del Pavimento Flexible mediante PCI ÁREA : 323.34 m2											ESQUEMA 		
1. Piel de cocodrilo		6. Depresión				11. Parcheo				16. Desplazamiento			
2. Exudación		7. Fisura de borde				12. Pulimiento de agregados				17. Grieta parabólica (slippage)			
3. Agrietamiento en bloque		8. Fisura de reflexión de junta				13. Huecos				18. Hinchamiento			
4. Abultamientos y hundimientos		9. Desnivel carril-berma				14. Cruce de vía férrea				19. Desprendimiento de agregados			
5. Corrugación		10. Fisuras longitudinales y transversales				15. Ahuellamiento				100			
Daño	Severidad	Cantidades Parciales								total	Densidad(%)	Valor deducido	
1	M	20.70	12.60	14.70	2.25					50.25	15.54	52.00	
1	H	8.40								8.40	2.60	44.00	
2	L	2.40								2.40	0.74	1.00	
3	L	9.00	1.76							10.76	3.33	3.00	
7	L	6.00								6.00	1.86	3.00	
10	L	6.00	8.50	1.30	3.20					19.00	5.88	4.00	
11	L	8.00	7.26	16.50	4.40					36.16	11.18	23.00	
11	M	4.28								4.28	1.32	11.00	

Fuente: Elaboración Propia en Base a ASTM D6433

4.9.5.1 Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m) U. M. N.º 06

Tabla 14.

Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo – UM06

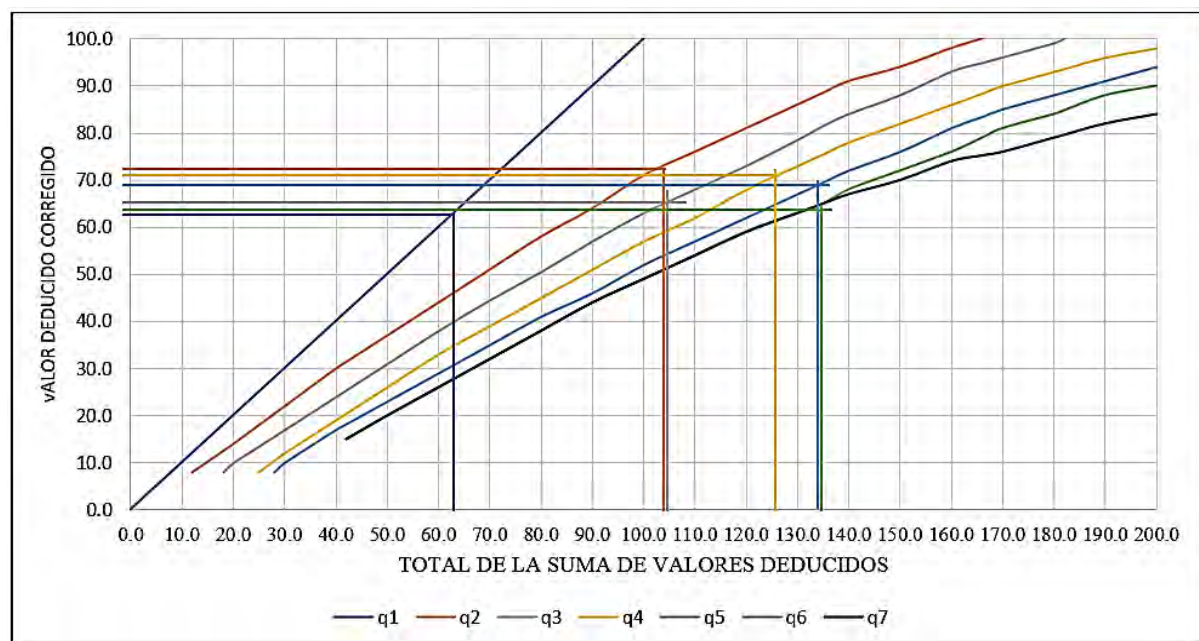
Daño	Severidad	Cantidades Parciales				total	Densidad(%)	Valor deducido	
1	M	20.70	12.60	14.70	2.25	50.25	15.54	52.00	Número de valores deducidos >2(q)
1	H	8.40				8.40	2.60	44.00	
2	L	2.40				2.40	0.74	1.00	
3	L	9.00	1.76			10.76	3.33	3.00	valor deducido mas alto
7	L	6.00				6.00	1.86	3.00	
10	L	6.00	8.50	1.30	3.20	19.00	5.88	4.00	
11	L	8.00	7.26	16.50	4.40	36.16	11.18	23.00	52.00
11	M	4.28				4.28	1.32	11.00	Número máximo de VD(m)
								$m = 1 + \frac{9}{98}(100 - HDV) < 10$	
generar igual cantidad de filas								5.41	<=10

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

4.9.5.2 Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV U. M. N.º 9

Figura 33.

Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM06



Fuente: Elaboración propia en Base al ábaco de Vázquez Varela (2002)

Tabla 15.

Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM06

NRO	Valores Deducidos						Valor Deducido Total(VDT)	q	Valor Deducido Corregido (VDC)
1	52.00	44.00	23.00	11.00	4.00	1.23	135.23	6	66.00
2	52.00	44.00	23.00	11.00	2.00	2.00	134.00	5	68.00
3	52.00	44.00	23.00	2.00	2.00	2.00	125.00	4	71.00
4	52.00	44.00	2.00	2.00	2.00	2.00	104.00	3	66.00
5	52.00	44.00	2.00	2.00	2.00	2.00	104.00	2	72.00
6	52.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	62.00	1	62.00
VALOR MAXIMO DE (VDC)									72.00
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO(PCI)						PCI= 100 – Max. VDC)			
PCI=						28.00	PAVIMENTO MALO		

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

El máximo CDV es el mayor de los CDV, es decir 72

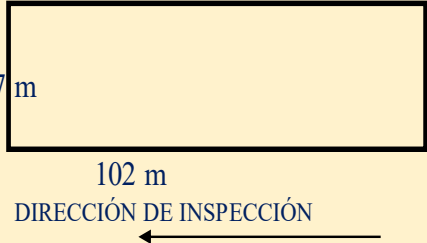
$$PCI_{06} = 100 - 72 = 28$$

Rango de clasificación del pavimento rígido

Rangos de Calificación del PCI	
Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-16	Muy malo
10-0	Fallado

La unidad de muestra N.º 06, perteneciente a la Sección 31 del Tramo 01, presenta un PCI de 28, lo que indica que la condición del pavimento es **pavimento malo**

4.9.6 Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 05

Hoja de Registro-Unidad de Muestreo(U.M) 5													
HOJA DE REGISTRO DE UNIDAD DE MUESTREO METODO DE PCI (ASTM D6433)													
PCI-01. AVENIDA CON SUPERFICIE ASFÁLTICA EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO TRAMO: 1 SECCIÓN: 25 FECHA: 07 de julio del 2025 UNIDAD DE MUESTREO N° 5 INSPECCIONADO POR: Equipo de Campo PROYECTO: Evaluación del Pavimento Flexible mediante PCI ÁREA : 323.34 m2											ESQUEMA 		
1. Piel de cocodrilo			6. Depresión			11. Parcheo			16. Desplazamiento				
2. Exudación			7. Fisura de borde			12. Pulimiento de agregados			17. Grieta parabólica (slippage)				
3. Agrietamiento en bloque			8. Fisura de reflexión de junta			13. Huecos			18. Hinchamiento				
4. Abultamientos y hundimientos			9. Desnivel carril-berma			14. Cruce de vía férrea			19. Desprendimiento de agregados				
5. Corrugación			10. Fisuras longitudinales y transversales			15. Ahuellamiento			100				
Daño	Severidad	Cantidades Parciales									total	Densidad(%)	Valor deducido
3	L	2.18									2.18	0.67	2.00
10	L	1.20	1.60	4.50	3.45	0.80	7.00	15.00			33.55	10.38	8.00
11	L	0.68	0.96								1.64	0.51	9.00
13	M	1.00	1.00								2.00	0.62	8.00

Fuente: Elaboración Propia en Base a ASTM D6433

4.9.6.1 Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m) U. M. N.º 05

Tabla 16.

Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo – UM05

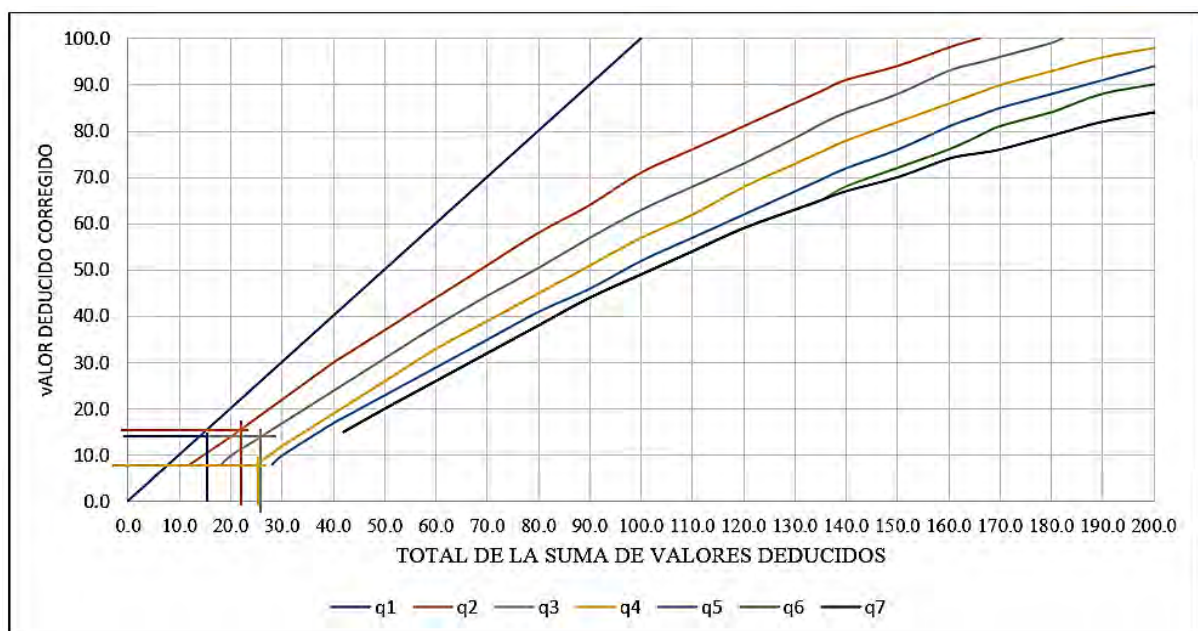
Daño	Severidad	Cantidades Parciales							total	Densidad(%)	Valor deducido	
3	L	2.18							2.18	0.67	2.00	Número de valores deducidos >2(q)
10	L	1.20	1.60	4.50	3.45	0.80	7.00	15.00	33.55	10.38	8.00	
11	L	0.68	0.96						1.64	0.51	9.00	
13	M	1.00	1.00						2.00	0.62	7.00	valor deducido mas alto
											9.00	Número máximo de VD(m)
											$m = 1 + \frac{2}{98}(100 - HDV) \leq 10$	
generar igual cantidad de filas											9.36	<=10

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

4.9.6.2 Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV U. M. N.º 05

Figura 34.

Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM 05



Fuente: Elaboración propia en Base al ábaco de Vázquez Varela (2002)

Tabla 17.*Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM05*

NRO	Valores Deducidos				Valor Deducido Total (VDT)	q	Valor Deducido Corregido (VDC)
1	9.00	8.00	7.00	2.00	26.00	4	9.00
2	9.00	8.00	7.00	2.00	26.00	3	15.00
3	9.00	8.00	2.00	2.00	21.00	2	16.00
4	9.00	2.00	2.00	2.00	15.00	1	15.00
VALOR MAXIMO DE (VDC)							16.00
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO(PCI)					PCI= 100 – Max.VDC)		
PCI=					84.00	PAVIMENTO MUY BUENO	

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

El máximo CDV es el mayor de los CDV, es decir 16

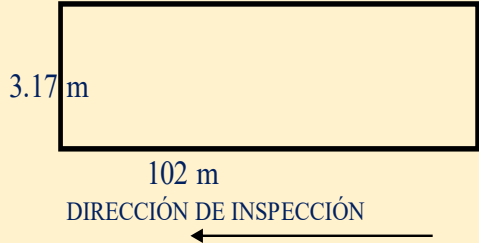
$$PCI_{05} = 100 - 16 = 84$$

Rango de clasificación del pavimento rígido

Rangos de Calificación del PCI	
Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-16	Muy malo
10-0	Fallado

La unidad de muestra N.º 05, perteneciente a la Sección 25 del Tramo 01, presenta un PCI de 84, lo que indica que la condición del pavimento es **muy buena**

4.9.7 Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 04

Hoja de Registro-Unidad de Muestreo(U.M) 4													
HOJA DE REGISTRO DE UNIDAD DE MUESTREO METODO DE PCI (ASTM D6433)													
PCI-01. AVENIDA CON SUPERFICIE ASFÁLTICA EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO TRAMO: 1 SECCIÓN: 19 FECHA: 07 de julio del 2025 UNIDAD DE MUESTREO N° 4 INSPECCIONADO POR: Equipo de Campo PROYECTO: Evaluación del Pavimento Flexible mediante PCI ÁREA : 323.34 m ²											ESQUEMA 		
1. Piel de cocodrilo		6. Depresión				11. Parcheo				16. Desplazamiento			
2. Exudación		7. Fisura de borde				12. Pulimiento de agregados				17. Grieta parabólica (slippage)			
3. Agrietamiento en bloque		8. Fisura de reflexión de junta				13. Huecos				18. Hinchamiento			
4. Abultamientos y hundimientos		9. Desnivel carril-berma				14. Cruce de vía férrea				19. Desprendimiento de agregados			
5. Corrugación		10. Fisuras longitudinales y transversales				15. Ahuellamiento				100			
Daño	Severidad	Cantidades Parciales									total	Densidad(%)	Valor deducido
3	L	22.80	15.60	7.70							46.10	14.26	9.00
10	L	6.00	3.00	5.00	9.00	8.00					31.00	9.59	19.00
15	L	12.00	15.00								27.00	8.35	42.00

Fuente: Elaboración Propia en Base a ASTM D6433

4.9.7.1 Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m) U. M. N.º 04

Tabla 18.

Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM 05

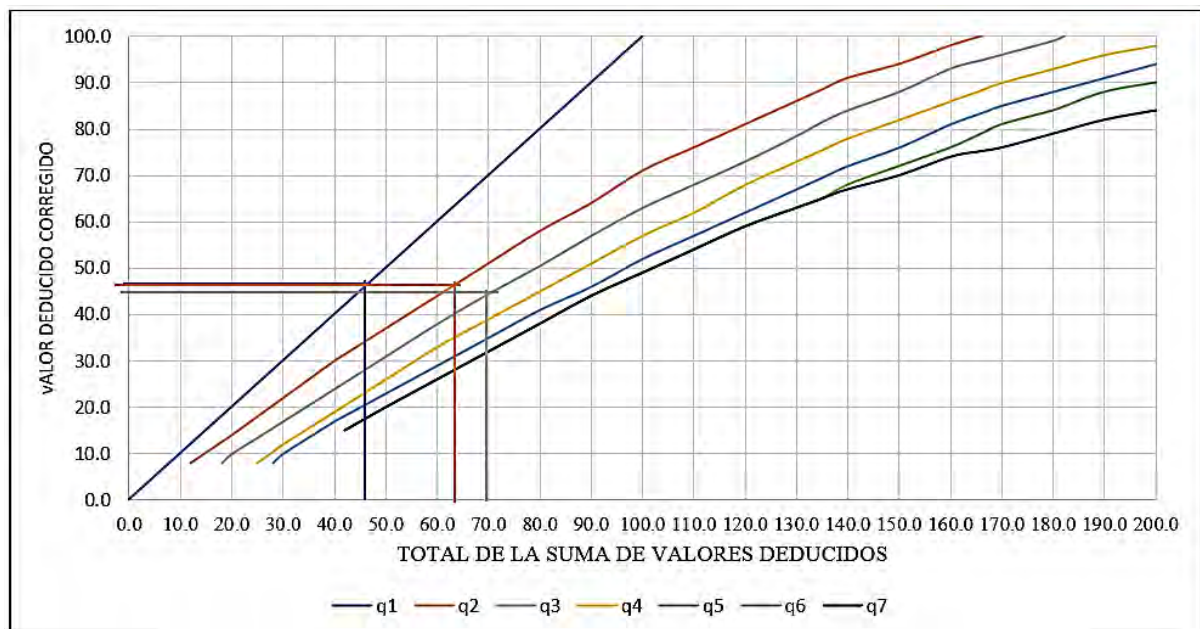
Daño	Severidad	Cantidades Parciales				total	Densidad(%)	Valor deducido	
3	L	22.80	15.60	7.70		46.10	14.26	9.00	Número de valores deducidos >2(q)
10	L	6.00	3.00	5.00	9.00	23.00	7.11	19.00	
15	L	12.00				12.00	3.71	42.00	
								valor deducido mas alto	
								42.00	
								Número máximo de VD(m)	
								$m = 1 + \frac{9}{98}(100 - HDV) \leq 10$	
generar igual cantidad de filas								6.33	<=10

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D06433

4.9.7.2 Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV U. M. N.º 9

Figura 35.

Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM04



Fuente: Elaboración propia en Base al ábaco de Vázquez Varela (2002)

Tabla 19.*Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM04*

NRO	Valores Deducidos			Valor Deducido Total (VDT)	q	Valor Deducido Corregido (VDC)
1	42.00	19.00	9.00	70.00	3	45.00
2	42.00	19.00	2.00	63.00	2	46.00
3	42.00	2.00	2.00	46.00	1	46.00
VALOR MAXIMO DE (VDC)						46.00
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO(PCI)				PCI= $100 - Max.VDC$		
				PCI=	54.00	PAVIMENTO REGULAR

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

El máximo CDV es el mayor de los CDV, es decir 46

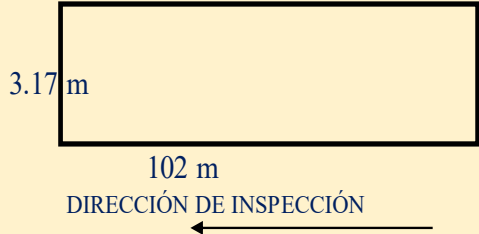
$$PCI_{04} = 100 - 46 = 54$$

Rango de clasificación del pavimento rígido

Rangos de Calificación del PCI	
Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-16	Muy malo
10-0	Fallado

La unidad de muestra N.º 04, perteneciente a la Sección 19 del Tramo 01, presenta un PCI de 54, lo que indica que la condición del pavimento es PAVIMENTO REGULAR

4.9.8 Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 03

Hoja de Registro-Unidad de Muestreo(U.M) 3													
HOJA DE REGISTRO DE UNIDAD DE MUESTREO METODO DE PCI (ASTM D6433)													
PCI-01. AVENIDA CON SUPERFICIE ASFÁLTICA EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO TRAMO: 1 SECCIÓN: 13 FECHA: 07 de julio del 2025 UNIDAD DE MUESTREO N° 3 INSPECCIONADO POR: Equipo de Campo ÁREA : 323.34 m ² PROYECTO: Evaluación del Pavimento Flexible mediante PCI											ESQUEMA 		
1. Piel de cocodrilo		6. Depresión				11. Parcheo				16. Desplazamiento			
2. Exudación		7. Fisura de borde				12. Pulimiento de agregados				17. Grieta parabólica (slippage)			
3. Agrietamiento en bloque		8. Fisura de reflexión de junta				13. Huecos				18. Hinchamiento			
4. Abultamientos y hundimientos		9. Desnivel carril-berma				14. Cruce de vía férrea				19. Desprendimiento de agregados			
5. Corrugación		10. Fisuras longitudinales y transversales				15. Ahuellamiento				100			
Daño	Severidad	Cantidades Parciales								total	Densidad(%)	Valor deducido	
3	L	35.15	28.00	47.50	9.60					120.25	37.19	28.00	
10	L	4.00	12.00	9.50	3.00	12.00				40.50	12.53	9.00	
10	M	2.80	1.50	3.20						7.50	2.32	5.00	
11	L	3.80	2.50	3.50						9.80	3.03	6.00	

Fuente: Elaboración Propia en Base a ASTM D6433

4.9.8.1 Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m) U. M. N.º 03

Tabla 20.

Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo – UM03

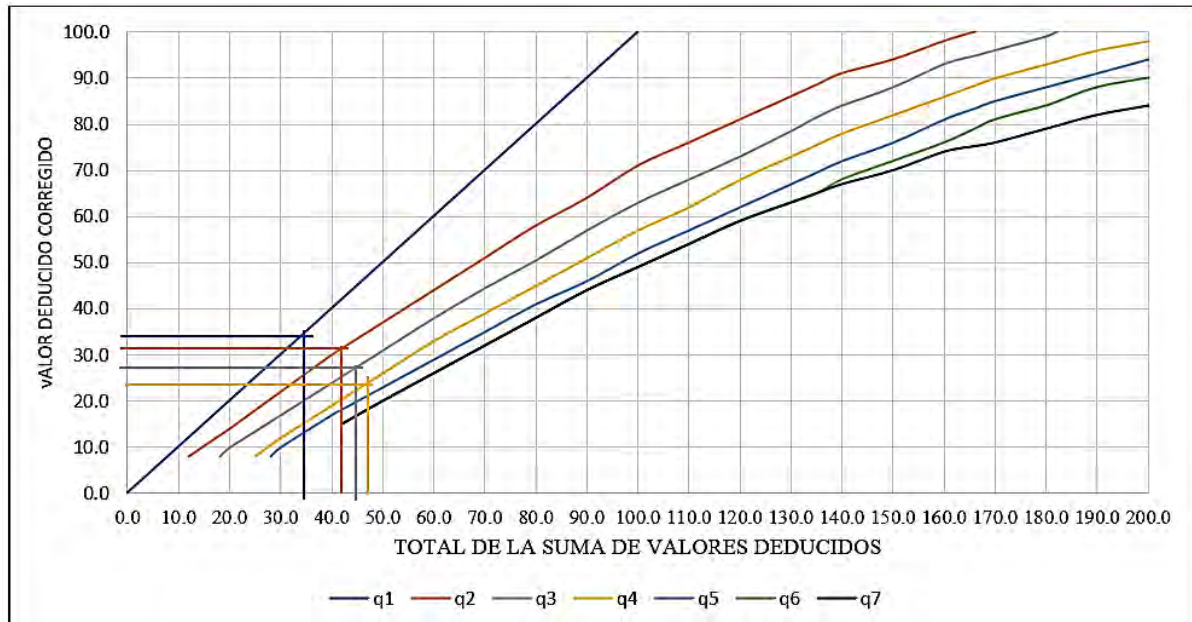
Daño	Severidad	Cantidades Parciales					total	Densidad(%)	Valor deducido	
3	L	35.15	28.00	47.50	9.60		120.25	37.19	28.00	Número de valores deducidos >2(q)
10	L	4.00	12.00	9.50	3.00	12.00	40.50	12.53	9.00	
10	M	2.80	1.50	3.20			7.50	2.32	5.00	
11	L	3.80	2.50	3.50			9.80	3.03	6.00	valor deducido mas alto
									28.00	
										Número máximo de VD(m)
										$m = 1 + \frac{9}{98} (100 - HDV) < 10$
generar igual cantidad de filas									7.61	<=10

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

4.9.8.2 Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV U. M. N.º 03

Figura 36.

Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM03



Fuente: Elaboración propia en Base al ábaco de Vázquez Varela (2002)

Tabla 21.

Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM03

NRO	Valores Deducidos				Valor Deducido Total (VDT)	q	Valor Deducido Corregido (VDC)
1	28.00	9.00	6.00	5.00	48.00	4	24.00
2	28.00	9.00	6.00	2	45.00	3	28.00
3	28.00	9.00	2	2	41.00	2	32.00
4	28.00	2	2	2	34.00	1	34.00
VALOR MAXIMO DE (VDC)							34.00
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO(PCI)					PCI= 100 – Max.VDC)		
					PCI=	66.00	PAVIMENTO BUENO

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

El máximo CDV es el mayor de los CDV, es decir 34

$$PCI_{03} = 100 - 34 = 66$$

Rango de clasificación del pavimento rígido

Rangos de Calificación del PCI	
Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-16	Muy malo
10-0	Fallado

La unidad de muestra N.º 03, perteneciente a la Sección 13 del Tramo 01, presenta un PCI de 66, lo que indica que la condición del pavimento es **pavimento bueno**

4.9.9 Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 02

Hoja de Registro-Unidad de Muestreo(U.M) 2													
HOJA DE REGISTRO DE UNIDAD DE MUESTREO METODO DE PCI (ASTM D6433)													
PCI-01. AVENIDA CON SUPERFICIE ASFÁLTICA EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO TRAMO: 1 SECCIÓN: 7 FECHA: 07 de julio del 2025 UNIDAD DE MUESTREO N° 2 INSPECCIONADO POR: Equipo de Campo PROYECTO: Evaluación del Pavimento Flexible mediante PCI ÁREA : 323.34 m²											ESQUEMA 		
1. Piel de cocodrilo			6. Depresión			11. Parcheo			16. Desplazamiento				
2. Exudación			7. Fisura de borde			12. Pulimiento de agregados			17. Grieta parabólica (slippage)				
3. Agrietamiento en bloque			8. Fisura de reflexión de junta			13. Huecos			18. Hinchamiento				
4. Abultamientos y hundimientos			9. Desnivel carril-berma			14. Cruce de vía férrea			19. Desprendimiento de agregados				
5. Corrugación			10. Fisuras longitudinales y transversales			15. Ahuellamiento			100				
Daño	Severidad	Cantidades Parciales								total	Densidad(%)	Valor deducido	
1	L	7.36	2.16	1.80	3.60						14.92	4.61	26.00
3	L	12.68	10.80	12.50	2.80						38.78	11.99	9.00
10	L	4.50	3.80	6.00	12.00	2.80	10.50				39.60	12.25	8.00
11	L	9.00	0.54								9.54	2.95	8.00
13	M	2.00									2.00	0.62	23.00

Fuente: Elaboración Propia en Base a ASTM D6433

4.9.9.1 Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m) U. M. N.º 02

Tabla 22.

Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo – UM02

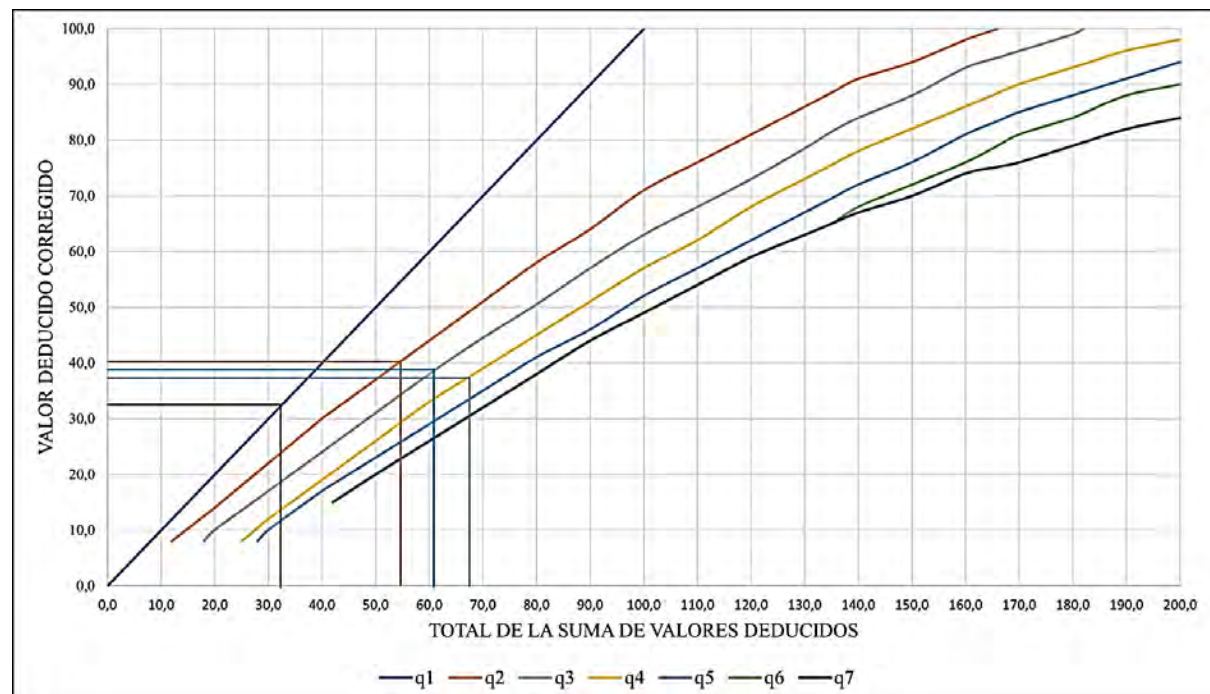
Daño	Severidad	Cantidades Parciales						total	Densidad(%)	Valor deducido	
1	L	7.36	2.16	1.80	3.60			14.92	4.61	26.00	Número de valores deducidos >2(q)
3	L	12.68	10.80	12.50	2.80			38.78	11.99	9.00	
10	L	4.50	3.80	6.00	12.00	2.80	10.50	39.60	12.25	8.00	valor deducido mas alto
11	L	9.00	0.54					9.54	2.95	8.00	
13	M	2.00						2.00	0.62	23.00	26.00
										Número máximo de VD(m)	
										$m = 1 + \frac{9}{98}(100 - HDV) \leq 10$	
generar igual cantidad de filas										7.80	<=10

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

4.9.9.2 Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV U. M. N.º 02

Figura 37.

Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM02



Fuente: Elaboración propia en Base al ábaco de Vázquez Varela (2002)

Tabla 23.*Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM02*

NRO	Valores Deducidos					Valor Deducido Total (VDT)	q	Valor Deducido Corregido (VDC)
1	26.00	23.00	9.00	8.00	8.00	74.00	5	32.00
2	26.00	23.00	9.00	8.00	2	68.00	4	36.00
3	26.00	23.00	9.00	2	2	62.00	3	38.00
4	26.00	23.00	2	2	2	55.00	2	40.00
5	26.00	2	2	2	2	34.00	1	32.00
VALOR MAXIMO DE (VDC)								40.00
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO(PCI)						PCI= 100 – Max.VDC)		
						PCI=	60.00	PAVIMENTO BUENO

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

El máximo CDV es el mayor de los CDV, es decir 40

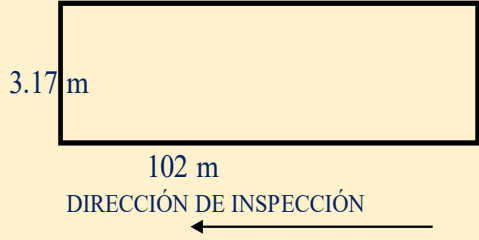
$$PCI_{02} = 100 - 40 = 60$$

Rango de clasificación del pavimento rígido

Rangos de Calificación del PCI	
Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-16	Muy malo
10-0	Fallado

La unidad de muestra N.º 02, perteneciente a la Sección 07 del Tramo 01, presenta un PCI de 60, lo que indica que la condición del pavimento es **pavimento bueno**

4.9.10 Cálculo del PCI de las Unidad de Muestreo N.º 01

Hoja de Registro-Unidad de Muestreo(U.M) 1													
HOJA DE REGISTRO DE UNIDAD DE MUESTREO METODO DE PCI (ASTM D6433)													
PCI-01. AVENIDA CON SUPERFICIE ASFÁLTICA EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO TRAMO: 1 SECCIÓN: 2 FECHA: 07 de julio del 2025 UNIDAD DE MUESTREO N° 1 INSPECCIONADO POR: Equipo de Campo ÁREA : 323.34 m2 PROYECTO: Evaluación del Pavimento Flexible mediante PCI										ESQUEMA 			
1. Piel de cocodrilo		6. Depresión				11. Parcheo				16. Desplazamiento			
2. Exudación		7. Fisura de borde				12. Pulimiento de agregados				17. Grieta parabólica (slippage)			
3. Agrietamiento en bloque		8. Fisura de reflexión de junta				13. Huecos				18. Hinchamiento			
4. Abultamientos y hundimientos		9. Desnivel carril-berma				14. Cruce de vía férrea				19. Desprendimiento de agregados			
5. Corrugación		10. Fisuras longitudinales y transversales				15. Ahuellamiento				100			
Daño	Severidad	Cantidades Parciales									total	Densidad(%)	Valor deducido
1	L	3.78	1.17								4.95	1.53	12.00
10	L	3.50	3.30	2.70	2.60	4.90					17.00	5.26	6.00
11	L	5.70	2.52								8.22	2.54	4.00
13	M	2.00	1.00	1.00							4.00	1.24	29.00

Fuente: Elaboración Propia en Base a ASTM D6433

4.9.10.1 Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m) U. M. N.º 01

Tabla 24.

Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo – UM01

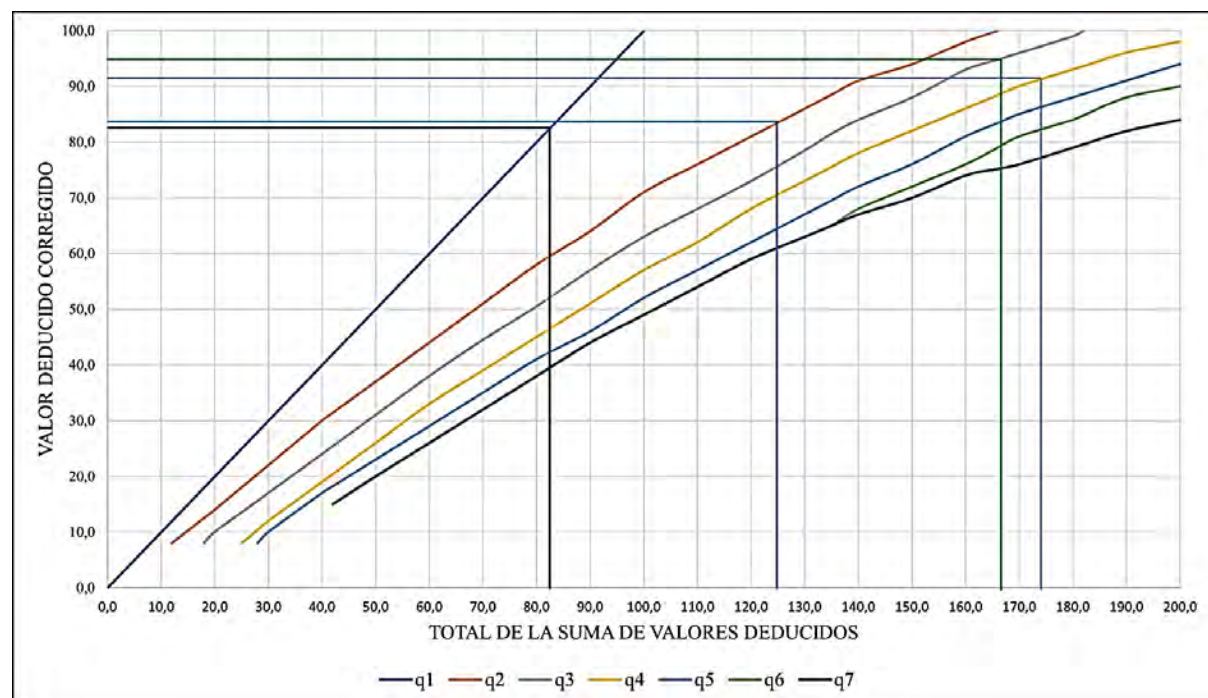
Daño	Severidad	Cantidades Parciales					total	Densidad(%)	Valor deducido	
1	L	3.78	1.17				4.95	1.53	12.00	Número de valores deducidos >2(q)
10	L	3.50	3.30	2.70	2.60	4.90	17.00	5.26	6.00	
11	L	5.70	2.52				8.22	2.54	4.00	
13	M	2.00	1.00	1.00			4.00	1.24	29.00	valor deducido mas alto
									29.00	
										Número máximo de VD(m)
										$m = 1 + \frac{9}{98}(100 - HDV) \leq 10$
generar igual cantidad de filas									7.52	<=10

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

4.9.10.2 Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV U. M. N.º 01

Figura 38.

Abaco para Determinar los Valores Deducidos Corregidos-UM01



Fuente: Elaboración propia en Base al ábaco de Vázquez Varela (2002)

Tabla 25.

Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM01

NRO	Valores Deducidos				Valor deducido Total (VDT)	q	Valor Deducido Corregido (VDC)
1	29.00	12.00	6.00	4.00	51.00	4	25.00
2	29.00	12.00	6.00	2.00	49.00	3	29.00
3	29.00	12.00	2.00	2.00	45.00	2	33.00
4	29.00	2.00	2.00	2.00	35.00	1	35.00
VALOR MAXIMO DE (VDC)							35.00
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO(PCI)					PCI= 100 – Max. VDC)		
					PCI=	65.00	PAVIMENTO BUENO

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

El máximo CDV es el mayor de los CDV, es decir 35

$$PCI_{01} = 100 - 35 = 65$$

La unidad de muestra N.º 01, perteneciente a la Sección 02 del Tramo 01, presenta un PCI de 65, lo que indica que la condición del pavimento es **pavimento bueno**

4.10. Cálculo del PCI de las Unidades de Muestreo para el Pavimento Rígido

En esta situación, relacionada con la Evaluación de una Red Vial, el proceso de muestreo se realizará de acuerdo con lo dispuesto en la Ecuación 1.

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2} \dots\dots\dots (Ec.01)$$

donde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = 5%)

σ : Desviación estándar del PCI entre las unidades. Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (σ) del PCI de 15 para pavimento Rígido (rango PCI de 35).

El valor de N (número total de losas) se puede calcular dividiendo la longitud total del pavimento del tramo entre la longitud de cada losa, lo que nos dará la cantidad losas total de las unidades de muestra.

$$N = \frac{1037}{3} = 345.66 \cong 345 \text{ losas}$$

$$N = 345 \text{ losas}$$

$$n = \frac{345 \times 15^2}{\frac{5^2}{4} \times (345 - 1) + 15^2} = 32.70 \cong 32, n=32$$

Resultando:

Para el caso de $n = 32$ el número mínimo de unidades de muestreo de losas a evaluar se determina según la norma ASTM International (2003), la cual establece que cada unidad debe agrupar 20 ± 8 losas para su evaluación. En este sentido, se conforma la primera unidad de muestreo con 20 losas, mientras que la segunda unidad cuenta inicialmente con 12 losas, las cuales se completan hasta alcanzar las 20 losas requeridas. De este modo, se obtienen dos unidades de muestreo, cada una agrupada con 20 losas.

Tramo total 01: pavimento rígido (seccionado por losas)

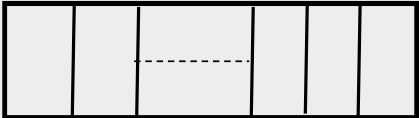
Tramo 08 Sección 43 = 4+584.50 – 4+644.50; (losas= 20.00 Unds)

Tramo 07 Sección 37 = 3+635.50– 3+700.50; (losas= 20.00 Unds)

4.10.1 Determinación del PCI – Pavimento Rígido (UM N.º 07 y N.º 8)

Para la determinación del PCI en pavimento rígido, se mantiene la misma secuencia de cálculo utilizada para pavimento flexible, dado que el procedimiento establecido por la norma ASTM D6433 conserva la metodología general de evaluación.

4.10.2 Unidades de Muestreo para Pavimento Rígido N.º 07

Hoja de Registro-Unidad de Muestreo (U.M)												7		
HOJA DE REGISTRO DE UNIDAD DE MUESTREO MÉTODO DE PCI (ASTM D6433)														
PCI-02. AVENIDA CON PAVIMENTO RÍGIDO EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO TRAMO: 1 SECCIÓN: 37 FECHA: 07 de Julio del 2025 UNIDAD DE MUESTREO N° 7 INSPECCIONADO POR: Equipo de Campo N° DE LOSAS: 20 Unds PROYECTO: Evaluación del pavimento Rígido Mediante PCI												ESQUEMA  3*20 dirección de inspección ←		
21: Levantamiento /Pandeo			26: Deterioro del sello de junta			30: Parche pequeño Menor a 1,5			35: Cruce de Vía Férrea					
22: Grieta de esquina			27: Desnivel carril / Berma			31: pulimento de agregados			36: Mapa de Grietas, Craquelado					
23: Losa Dividida			28: Grietas longitudinales, transversales y			32: Desprendimientos por			37: Grietas de Retracción					
24: grietas de Durabilidad "D"			29: parche grande y cortes para instalaciones mayor			33: Bombeo			38: Descascaramiento de Esquina					
25: Escala						34: Punzonamiento			39: Descascaramiento de junta					
C. Daño	Severidad	Cantidades Parciales										total	Densidad(%)	Valor deducido
22	L	2.00	2.00		2.00							6.00	30.00	25.00
28	L	11.00										11.00	55.00	20.00
29	M	6.00										6.00	30.00	19.00
31	L	5.00										5.00	25.00	5.00
39	L	7.00										7.00	35.00	7.00

Fuente: Elaboración Propia en Base a ASTM D6433

4.10.2.1 Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m) U. M. N.º 07

Tabla 26.

Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo – UM07

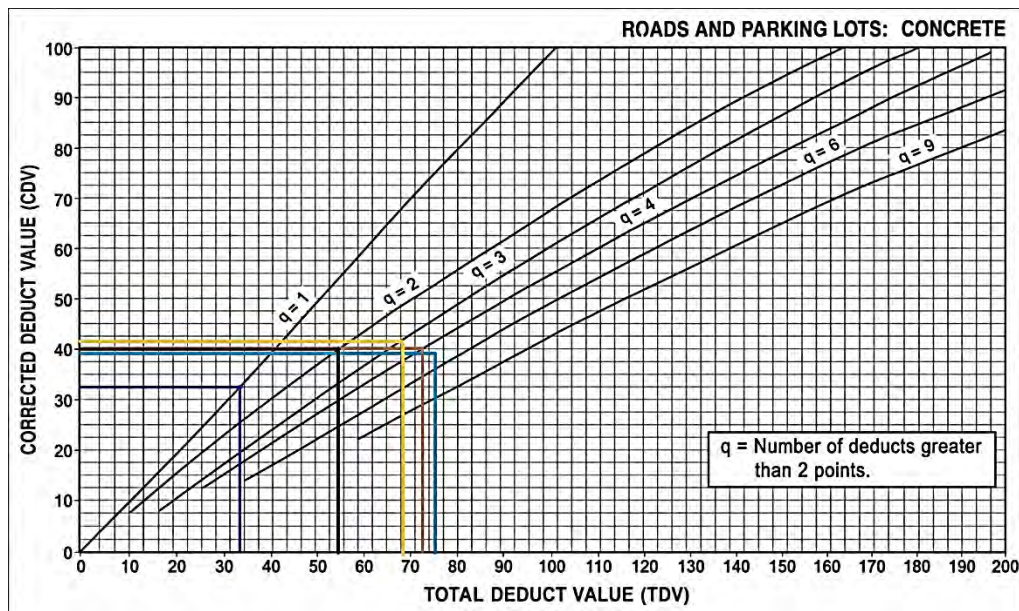
Daño	Severidad	Cantidades Parciales				total	Densidad(%)	Valor deducido	
22	L	2.00	2.00	0.00	2.00	6.00	30.00	25.00	Número de valores deducidos
28	L	11.00	0.00	0.00	0.00	11.00	55.00	20.00	
29	M	6.00	0.00	0.00	0.00	6.00	30.00	19.00	
31	L	60.00	0.00	0.00	0.00	60.00	300.00	5.00	valor deducido mas alto
39	L	7.00	0.00	0.00	0.00	7.00	35.00	7.00	
									25.00
									Número Máximo de VD(m)
									$m = 1 + \frac{9}{98}(100 - HDV) \leq 10$
generar igual cantidad de filas							7.89	<=10	

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

4.10.2.2 Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV U. M. N.º 07

Figura 39.

Abaco Adaptado de Vásquez Varela,2002



Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

Tabla 27.*Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM07*

NRO	Valores Deducidos					Valor Deducido Total (VDT)	q	Valor Deducido Corregido
1	25.00	20.00	19.00	7.00	5.00	76.00	5	39.00
2	25.00	20.00	19.00	7.00	2.00	73.00	4	42.00
3	25.00	20.00	19.00	2.00	2.00	68.00	3	44.00
4	25.00	20.00	2.00	2.00	2.00	51.00	2	40.00
5	25.00	2.00	2.00	2.00	2.00	33.00	1	33.00
VALOR MAXIMO DE (VDC)								44.00
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)						PCI= 100 – Max. VDC)		
						PCI=	56.00	PAVIMENTO BUENO

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

El máximo CDV es el mayor de los CDV, es decir 44

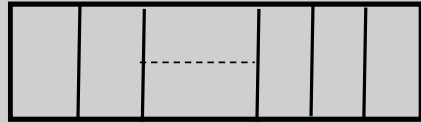
$$PCI_{07} = 100 - 44 = 56$$

Rango de clasificación del pavimento rígido

Rangos de Calificación del PCI	
Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-16	Muy malo
10-0	Fallado

La unidad de muestra N.º 07, perteneciente a la Sección 37 del Tramo 01, presenta un PCI de 56, lo que indica que la condición del pavimento es **pavimento bueno**

4.10.3 Unidades de Muestreo para Pavimento Rígido N.º 08

Hoja de Registro-Unidad de Muestreo (U.M)												8		
HOJA DE REGISTRO DE UNIDAD DE MUESTREO MÉTODO DE PCI (ASTM D6433)														
PCI-02. AVENIDA CON PAVIMENTO RÍGIDO EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO TRAMO: 1 SECCIÓN: 43 FECHA: 07 DE JULIO DEL 2025 UNIDAD DE MUESTRA: 8 INSPECCIONADO POR: Equipo de Campo N° DE LOSAS 20 Unds										MÉTODO PCI PAVEMENT CONDITION INDEX ESQUEMA  3*20 ← dirección de inspección				
PROYECTO: Evaluación del Pavimento Rígido Mediante PCI														
21: Levantamiento /Pandeo			26: Deterioro del sello de junta				30: Parche pequeño Menor a 1,5				35: Cruce de Vía Férrea			
22: Grieta de esquina			27: Desnivel carril / Berma				31: pulimento de agregados				36: Mapa de Grietas, Craquelado			
23: Losa Dividida			28: Grietas longitudinales, transversales y				32: Desprendimientos por				37: Grietas de Retracción			
24: grietas de Durabilidad "D"			29: parche grande y cortes para instalaciones mayor				33: Bombeo				38: Descascaramiento de Esquina			
25: Escala							34: Punzonamiento				39: Descascaramiento de junta			
C. Daño	Severidad	Cantidades Parciales										total	Densidad(%)	Valor deducido
22	L	7.00										7.00	35.00	28.00
28	L	8.00										8.00	40.00	18.00
29	L	1.00										1.00	5.00	2.00
29	M	1.00										1.00	5.00	3.00
30	L	2.00										2.00	10.00	2.00
39	L	3.00										3.00	15.00	4.00

Fuente: Elaboración Propia en Base a ASTM D6433

4.10.4 Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m) – UM N.º 08

Tabla 28.

Resumen de la Hoja de Unidades de Muestreo – UM08

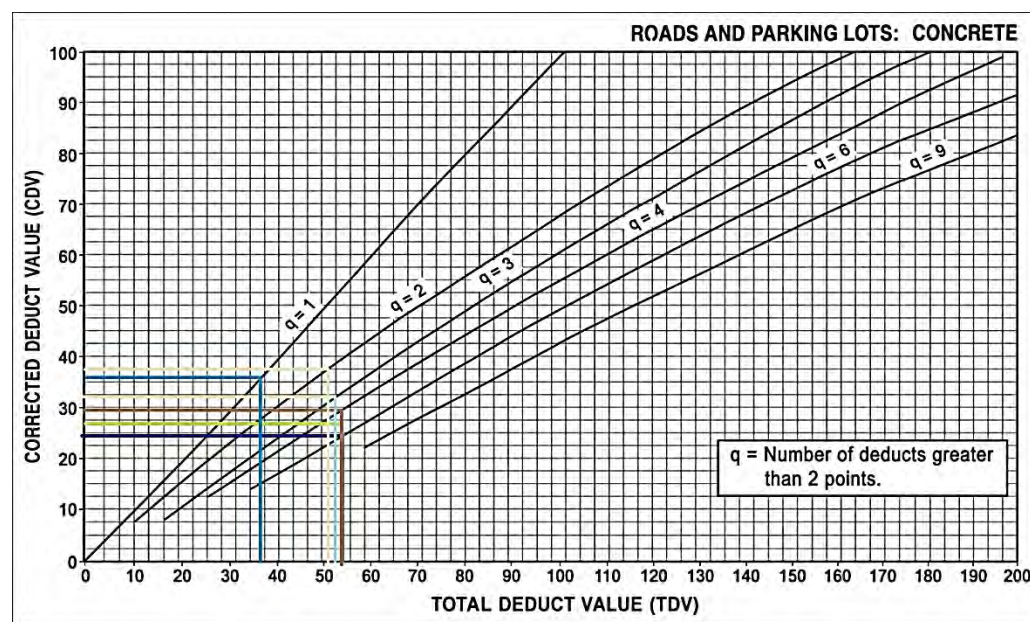
Daño	Severidad	Cantidades Parciales	total	Densidad(%)	Valor deducido	
22	L	7.00	7.00	35.00	28.00	Número de valores deducidos >2(a)
28	L	8.00	8.00	40.00	18.00	
29	L	1.00	1.00	5.00	2.00	
29	M	1.00	1.00	5.00	3.00	
30	L	2.00	2.00	10.00	2.00	valor deducido mas alto
39	L		0.00	0.00	4.00	
			0.00	0.00	0.00	
			0.00	0.00	0.00	28.00
						Número máximo de VD(m)
						$m = 1 + \frac{9}{98} (100 - HDV) \leq 10$
generar igual cantidad de filas				7.61		≤ 10

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

4.10.4.1 Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV – UM N.º 07

Figura 40.

Abaco Adaptado de Vásquez Varela, 2002



Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

Tabla 29.

Proceso de Iteración – Máximo CDV- UM08

NRO	VALORES DEDUCIDOS					VALOR DEDUCIDO	q	VALOR DEDUCIDO
						TOTAL(VDT)		CORREGIDO
1	28.00	18.00	4.00	3.00	2.00	55.00	6	29.00
2	28.00	18.00	4.00	3.00	2.00	55.00	5	28.00
3	28.00	18.00	4.00	3.00	2.00	55.00	4	32.00
4	28.00	18.00	4.00	2.00	2.00	54.00	3	35.00
5	28.00	18.00	2.00	2.00	2.00	52.00	2	41.00
6	28.00	2.00	2.00	2.00	2.00	36.00	1	36.00
VALOR MAXIMO DE (VDC)								41.00
PCI= 100 – Max.VDC)								
PCI=		59.00		PAVIMENTO RÍGIDO BUENO				

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

El máximo CDV es el mayor de los CDV, es decir 41

$$PCI_{08} = 100 - 41 = 59$$

La unidad de muestra N.º 08, perteneciente a la Sección 43 del Tramo 01, presenta un PCI de 59, lo que indica que la condición del pavimento es **pavimento bueno**

Tabla 30.

Resumen de la Evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI)

Cuadro Resumen de los Tramos Evaluados Mediante PCI							
Tipo de Pavimento	Unidad de Muestreo (U.M.)	Progresivas (km)		Sección de Evaluación	PCI por Unidad de Muestreo	PCI Promedio	Clasificación
Pavimento Flexible	T12	inicio	7+102.00	Sección 69	5.00	16.50	Condición Muy mala
		fin	7+000.00				
	T11	inicio	6+490.75	Sección 61	7.00		
		fin	6+388.75				
	T10	inicio	5+851.88	Sección 55	21.00		
		fin	5+749.88				
Pavimento Rígido	T09	inicio	5+213.00	Sección 49	33.00	57.50	Condición Bueno
		fin	5+111.00				
	T08	inicio	4+644.50	Sección 43	59.00		
		fin	4+584.50				
	T07	inicio	3+700.50	Sección 37	56.00		
		fin	3+635.50				
Pavimento Flexible	T06	inicio	3+296.38	Sección 31	28.00	59.50	Condición Bueno
		fin	3+194.38				
	T05	inicio	2+657.50	Sección 25	84.00		
		fin	2+555.50				
	T04	inicio	2+018.69	Sección 19	54.00		
		fin	1+916.63				
T03	inicio	1+379.75	Sección 13	66.00			
	fin	1+277.75					
T02	inicio	0+740.00	Sección 7	60.00			
	fin	0+638.00					
T01	inicio	0+202.00	Sección 2	65.00			
	fin	0+100.00					

Fuente: Elaboración propia en Base a ASTM D6433

En la Tabla 31 se presenta el resumen de la evaluación del pavimento mediante el Índice de Condición del Pavimento (PCI), de acuerdo con la metodología establecida en la ASTM D6433.

Los resultados evidencian una variación significativa en la condición superficial del pavimento a lo largo del tramo de estudio. En el primer sector de pavimento flexible se obtuvo un PCI promedio de 16.50, clasificándose en condición MUY MALA, lo que indica un alto nivel de deterioro superficial caracterizado por la presencia de fallas severas.

Por otro lado, el tramo correspondiente al pavimento rígido presenta un PCI promedio de 57.50, lo que corresponde a una condición BUENA, reflejando un comportamiento estructural y funcional más adecuado en comparación con el pavimento flexible.

Asimismo, en el segundo sector de pavimento flexible se obtuvo un PCI promedio de 59.50, clasificándose también en condición BUENA, lo cual evidencia una mejora en la calidad superficial del pavimento en este tramo.

En general, los resultados permiten identificar zonas críticas con alto grado de deterioro, así como tramos con condiciones aceptables. Estas diferencias en la condición del pavimento resultan relevantes para el análisis de su influencia en otros parámetros de desempeño, particularmente en la rugosidad superficial y en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el tránsito vehicular en el tramo de estudio.

4.11. Determinación del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) por Subtramos

El Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) constituye un indicador funcional empleado para evaluar el nivel de servicio de un pavimento desde la perspectiva del usuario, considerando principalmente la comodidad y calidad de rodadura.

El PSI adopta valores comprendidos entre 0 y 5, donde: Los valores cercanos a 5 representan una condición funcional excelente, mientras que valores próximos a 0 indican un pavimento fallado o intransitable.

El concepto de serviciabilidad fue desarrollado durante el AASHO Road Test, a partir del cual se establecieron modelos empíricos que relacionan la condición funcional del pavimento con variables físicas de deterioro superficial.

La ecuación empleada para pavimentos flexibles, es:

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + SV) - 1.38 RD^2 - 0.01(C + P)^{0.5}$$

Para pavimentos rígidos:

$$PSI = 5.41 - 1.80 \log(1 + SV) - 0.09(C + P)^{0.5}$$

Donde:

PSI: índice de serviciabilidad del pavimento.

SV: variación de la pendiente longitudinal (asociada al IRI)

RD: profundidad del ahuellamiento (m)

C: porcentaje de agrietamiento (%)

P: porcentaje de parcheo (%)

4.11.1 Criterios para la determinación del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

En la presente investigación, para la estimación del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), se adoptaron los siguientes criterios metodológicos:

Aproximación del Parámetro SV: El parámetro SV fue estimado a partir del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) obtenido mediante mediciones con rugosímetro tipo Merlin.

Si bien SV e IRI no representan exactamente la misma variable, ambos describen la irregularidad longitudinal del perfil del pavimento, por lo que su equivalencia aproximada constituye una práctica aceptada cuando no se dispone de mediciones directas de variación de pendiente longitudinal.

Determinación del Ahuellamiento (RD): La profundidad de ahuellamiento fue obtenida mediante mediciones directas en campo utilizando regla metálica y flexómetro.

Se registraron niveles de severidad baja, media, alta.

Con el fin de obtener un valor representativo, se aplicó un promedio ponderado por área:

$$RD = \frac{\sum(RD_i \cdot A_i)}{\sum A_i}$$

Este procedimiento permitió representar adecuadamente la deformación superficial dentro de cada subtramo evaluado.

Determinación del Parámetro (C + P): Los parámetros de agrietamiento y parcheo fueron obtenidos a partir de la evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI).

Las fallas lineales fueron convertidas a área equivalente adoptando un ancho representativo de 0.10 m, con el objetivo de: homogenizar unidades de análisis, integrar distintos tipos de deterioro superficial, garantizar coherencia en el cálculo del PSI.

Las fallas deben expresarse en términos de área (%), con la finalidad de mantener la consistencia en las unidades de análisis. Por ende, las fisuras medidas linealmente fueron convertidas a un área equivalente mediante la adopción de un ancho representativo de 0.10 m (10 cm). Este valor fue adoptado como un criterio técnico de aproximación ampliamente utilizado en evaluaciones superficiales de pavimentos.

La adopción de este ancho convencional permite estimar de manera razonable la influencia de las fisuras sobre la superficie del pavimento, facilitando la integración de este tipo de deterioro con otras fallas superficiales evaluadas en términos de área, como piel de cocodrilo y el parcheo. Asimismo, este procedimiento garantiza la homogeneización de las unidades de medición, permitiendo la correcta incorporación de las distintas formas de deterioro dentro del cálculo del parámetro (C + P) y, en consecuencia, en la estimación del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI).

Los criterios adoptados permitieron integrar información proveniente de: Evaluación superficial (PCI), rugosidad longitudinal (IRI), logrando una estimación coherente del comportamiento funcional del pavimento en los subtramos analizados.

4.12. Cálculo del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) en pavimento Flexible

Para el presente estudio, el cálculo del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) se realizó en cada uno de los subtramos evaluados, empleando la ecuación correspondiente a pavimentos flexibles, desarrollada a partir del (AASHO Road Test)

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log_{10}(1 + SV) - 1.38 RD^2 - 0.01(C + P)^{0.5}$$

Donde el parámetro SV fue aproximado mediante el valor del IRI medido dentro de la progresiva donde se ejecutó la evaluación PCI.

En el presente estudio, el PCI fue evaluado cada 100 m, mientras que el IRI fue obtenido en tramos de 400 m, por lo que se adoptaron los valores de rugosidad correspondientes a cada sector coincidente con la unidad de muestreo PCI.

El procedimiento completo se muestra detalladamente para el Subtramo 12, aplicándose posteriormente la misma metodología a los subtramos restantes.

4.12.1 Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 12

Datos:

IRI $\approx$ SV = 7.9400

Ahuellamiento

Tabla 31.

Registro de mediciones de ahuellamiento – subtramo 12

Severidad	RD (m)	Área (m ²)
Baja	0.012	3.48
Media	0.023	48.1
Alta	0.12	84.3

Fuente: Elaboración propia

Promedio ponderado del ahuellamiento

$$RD = \frac{\sum(RD_i \cdot A_i)}{\sum A_i}$$

$$RD = \frac{0.012 \cdot 3.48 + 0.023 \cdot 48.10 + 0.12 \cdot 84.30}{3.48 + 48.10 + 84.30} = 0.083$$

$$RD = 0.083$$

$$C+P = 25.29 \%$$

cálculo del PSI

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log_{10}(1 + 7.94) - 1.38 (0.083)^2 - 0.01(25.29)^{0.5}$$

$$PSI = 3.12$$

El Subtramo 12 presenta un valor de $PSI = 3.12$, lo cual corresponde a una condición de serviciabilidad REGULAR, de acuerdo con los rangos establecidos para la evaluación funcional del pavimento

Nota: Los subtramos restantes, correspondientes tanto a pavimentos flexibles como rígidos, fueron evaluados siguiendo el mismo procedimiento metodológico descrito para el Subtramo 12, empleando en cada caso los valores específicos de los parámetros SV, RD y (C + P).

4.12.2 Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 11

Datos:

$$SV = 6.53$$

$$RD = 0.13$$

$$C+P = 6.17\%$$

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + 6.53) - 1.38 (0.13)^2 - 0.01(6.17)^{0.5}$$

$$PSI = 3.33$$

El subtramo 11 presenta una condición REGULAR

4.12.3 Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 10

Datos:

$$SV = 6.76$$

$$RD = 0.10$$

$$C+P = 8.33\%$$

$$PSI = 5.03 - 1.91\log_{10}(1 + 6.76) - 1.38 (0.10)^2 - 0.01(8.33)^{0.5}$$

$$PSI = 3.29$$

El subtramo 10 presenta una condición REGULAR

4.12.4 *Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 09*

Datos:

$$SV = 7.448$$

$$RD = 0.10$$

$$C+P = 2.49\%$$

$$PSI = 5.03 - 1.91\log_{10}(1 + 7.448) - 1.38 (0.10)^2 - 0.01(2.49)^{0.5}$$

$$PSI = 3.23$$

El subtramo 09 presenta una Condición de **pavimento regular**.

4.12.5 *Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 06*

Datos:

$$SV = 3.21$$

$$RD = 0$$

$$C+P = 34.56\%$$

$$PSI = 5.03 - 1.91\log_{10}(1 + 3.21) - 1.38 (0.00)^2 - 0.01(34.56)^{0.5}$$

$$PSI = 3.78$$

La condición del pavimento flexible del subtramo 06 es BUENA

4.12.6 *Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 05*

Datos:

$$SV = 3.21$$

$$RD = 0$$

$$C+P = 34.56\%$$

$$PSI = 5.03 - 1.91\log(1 + 3.21) - 1.38 (0.00)^2 - 0.01(34.56)^{0.5}$$

$$PSI = 3.78$$

La condición del pavimento flexible del subtramo 05 es BUENA

4.12.7 Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 04

Datos:

$$SV = 2.84$$

$$RD = 0.05$$

$$C+P = 2.84\%$$

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + 2.84) - 1.38 (0.05)^2 - 0.01(2.84)^{0.5}$$

$$PSI = 3.89$$

La condición del pavimento flexible del subtramo 04 es BUENA

4.12.8 Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 03

Datos:

$$SV = 2.81$$

$$RD = 0.05$$

$$C+P = 0\%$$

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + 2.81) - 1.38 (0.05)^2$$

$$PSI = 3.92$$

La condición del pavimento flexible del subtramo 03 es BUENA

4.12.9 Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 02

Datos:

$$SV = 2.74$$

$$RD = 0$$

$$C+P = 20.78 \%$$

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + 2.74) - 0.01(20.78)^{0.5}$$

$$PSI = 3.53$$

La condición del pavimento flexible del subtramo 02 es BUENA

4.12.10 Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 01

Datos:

$$SV = 1.90 \text{ m/km}$$

$$RD = 0$$

$$C+P = 4.60 \%$$

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log_{10}(1 + 1.90) - 1.38 (0.00)^2 - 0.01(4.60)^{0.5}$$

$$PSI = 3.67$$

La condición del pavimento flexible del subtramo 01 es BUENA

4.13. Cálculo del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) - pavimento Rígido

Para el presente estudio, el cálculo del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) se realizó en cada uno de los subtramos evaluados de pavimento rígido, empleando la ecuación desarrollada a partir del AASHO Road Test, correspondiente a este tipo de pavimento.

$$PSI = 5.41 - 1.80 \log(1 + SV) - 0.09(C + P)^{0.5}$$

La estimación siguió el mismo criterio metodológico aplicado en pavimentos flexibles, utilizando valores de IRI representativos de las progresivas donde se realizó la evaluación superficial mediante PCI

4.13.1 Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 08

Datos:

$$SV = 3.994$$

$$C+P = 65.50 \%$$

$$PSI = 5.41 - 1.80 \log(1 + SV) - 0.09(C + P)^{0.5}$$

$$PSI = 3.42$$

El Subtramo 08 presenta un valor de $PSI = 3.42$, lo cual corresponde a una condición de serviciabilidad BUENA, de acuerdo con los rangos establecidos para la evaluación funcional del pavimento rígido.

4.13.2 Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) del Subtramo 07

Datos:

$$SV = 3.2320$$

$$C+P = 49.0 \%$$

$$PSI = 5.41 - 1.80 \log(1 + 3.232) - 0.09(49)^{0.5}$$

$$PSI = 3.65$$

El Subtramo 08 presenta un valor de $PSI = 3.65$, lo cual corresponde a una condición de serviciabilidad BUENA, de acuerdo con los rangos establecidos para la evaluación funcional del pavimento rígido.

Tabla 32.

Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) por subtramos evaluados

Subtramo	Tipo de Pavimento	SV	RD (m)	C+P (%)	PSI	Clasificación
12	Flexible	7,94	0,083	25,29	3,12	Regular
11		6,53	0,13	6,17	3,33	
10		6,76	0,1	8,33	3,29	
9		7,45	0,1	2,49	3,23	
8	Rígido	3,99		65,5	3,42	Buena
7		3,23		49	3,65	
6		3,21	0	34,56	3,78	
5	Flexible	3,21	0	34,56	3,78	Buena
4		2,84	0,05	2,84	3,89	
3		2,81	0,05	0	3,92	
2		2,74	0	20,78	3,53	
1		1,90	0	4,6	3,67	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 33 presenta el resumen del Índice de Serviciabilidad Presente calculado para los subtramos comprendidos entre el 1 y el 12, donde previamente se realizó la evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI).

Los valores de PSI fueron determinados empleando los parámetros funcionales obtenidos en campo, integrando información de rugosidad longitudinal (IRI), deformación

superficial por ahuellamiento (RD) y porcentaje de deterioro superficial expresado mediante el parámetro combinado (C + P).

Cabe señalar que la evaluación PCI fue desarrollada cada 100 m, mientras que los registros de IRI corresponden a segmentos de 400 m; por ello, para cada subtramo se adoptaron los valores de rugosidad representativos dentro de la progresiva coincidente con la unidad de evaluación superficial.

4.13.3 *Ajuste Funcional del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)*

Aunque el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) obtenido mediante las ecuaciones derivadas del AASHO Road Test permite evaluar la condición funcional del pavimento considerando diversos tipos de deterioro superficial, el objetivo general de la presente investigación se orienta a determinar la pérdida de serviciabilidad del pavimento y su relación con las concentraciones estimadas de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el tránsito vehicular.

Diversos estudios en ingeniería vial establecen que la rugosidad longitudinal, representada mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), constituye el parámetro funcional que mejor describe el comportamiento operativo del tránsito vehicular, debido a su influencia directa en:

La calidad de rodadura, la estabilidad de operación vehicular, las vibraciones inducidas al vehículo, y la condición funcional del sistema pavimento-vehículo. En concordancia con este enfoque, se realizó un ajuste funcional del Índice de Serviciabilidad Presente, estimando el PSI a partir del IRI mediante una formulación empírica simplificada, ampliamente empleada en estudios de evaluación funcional del pavimento.

Para tal efecto, se utilizó la ecuación propuesta por Dujisin y Arroyo, expresada como:

$$PSI = 5.85 - 1.68 \times IRI^{0.5},$$

Donde:

PSI: Índice de Serviciabilidad Presente.

IRI: Índice de Rugosidad Internacional (m/km).

El PSI obtenido mediante esta formulación se emplea como parámetro complementario para analizar la variación de la serviciabilidad a lo largo de los subtramos evaluados y establecer su relación con las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) asociadas a las condiciones de operación del tránsito.

Tabla 33.

Determinación del PSI en función del IRI a lo largo del tramo evaluado

Tramo	Progresivas (m)	IRI (m/km)	IRI Prom. (m/km)	PSI	PSI Prom.	Clasificación
1	7 + 200 - 6 + 800	7,950		1,11		
	6 + 800 - 6 + 400	6,351		1,62		
	6 + 400 - 6 + 000	5,467		1,92		
	6 + 000 - 5 + 600	6,770	6,625	1,48	1,53	MALA
	5 + 600 - 5 + 200	6,181		1,67		
	5 + 200 - 4 + 800	7,449		1,26		
	4 + 800 - 4 + 644	6,209		1,66		
	4 + 644 - 4 + 400	3,995		2,72		
	4 + 400 - 4 + 000	3,221	3,483	3,17	2,91	REGULAR
	4 + 000 - 3 + 635	3,232		2,83		
	3 + 635 - 3 + 600	1,079		4,10		
	3 + 600 - 3 + 200	3,214		2,84		
	3 + 200 - 2 + 800	2,764		3,06		
	2 + 800 - 2 + 800	1,606		3,72		
	2 + 400 - 2 + 000	2,492	2,947	3,20	3,02	BUENA
	2 + 000 - 1 + 600	2,843		3,02		
	1 + 600 - 1 + 200	2,814		3,03		
	1 + 200 - 0 + 800	3,888		2,54		
	0 + 800 - 0 + 400	2,74		2,19		
	0 + 400 - 0 + 000	1,90		2,48		

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 32 presenta la estimación del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) calculado a partir del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) en las diferentes progresivas del tramo evaluado de la avenida La Cultura. Los valores de IRI fueron obtenidos mediante la

medición de la rugosidad longitudinal del pavimento, permitiendo caracterizar la calidad de rodadura existente a lo largo del corredor vial.

A partir de los valores registrados de IRI, se determinó el PSI mediante la ecuación funcional adoptada para el presente estudio, la cual permite expresar el nivel de serviciabilidad del pavimento en función de su condición superficial. Este procedimiento facilita la evaluación continua de la condición funcional del pavimento, considerando la percepción del usuario y las condiciones reales de operación vehicular.

Con el propósito de obtener una representación más uniforme del comportamiento del pavimento, los resultados fueron organizados por sectores homogéneos, calculándose valores promedio tanto de IRI como de PSI. Dichos valores permitieron establecer la clasificación funcional del pavimento en categorías de condición mala, regular y buena, evidenciando la variabilidad de la condición superficial a lo largo del tramo analizado.

Se observa que los sectores con mayores valores de rugosidad presentan menores niveles de serviciabilidad, lo cual refleja una disminución de la calidad de rodadura y condiciones menos favorables para el desplazamiento vehicular. Por el contrario, en los tramos donde el IRI registra valores menores, el pavimento muestra un mejor nivel de servicio, asociado a una circulación más uniforme y estable.

La determinación del PSI en función del IRI constituye un indicador funcional representativo del comportamiento operativo del tránsito, sirviendo como base para el análisis posterior orientado a evaluar la pérdida de serviciabilidad del pavimento y su relación con las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el tránsito vehicular.

4.13.4 Índice de Serviciabilidad (PSI) Promedio del Pavimento

Tramo (1 – 7): Pavimento Flexible: $PSI_{prom} = 1.530$

Tramo (7 – 9): Pavimento Rígido: $PSI_{prom} = 2.910$

Tramo (9 – 18) : Pavimento Flexible: $PSI_{prom} = 3.020$

En términos generales, los resultados obtenidos mediante el rugosímetro MERLIN evidencian una variabilidad significativa en la condición funcional del pavimento a lo largo del tramo de estudio. Los sectores con mayor rugosidad coinciden con zonas de mayor flujo vehicular y presentan condiciones menos favorables para una circulación eficiente, lo cual se traduce en mayores esfuerzos de aceleración, desaceleración y tiempos de recorrido. Estos aspectos resultan relevantes para el análisis posterior de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), dado que un mayor nivel de rugosidad del pavimento influye negativamente en la condición vehicular y en el incremento de emisiones contaminantes.

4.14. Evaluación de las Concentraciones de Dióxido de Carbono (CO₂)

La evaluación del dióxido de carbono (CO₂) desarrollada en la presente investigación se realizó mediante un enfoque indirecto, basado en la medición de concentraciones ambientales expresadas en partes por millón (ppm), registradas en puntos representativos del tramo de estudio.

Los valores obtenidos corresponden a concentraciones de CO₂ presentes en el aire ambiente y no a mediciones directas de emisiones vehiculares en fuente. En ese sentido, los registros fueron utilizados con la finalidad de caracterizar el comportamiento espacial y temporal de las concentraciones de dióxido de carbono dentro del corredor vial evaluado.

Este enfoque permitió identificar variaciones en los niveles de concentración asociadas a las condiciones operacionales del tránsito vehicular y al estado funcional del pavimento, representado mediante indicadores como el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), el Índice de Condición del Pavimento (PCI), el ahuellamiento y el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI).

De esta manera, las concentraciones ambientales de CO₂ constituyen un indicador complementario para evaluar la influencia conjunta del flujo vehicular y de las condiciones superficiales del pavimento sobre el comportamiento ambiental del entorno vial.

4.14.1 Registro de concentraciones de CO₂ y Aforo Vehicular

Para la medición de CO₂ se empleó un sensor portátil basado en tecnología NDIR (Non-Dispersive Infrared), modelo AZ7755, el cual permite registrar en tiempo real la concentración de CO₂, temperatura y humedad relativa.

Si bien el equipo está diseñado principalmente para estudios de calidad de aire interior (IAQ), en la presente investigación se utilizó con fines comparativos y exploratorios, permitiendo evaluar variaciones relativas de CO₂ bajo diferentes condiciones de tránsito y la condición del pavimento.

Las mediciones se realizaron con una frecuencia de 1 registro por segundo, garantizando alta resolución temporal.

De manera simultánea, el aforo vehicular fue registrado mediante grabación de video en posición elevada, permitiendo la posterior cuantificación y clasificación del tránsito.

Figura 41.

Equipos de medición y registro de CO₂ empleados en el trabajo de campo



Fuente: Elaboración propia

Las observaciones de campo se desarrollaron durante dos etapas de monitoreo comprendidas entre el 07 y el 20 de octubre de 2025. En una primera etapa, las evaluaciones se realizaron durante tres días representativos de la semana: martes, jueves y sábado,

correspondientes a los días 07, 09 y 11 de octubre de 2025, seleccionados debido a que reflejan distintos patrones de demanda vehicular urbana.

Posteriormente, en una segunda etapa, las mediciones continuaron de manera consecutiva entre los días 12 al 20 de octubre de 2025, manteniendo la misma metodología de evaluación tanto para el registro de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) como para el aforo vehicular.

En cada jornada de monitoreo se efectuaron tres sesiones diarias en horarios de mayor intensidad de tránsito vehicular, correspondientes a los periodos mañana, mediodía y tarde, con la finalidad de representar adecuadamente la variabilidad temporal del flujo vehicular y de las concentraciones ambientales de CO₂ presentes en el tramo de estudio.

4.14.2 Horarios de monitoreo

Las sesiones de monitoreo se desarrollaron en los siguientes horarios, correspondientes a los periodos de mayor intensidad de tránsito vehicular:

Mañana: 7:30 a.m. – 9:00 a.m.

Medio día: 12:30 p.m. – 2:00 p.m.

Tarde: 5:30 p.m. – 7:00 p.m.

Durante cada sesión, el sensor de CO₂ registró de manera continua las concentraciones ambientales de dióxido de carbono, mientras que el aforo vehicular fue determinado posteriormente mediante la revisión y procesamiento de los registros de video obtenidos en campo.

En una primera etapa, el monitoreo se realizó durante tres días representativos de la semana (martes, jueves y sábado), correspondientes a los días 07, 09 y 11 de octubre de 2025, con la finalidad de evaluar distintos patrones de comportamiento vehicular. Posteriormente, las mediciones continuaron de manera consecutiva entre los días 12 y 20 de octubre de 2025, manteniéndose la misma metodología de evaluación para el registro de las concentraciones ambientales de CO₂ y del aforo vehicular en el tramo de estudio.

4.14.3 *Ubicación de los puntos de medición de concentraciones de CO₂*

El registro de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) se efectuó en tres puntos representativos del tramo de estudio, seleccionados considerando la condición funcional del pavimento, las características operacionales del tránsito vehicular y su correspondencia con las progresivas evaluadas durante la determinación del PCI, IRI y PSI. La ubicación de los puntos permitió relacionar las características superficiales del pavimento, tales como rugosidad, fisuración y ahuellamiento, con el comportamiento operativo del tránsito y las variaciones observadas en las concentraciones ambientales de CO₂.

Los puntos de medición fueron definidos de la siguiente manera:

➤ **Primer punto de registro** (Tramo deteriorado o en mala condición).

Ubicado entre el paradero Enaco del distrito de San Sebastián, comprendido aproximadamente entre la progresiva Km 7+102, coincidente con los subtramos evaluados mediante PCI e IRI que presentan menores niveles de serviciabilidad. Este sector se caracteriza por evidenciar deterioro superficial significativo, presencia de fisuración, irregularidad longitudinal y zonas con ahuellamiento que generan pérdida de uniformidad de la carpeta de rodadura, condiciones que influyen en la reducción de la fluidez vehicular y en la variabilidad de la operación del tránsito.

➤ **Segundo punto de registro** (Tramo en buenas condiciones).

Localizado entre el cuarto paradero del distrito de San Sebastián, correspondiente aproximadamente a la progresiva Km 4+665. Este tramo presenta pavimento rígido con adecuada condición funcional, menor nivel de irregularidad superficial y ausencia significativa de ahuellamiento, favoreciendo mejores condiciones de rodadura y una operación vehicular más estable.

➤ **Tercer punto de registro** (Tramo en condición regular).

Ubicado en el entorno del Hospital Regional del Cusco, comprendido aproximadamente entre la progresiva Km 3+600, sector clasificado con condición funcional entre regular y buena, de

acuerdo con los valores obtenidos de PSI e IRI. En este tramo se observan deterioros superficiales de menor magnitud, presencia puntual de fisuras y niveles moderados de ahuellamiento, representando condiciones intermedias de serviciabilidad y operación vehicular.

El monitoreo de estos tres puntos de registro se realizó inicialmente durante los días 07, 09 y 11 de octubre de 2025, correspondientes a jornadas representativas de evaluación. Posteriormente, entre los días 12 y 20 de octubre de 2025, se efectuó el registro complementario en los demás puntos de evaluación considerados dentro del tramo de estudio, manteniéndose la misma metodología de medición para las concentraciones ambientales de CO₂ y el aforo vehicular.

La definición de los puntos de monitoreo garantizó la representatividad espacial del estudio, permitiendo comparar sectores con distintos niveles de serviciabilidad del pavimento y analizar su relación con las concentraciones ambientales de dióxido de carbono registradas durante el trabajo de campo.

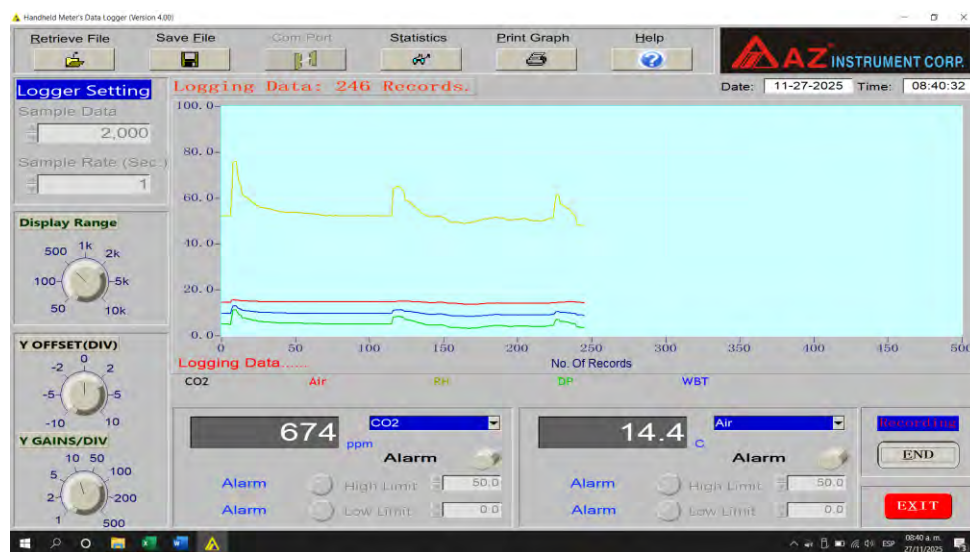
4.14.4 Almacenamiento de datos del Monitoreo de CO₂

El almacenamiento de los datos registrados se realizó mediante un software especializado HandHeld, adquirido conjuntamente con el sensor de medición, el cual permitió la descarga y el almacenamiento automático de los valores de concentración de CO₂, temperatura y humedad relativa en formato digital.

De manera complementaria, se incorporó un módulo de procesamiento Raspberry Pi, el cual funcionó como una minicomputadora intermedia encargada de recibir en tiempo real las lecturas del sensor y transmitir los datos hacia un dispositivo de almacenamiento externo. Esta integración tecnológica permitió asegurar la continuidad de los registros, minimizar el riesgo de pérdida de información y facilitar su posterior importación y análisis estadístico.

Figura 42.

Software HandHeld para el registro de datos de dióxido de carbono (CO₂)



Fuente: Elaboración propia

Este proceso se llevó a cabo con el apoyo técnico de estudiantes de la Escuela Profesional de Física, Electrónica juntamente con el Dr. Julio Warthon Ascarza del departamento investigación de física de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, quienes colaboraron en la configuración, programación y comunicación del sistema de adquisición de datos, garantizando la correcta sincronización entre los equipos y la calidad de los registros obtenidos.

Asimismo, con la finalidad de complementar las mediciones estacionarias, se realizó un recorrido dinámico a bordo de un vehículo de tránsito común, en el cual se instaló el sensor AZ7755, permitiendo registrar las variaciones espaciales de la concentración de CO₂ a lo largo de todo el tramo de estudio. Este recorrido se efectuó durante los tres periodos horarios establecidos (mañana, mediodía y tarde), lo que permitió analizar el comportamiento de las emisiones bajo condiciones reales de tránsito fluido y detenido.

Dicha actividad posibilitó la identificación de los sectores con mayores niveles de acumulación de gases, así como la verificación de la influencia de factores tales como la densidad vehicular, los tiempos de espera en intersecciones y la condición del pavimento en la

generación y dispersión del dióxido de carbono. Los datos obtenidos durante el recorrido dinámico fueron almacenados y analizados conjuntamente con los registros fijos, logrando una caracterización integral del comportamiento de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) en condiciones reales de operación vehicular.

Figura 43.

verificación y calibración en campo del equipo sensor, previo a la toma de datos en los puntos de muestreo del tramo de estudio



Fuente: elaboración propia

4.14.5 Procesamiento e Importación de Datos del Sistema de Monitoreo de CO₂

Los registros obtenidos mediante el sensor portátil AZ7755 y el sistema de adquisición implementado con Raspberry Pi fueron exportados en formato digital para su posterior procesamiento. La información fue transferida a Microsoft Excel, donde se realizó la organización inicial de la base de datos correspondiente a las mediciones de concentración de dióxido de carbono (CO₂), temperatura del aire y humedad relativa.

Debido a que el monitoreo se efectuó de manera continua durante diferentes jornadas y periodos horarios, los archivos generados presentaron un elevado número de registros sin una estructura previamente definida. Por tal motivo, fue necesario desarrollar un proceso de organización y depuración de la información.

Para este fin se empleó la herramienta Power Query de Microsoft Excel, la cual permitió integrar los archivos provenientes de las distintas sesiones de medición y ejecutar procesos de filtrado, clasificación y eliminación de registros duplicados. Mediante este procedimiento, los datos fueron estructurados considerando criterios homogéneos de análisis, agrupándose según fecha de medición, punto de monitoreo y periodo horario evaluado (mañana, mediodía y tarde).

A diferencia de metodologías basadas en valores promedio, en la presente investigación no se aplicó un promediado general de las mediciones. Esta decisión metodológica responde a que el promediado puede reducir la representatividad de eventos puntuales asociados a incrementos temporales de concentración de CO₂, los cuales se relacionan directamente con condiciones reales de operación del tránsito vehicular, tales como congestión, detenciones prolongadas e irregularidades en la superficie del pavimento.

En consecuencia, se realizó una selección técnica de registros representativos, conservando aquellos valores que reflejan variaciones significativas dentro del comportamiento real del tránsito. Este procedimiento permitió mantener la variabilidad natural de las mediciones y evitar la pérdida de información relevante para el análisis comparativo entre las concentraciones ambientales de CO₂, el flujo vehicular y el nivel de serviciabilidad del pavimento.

Como resultado, se obtuvo una base de datos depurada, ordenada y consistente, adecuada para el desarrollo del análisis estadístico y la interpretación de resultados dentro del marco de la investigación.

4.14.6 *Gráfico de Concentraciones de Dióxido de Carbono (CO₂) vs. Tiempo*

El análisis de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) se realizó mediante el monitoreo de tramos representativos de la avenida La Cultura, una de las principales vías urbanas del Cusco, caracterizada por una elevada demanda vehicular y diversas actividades comerciales, educativas y de transporte público.

Las mediciones se efectuaron los días martes 07, jueves 09 y sábado 11 de octubre de 2025, representando diferentes condiciones del tránsito urbano. Los tramos evaluados fueron:

07/10/2025 (martes): Paradero Enaco, pavimento flexible en mal estado.

09/10/2025 (jueves): Cuarto Paradero, pavimento rígido en buen estado.

11/10/2025 (sábado): Paradero del Hospital Regional del Cusco, pavimento flexible en condición regular-buena.

El monitoreo se realizó durante horarios de mayor intensidad vehicular:

mañana (7:30 a.m.–9:00 a.m.)

mediodía (12:30 p.m.–2:00 p.m.)

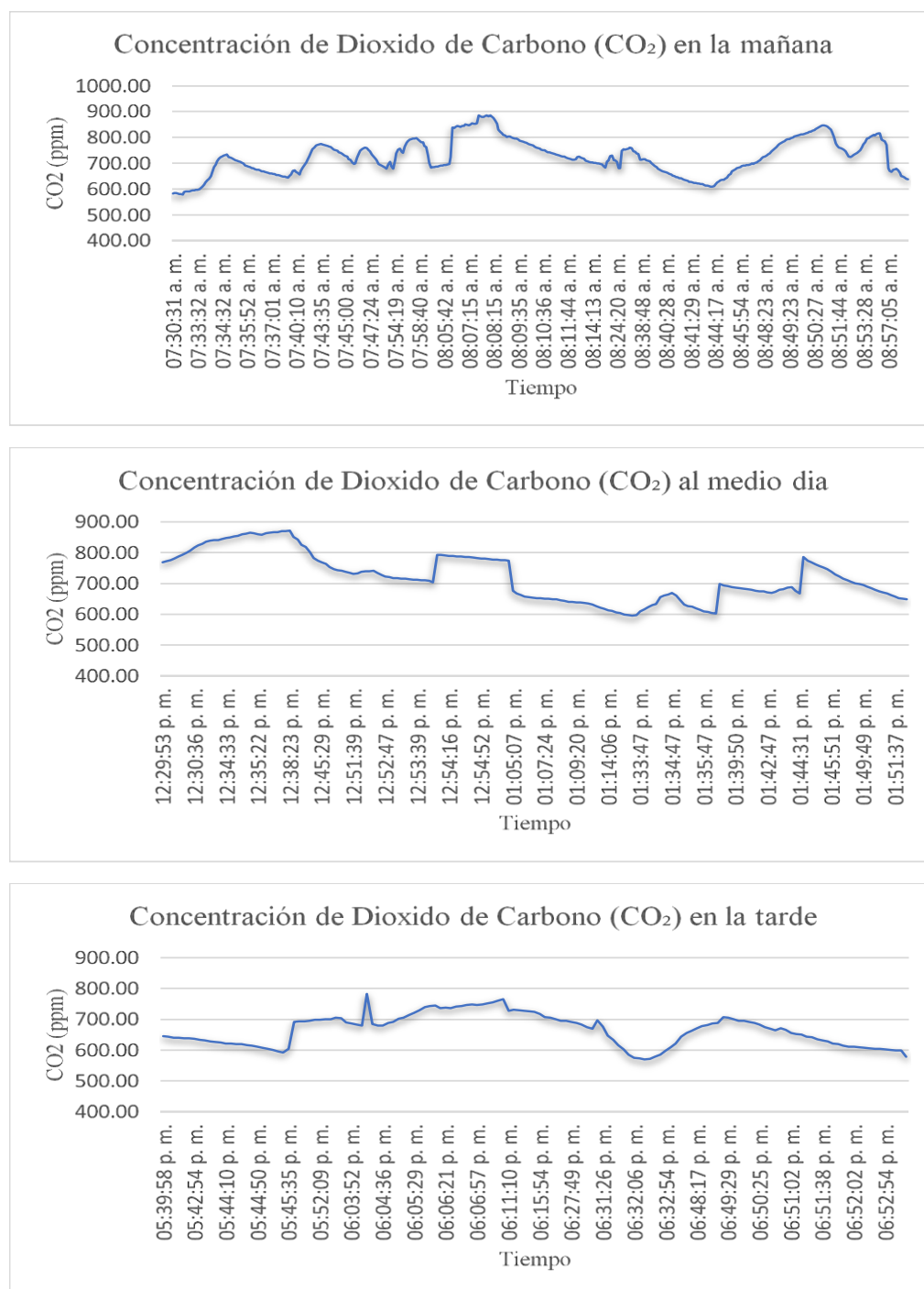
tarde (5:30 p.m.–7:00 p.m.)

Cada sesión tuvo una duración aproximada de 90 minutos, registrándose mediciones continuas mediante el sensor de CO₂, con una frecuencia de un dato por segundo.

Los registros obtenidos permitieron identificar las variaciones temporales de las concentraciones de CO₂ asociadas a la dinámica del tránsito, como congestiones, detenciones y cambios en la fluidez vehicular. Asimismo, el análisis comparativo permitió evaluar el co

mportamiento de las concentraciones de CO₂ considerando la condición funcional del pavimento y las actividades urbanas desarrolladas en la avenida La Cultura.

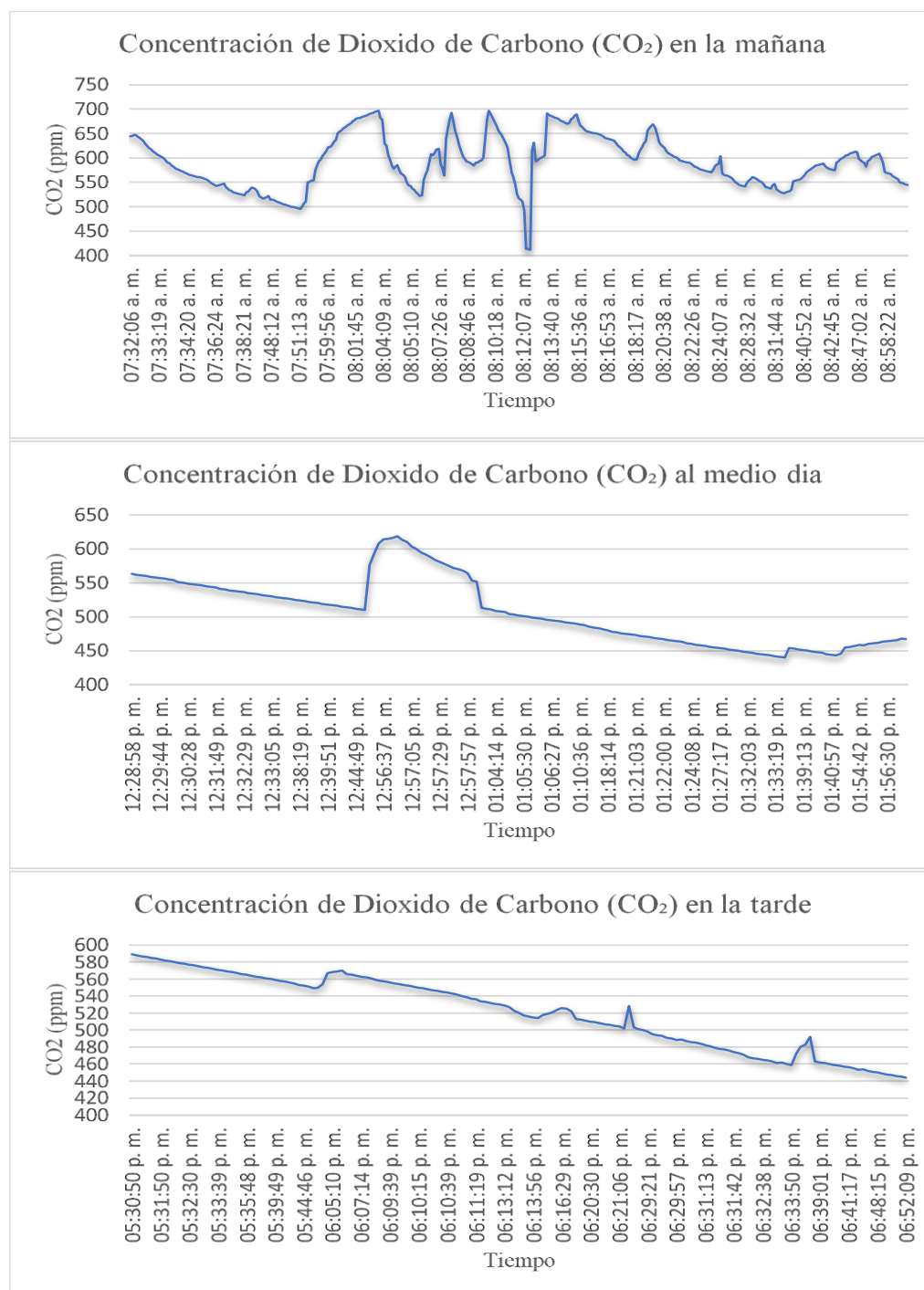
Figura 44. Variación horaria de las concentraciones ambientales de CO₂ en los periodos mañana, medio día y tarde del día martes 07/10/2025



La figura 44 muestra el comportamiento de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) registradas en el subtramo Paradero Enaco durante los periodos de monitoreo de mañana, mediodía y tarde del día martes. Las mediciones representan registros discretos asociados a las condiciones de circulación vehicular del tramo de estudio.

Figura 45.

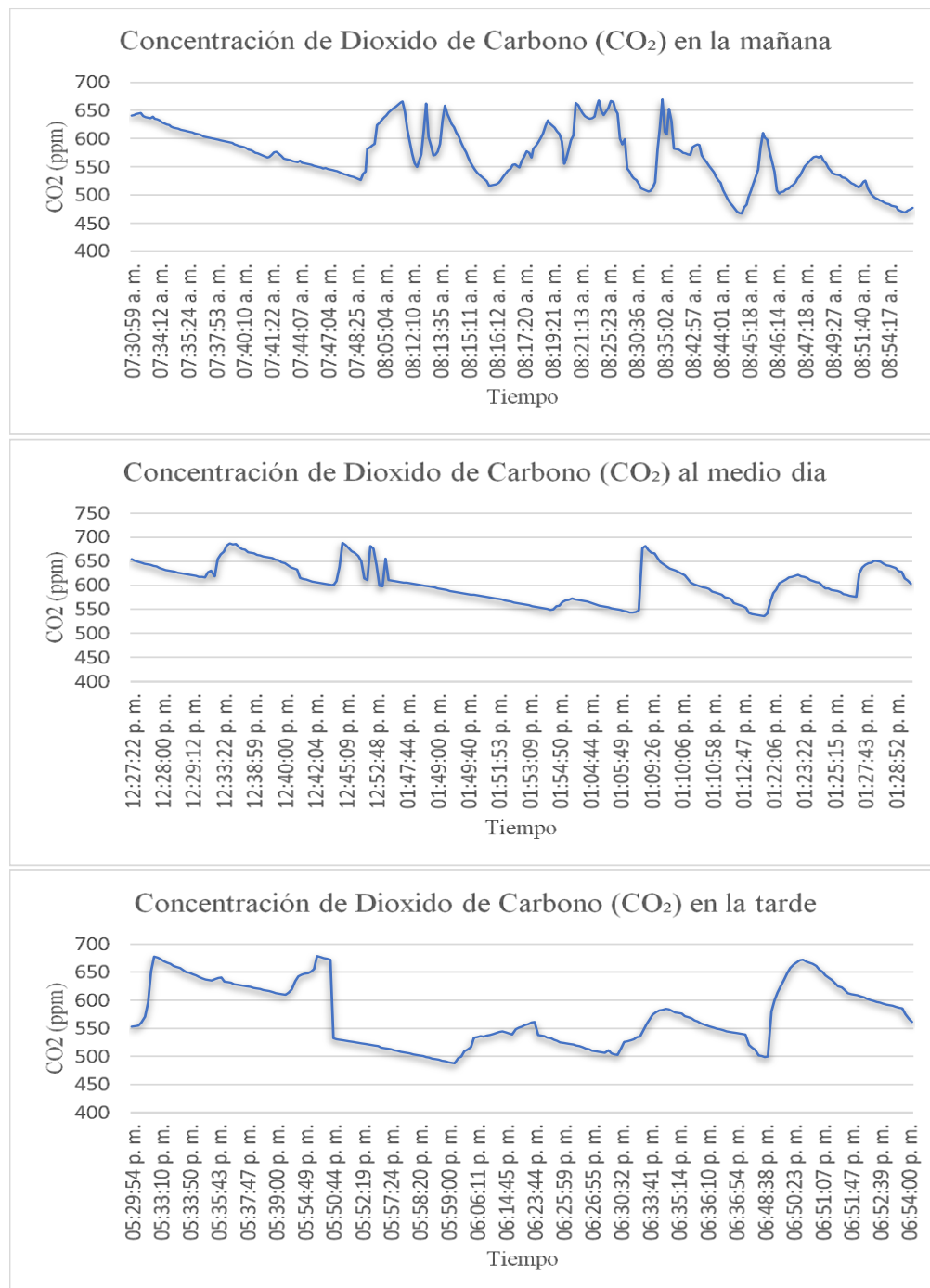
Variación horaria de las concentraciones ambientales de CO₂ en los periodos mañana, medio día y tarde del día jueves 09/10/2025



La figura 45 muestra el comportamiento de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) registradas en el subtramo correspondiente al Cuarto Paradero durante los periodos de monitoreo de mañana, medio día y tarde del día jueves.

Figura 46.

Variación horaria de las concentraciones ambientales de CO₂ en los periodos mañana, tarde y noche del día jueves 11/10/2025



La figura 46 muestra el comportamiento de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) registradas en el subtramo correspondiente al Hospital Regional del Cusco durante los periodos de monitoreo de mañana, medio día y tarde del día sábado.

4.14.7 *Análisis Temporal de las Concentraciones de CO₂ por Día de Monitoreo*

Con el propósito de analizar la evolución temporal de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), se desarrolló una evaluación individual de los registros obtenidos durante cada una de las jornadas de monitoreo efectuadas en el tramo de estudio. Este procedimiento permitió examinar la variabilidad diaria de las concentraciones de CO₂ en función de las condiciones reales de operación vehicular y de la condición funcional del pavimento presente en los diferentes sectores evaluados.

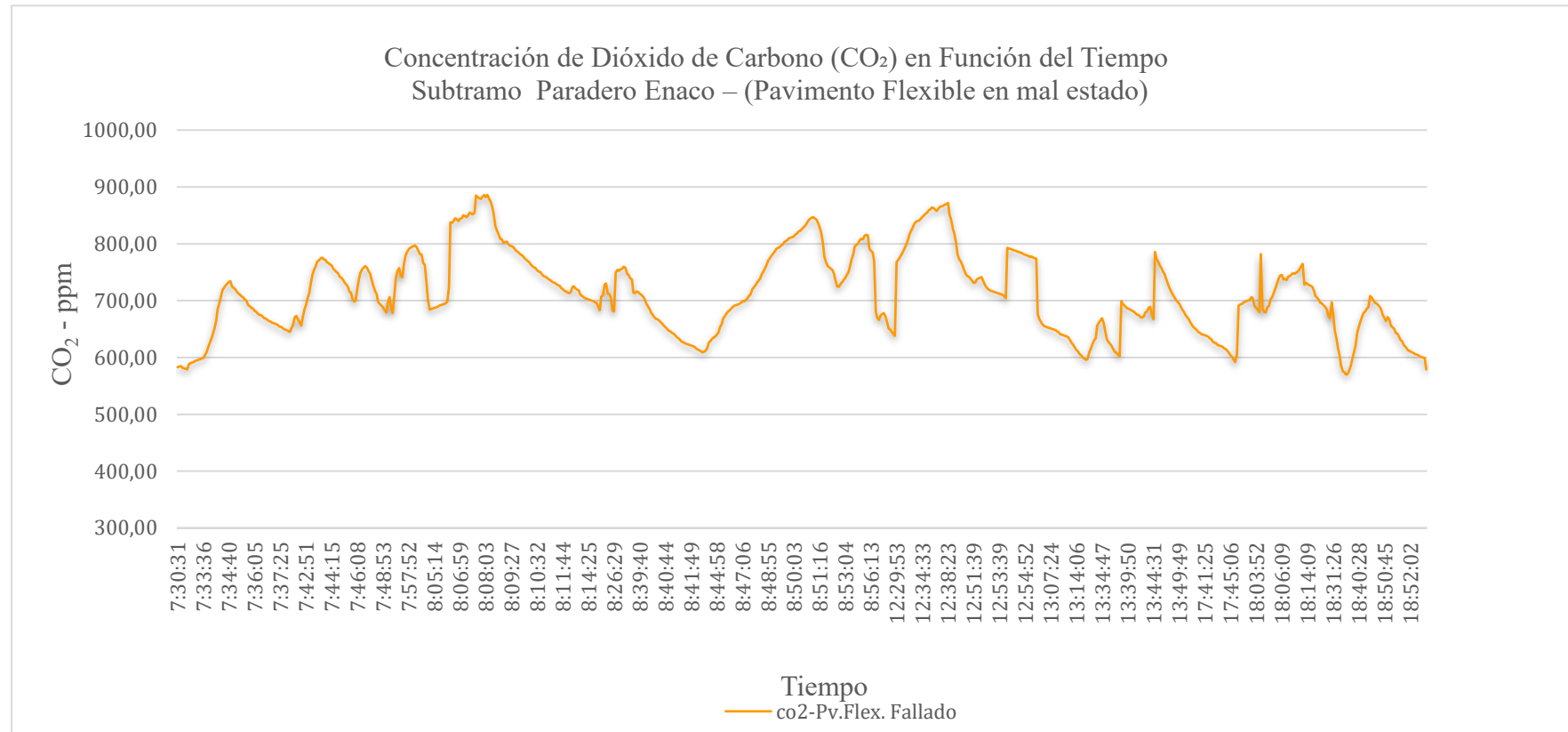
El análisis por jornada de monitoreo facilitó la identificación de tendencias temporales en las concentraciones ambientales de CO₂, evidenciándose incrementos y disminuciones asociados principalmente a la intensidad del flujo vehicular, los periodos de congestión, las detenciones propias de la dinámica urbana y las variaciones en la fluidez del tránsito. Asimismo, se consideró la influencia de la condición funcional y del nivel de serviciabilidad del pavimento, factores que condicionan el comportamiento operacional de los vehículos y, en consecuencia, la generación de emisiones contaminantes.

De manera complementaria, la evaluación permitió comparar el comportamiento de las concentraciones de CO₂ entre sectores con diferentes condiciones superficiales del pavimento, identificando que las zonas con mayor deterioro funcional presentan condiciones menos eficientes para la circulación vehicular, favoreciendo mayores concentraciones ambientales de dióxido de carbono.

En conjunto, este procedimiento permitió caracterizar el comportamiento ambiental del corredor vial bajo condiciones reales de operación urbana, proporcionando una base técnica para interpretar la relación existente entre la dinámica del tránsito vehicular, la condición funcional del pavimento y las variaciones de las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂) en el área de estudio.

Figura 47.

Concentraciones de Dióxido de Carbono (CO₂) en Función del Tiempo - día martes 07/10/2025



Fuente: Elaboración propia

Nota. Durante la jornada de monitoreo del día martes, se registró una temperatura promedio de 17,25 °C y una humedad relativa promedio de 51,13 % en los intervalos evaluados.

4.14.8 Interpretación de la variación horaria de las concentraciones de CO₂ – Subtramo paradero Enaco de San Sebastián

La Figura 48 presenta la evolución de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) registradas durante la jornada de monitoreo en el tramo correspondiente al paradero Enaco del distrito de San Sebastián, sector caracterizado por presentar pavimento flexible en mal estado.

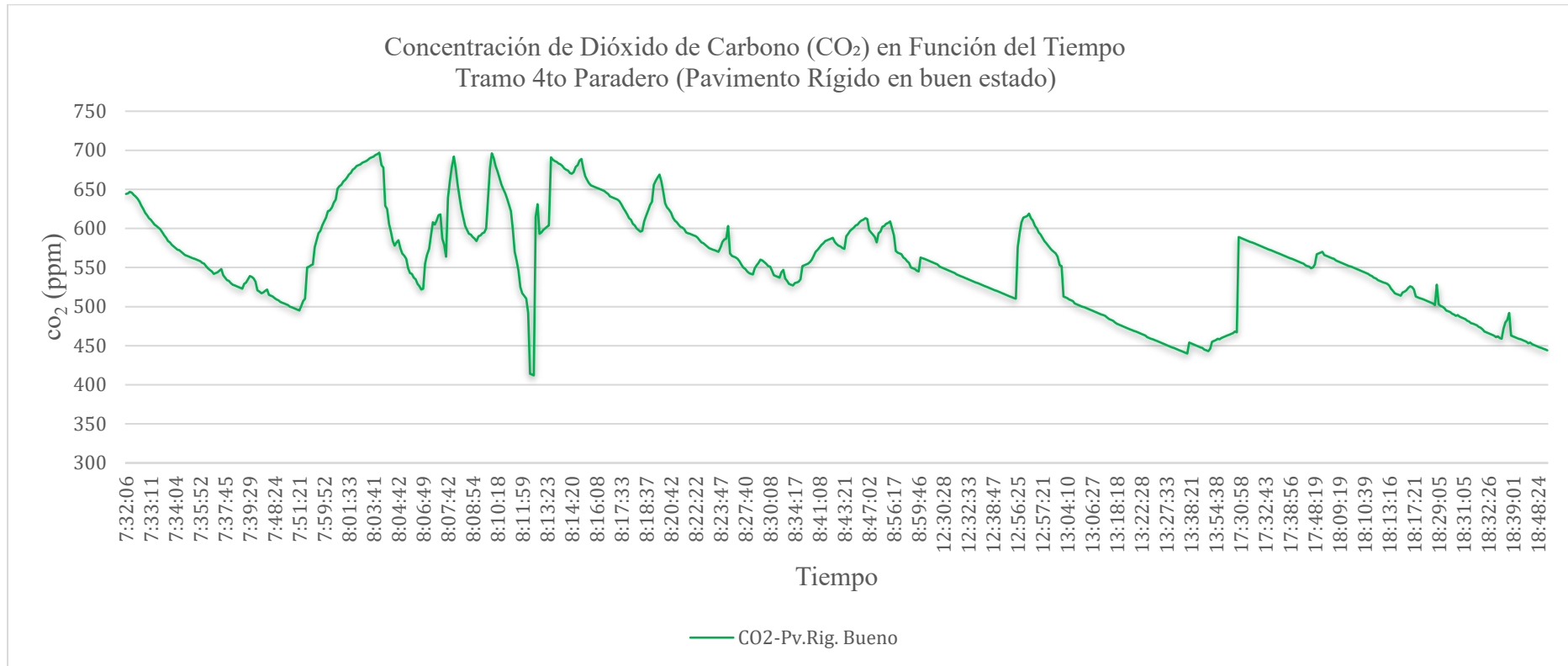
Durante el periodo de la mañana, se observa un incremento progresivo de las concentraciones de CO₂, con valores aproximados entre 500 ppm y 880 ppm, comportamiento asociado al inicio de las actividades urbanas y al aumento gradual del flujo vehicular en horas punta. Las condiciones ambientales registradas, con una temperatura promedio de 17.25 °C y humedad relativa promedio de 51.13 %, se mantuvieron relativamente estables, por lo que la variación observada se atribuye principalmente a la dinámica del tránsito vehicular.

En el periodo del mediodía, las concentraciones de CO₂ presentan un comportamiento más estable, con valores predominantes entre 550 ppm y 890 ppm, manteniéndose condiciones ambientales similares a las registradas durante la mañana.

Durante el periodo de la tarde, se evidencia nuevamente una mayor variabilidad de las concentraciones de CO₂, registrándose picos cercanos a 800 ppm. Este comportamiento se relaciona con el incremento de la demanda vehicular durante las horas punta vespertinas, caracterizadas por congestión, frecuentes detenciones y continuas maniobras de aceleración y desaceleración vehicular.

Figura 48.

Concentraciones de Dióxido de Carbono (CO₂) en Función del Tiempo del día jueves 09/10/2025



Fuente: Elaboración propia

Nota. Durante la jornada de monitoreo del día jueves, se registró una temperatura promedio de 16,40 °C y una humedad relativa promedio de 50,40 % en los intervalos evaluados.

4.14.9 Interpretación de la variación horaria de las concentraciones de CO₂ – Subtramo 4to Paradero de san Sebastián

La Figura 49 muestra la variación temporal de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) registradas durante la jornada de monitoreo en el tramo comprendido entre el cuarto y el primer paradero de San Sebastián, sector caracterizado por presentar pavimento rígido en buen estado.

Durante el periodo de la mañana, las concentraciones de CO₂ presentan valores aproximados entre 480 ppm y 700 ppm, observándose incrementos puntuales asociados al inicio de las actividades urbanas y al aumento del flujo vehicular. No obstante, las variaciones registradas son menos abruptas en comparación con los tramos deteriorados, evidenciando una circulación vehicular más fluida y estable.

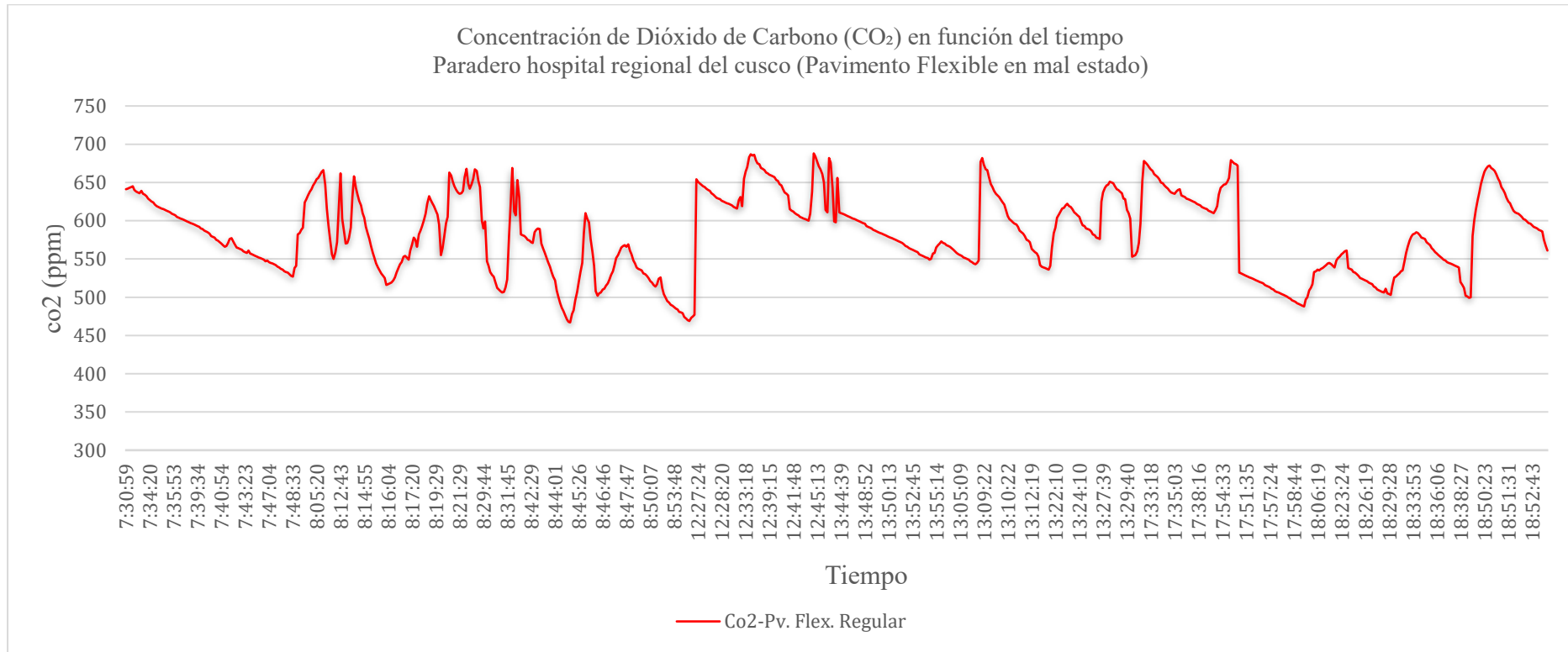
En el periodo del mediodía, las concentraciones de CO₂ muestran una tendencia más estable y ligeramente descendente, con valores predominantes entre 430 ppm y 650 ppm. Este comportamiento se asocia a las adecuadas condiciones funcionales del pavimento rígido, las cuales favorecen una circulación vehicular más eficiente y uniforme.

Durante la tarde, se registra un incremento moderado de las concentraciones de CO₂, alcanzándose valores cercanos a 600 ppm debido al aumento del tránsito en horas punta vespertinas. Sin embargo, las concentraciones obtenidas permanecen por debajo de las registradas en sectores con pavimento deteriorado.

En términos generales, los resultados evidencian que las buenas condiciones funcionales del pavimento rígido contribuyen a reducir la variabilidad y acumulación de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), favoreciendo una circulación vehicular más continua y eficiente.

Figura 49.

Concentraciones de Dióxido de Carbono (CO₂) en Función del Tiempo del día sábado 11/10/2025



Fuente: Elaboración Propia

Nota. Durante la jornada de monitoreo del día sábado, se registró una temperatura promedio de 16,52 °C y una humedad relativa promedio de 51,02 % en los intervalos evaluados.

4.14.10 Interpretación de la variación horaria de las concentraciones de CO₂ – Subtramo Paradero del Hospital Regional del Cusco

La Figura 50 muestra la variación temporal de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) registradas durante la jornada de monitoreo en el paradero del Hospital Regional del Cusco, sector caracterizado por presentar pavimento flexible en mal estado.

Durante el periodo de la mañana, las concentraciones de CO₂ presentan una marcada variabilidad, con valores aproximados entre 450 ppm y 670 ppm, comportamiento asociado al incremento del flujo vehicular en horas punta y a las condiciones deficientes de circulación generadas por el deterioro del pavimento. Las irregularidades superficiales favorecen detenciones frecuentes, reducción de velocidad y continuas maniobras de aceleración y desaceleración vehicular.

En el periodo del mediodía, las concentraciones se mantienen relativamente elevadas, registrándose fluctuaciones entre 460 ppm y 680 ppm. A diferencia de sectores con pavimento en mejores condiciones, no se observa una reducción significativa de las concentraciones, debido a la menor eficiencia operacional del tránsito.

Durante el periodo de la tarde, se evidencia nuevamente un incremento en la variabilidad de las concentraciones de CO₂, registrándose picos cercanos a 700 ppm, asociados al aumento de la demanda vehicular y a condiciones de congestión durante las horas punta vespertinas.

En términos generales, los resultados evidencian que el deterioro funcional del pavimento influye significativamente en la generación y variabilidad de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), observándose mayores fluctuaciones y concentraciones en sectores con pavimento flexible deteriorado y elevada intensidad vehicular.

Los análisis correspondientes a los demás subtramos evaluados se desarrollaron siguiendo el mismo procedimiento metodológico, considerando el registro continuo de las

concentraciones ambientales de CO₂, el análisis temporal por franjas horarias y la evaluación de las condiciones funcionales del pavimento. En total, el monitoreo y análisis se realizaron en doce subtramos representativos del tramo de estudio, permitiendo comparar el comportamiento de las concentraciones de CO₂ bajo diferentes condiciones de serviciabilidad del pavimento y niveles de flujo vehicular.

4.14.11 Obtención de Valores Representativos de Concentración de CO₂

Las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) registradas durante el monitoreo presentaron variaciones temporales asociadas al comportamiento del tránsito vehicular y a las condiciones operacionales de la vía. Por ello, se aplicó un procedimiento de agrupamiento estadístico con la finalidad de obtener valores representativos para el análisis de las variables estudiadas.

El agrupamiento de datos se realizó mediante el promedio aritmético de las mediciones registradas durante los tres horarios de monitoreo (mañana, mediodía y tarde) correspondientes a cada jornada de evaluación. El cálculo se efectuó mediante la siguiente expresión:

El agrupamiento de datos se realizó mediante el promedio aritmético de las mediciones registradas durante los tres horarios de monitoreo (mañana, mediodía y tarde) correspondientes a cada jornada de evaluación. El cálculo se efectuó mediante la siguiente expresión:

$$\overline{CO_2} = \frac{\sum_{i=1}^n CO_{2i}}{n}$$

Donde:

$\overline{CO_2}$ = concentración promedio de CO₂ (ppm)

CO_2 = valor individual registrado de CO₂

n = número total de registros obtenidos

Como resultado del procesamiento de datos, para el día martes en el subtramo paradero Enaco se obtuvo un valor promedio representativo de 730.5123 ppm, correspondiente a las

mediciones realizadas durante los tres horarios evaluados. El mismo procedimiento fue aplicado en los demás subtramos y jornadas de monitoreo.

Los valores promedio obtenidos permitieron desarrollar posteriormente el análisis estadístico y correlacional entre las concentraciones ambientales de CO₂, el aforo vehicular y las variables funcionales del pavimento

4.15. Registro y Procesamiento de datos del Aforo Vehicular

El registro y procesamiento del aforo vehicular se desarrolló de manera simultánea al monitoreo de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), con la finalidad de evaluar la relación existente entre el flujo vehicular, la condición funcional del pavimento y los niveles de CO₂ presentes en el entorno vial del tramo de estudio.

El aforo vehicular fue realizado mediante grabación continua de video utilizando la cámara de un teléfono celular, instalada en una posición fija y elevada, permitiendo captar de manera clara y continua el tránsito vehicular durante cada sesión de monitoreo. Posteriormente, los registros audiovisuales fueron revisados y analizados detalladamente para la identificación, cuantificación y clasificación de los vehículos que circularon por los diferentes subtramos evaluados.

La clasificación vehicular se efectuó considerando las categorías de motocicletas, automóviles, camionetas, buses y camiones, de acuerdo con los criterios establecidos en el Manual de Carreteras – Tránsito del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2018), garantizando uniformidad y consistencia en el procesamiento de la información.

El conteo vehicular fue organizado en hojas de cálculo de Microsoft Excel, agrupando los registros en intervalos de cinco minutos durante cada sesión de monitoreo, con una duración aproximada de 90 minutos por periodo evaluado. Las observaciones se realizaron en los horarios de mayor intensidad vehicular:

Mañana (7:30 a.m. a 9:00 a.m.)

Medio Día (12:30 p.m. a 2:00 p.m.)

Tarde (5:30 p.m. a 7:00 p.m.)

Las primeras jornadas de monitoreo se desarrollaron los días 07, 09 y 11 de octubre de 2025, correspondientes a los tramos representativos seleccionados según la condición funcional del pavimento. Para dichas fechas se elaboraron tablas detalladas de registro vehicular en cada uno de los horarios evaluados, permitiendo realizar el análisis comparativo entre el volumen de tránsito y las concentraciones ambientales de CO₂ registradas en cada sector del estudio.

Posteriormente, entre los días 12 y 20 de octubre de 2025, el mismo procedimiento metodológico fue aplicado en los subtramos restantes del corredor vial evaluado, manteniéndose los mismos criterios de observación, clasificación vehicular y procesamiento de datos. Debido al volumen de información recopilada durante estas jornadas complementarias, los resultados correspondientes a dichos subtramos se presentan de manera resumida mediante tablas consolidadas y gráficos comparativos, con la finalidad de sintetizar la información obtenida y facilitar la interpretación integral del comportamiento del tránsito vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂).

Con el propósito de garantizar la precisión y confiabilidad de los registros, los videos fueron revisados repetidamente las veces que resultó necesario, permitiendo la correcta identificación y clasificación de cada vehículo observado. La información obtenida del aforo vehicular constituyó un insumo fundamental para el análisis correlacional desarrollado en la presente investigación, permitiendo evaluar la influencia del volumen de tránsito y de la condición funcional del pavimento sobre las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) registradas en el tramo de estudio.

Las siguientes tablas presentan los resultados del estudio de clasificación vehicular realizado en la avenida La Cultura, en sentido de subida, durante los días martes, jueves y sábado, considerando como periodos representativos la mañana, mediodía y tarde.

Tabla 34.

Clasificación vehicular subtramo paradero Enaco - día martes

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR													
TRAMO	AV. LA CULTURA						ESTACION	01					
SENTIDO	SUBIDA						DIA	MARTES- MAÑANA (07:30 - 09:00 a.m.)					
UBICACIÓN	PARADERO ENACO						FECHA	07/10/2025					
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			TOTAL
				PICK UP 	PANEL 	RURAL Combi 		2 E 	3 E 	2 E 	3 E 	4 E 	
7:30 AM	4	53	6	3	1	2	15	1		4			89
7:35 AM	3	61	8	1			17	2		2	1		95
7:40 AM	4	56	6	4	2	1	15			3			91
7:45 AM	3	55	2	5		1	19	1		4	2		92
7:50 AM	2	56	5	4		2	18	2		2			91
7:55 AM	5	59	5	2			15	1		1			88
8:00 AM	3	58	3	6		1	16	3		3	1		94
8:05 AM	4	53	6	3		2	15	1		4			88
8:10 AM	5	61	7	5	1		16			3			98
8:15 AM	2	54	5	6	1	1	18	1		2			90
8:20 AM	4	53	3	3		1	16	3		3			86
8:25 AM	4	51	4	4			15	1		1			80
8:30 AM	5	53	7	3		2	16	2		2			90
8:35 AM	3	56	4	1		1	14	1		3	1		84
8:40 AM	4	51	6	5	2		18			2			88
8:45 AM	3	60	5	4		1	16	2		4			95
8:50 AM	5	48	5	3		1	14	1		2	1		80
8:55 AM	4	44	4	5	1		16			3	1		78
9:00 AM	3	47	3	2	2	1	14	2		2			76
TOTAL	70	1029	94	69	10	17	303	24	0	50	7	0	1673
% TOTAL	4,18%	61,51%	5,62%	4,12%	0,60%	1,02%	18,11%	1,43%	0,00%	2,99%	0,42%	0,00%	100,00%

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR													
TRAMO	AV. LA CULTURA						ESTACION	01					
SENTIDO	SUBIDA						DIA	MARTES- MEDIO DIA (12:30 - 14:00 p.m.)					
UBICACIÓN	PARADERO ENACO						FECHA	07/10/2025					
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			TOTAL
				PICK UP 	PANEL 	RURAL Combi 		2 E 	3 E 	2 E 	3 E 	4 E 	
12:30 PM	6	42	6	4		3	16	3		5			85
12:35 PM	5	56	4	4		4	13	1		5			92
12:40 PM	5	48	7	2		2	16	1		6			87
12:45 PM	3	45	1	5		2	19	2		6			83
12:50 PM	2	42	1	6		3	22			2			78
12:55 PM	4	54	4	2	1	1	13	1		4			84
1:00 PM	4	43	2	4			16	3		2	2		76
1:05 PM	4	40	3	5		3	12	2		7			76
1:10 PM	8	37	5	8		4	18			1			81
1:15 PM	2	52	5	5	1	3	15	1		2			86
1:20 PM	2	52	1	3	1	2	18	3		1			83
1:25 PM	3	41	4	4		3	19	1		1	1		77
1:30 PM	5	43	5	6	1	1	16	3		6	1		87
1:35 PM	3	39	3	5		3	14	1		3	1		72
1:40 PM	4	45	4	7	1		17	1		2			81
1:45 PM	3	42	5	4		1	15	1		4			75
1:50 PM	2	38	3	3	1	1	14	2		2			66
1:55 PM	4	43	4	6		2	16	2		3	1		81
2:00 PM	3	40	3	5		1	15	1		2			70
TOTAL	72	842	70	88	6	39	304	29	0	64	6	0	1520
% TOTAL	4,74%	55,39%	4,61%	5,79%	0,39%	2,57%	20,00%	1,91%	0,00%	4,21%	0,39%	0,00%	100,00%

Continúa >>>> Tabla de Aforo Vehicular

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR													
TRAMO	AV. LA CULTURA						ESTACION	01					
SENTIDO	SUBIDA						DIA	MARTES - TARDE (17:30 - 19:00 p.m.)					
UBICACIÓN	PARADERO ENACO						FECHA	07/10/2025					
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			TOTAL
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	
													
5:30 PM	1	64	5	2	3	1	13	3		3			95
5:35 PM	5	66	7	3		3	21	4		4			113
5:40 PM	3	63	5	5	1		14			3			94
5:45 PM	3	64	3	4			18	1		2			95
5:50 PM	4	69	8	3		1	14	3		2			104
5:55 PM	6	63	5	1		1	17	2		3			98
6:00 PM	1	72	3	7		1	16	2		3			105
6:05 PM	4	66	8	1	1	1	17	1		2			101
6:10 PM	6	85	8	4	2	3	14	1		5			128
6:15 PM	1	55	10	7	1		21	1		4			100
6:20 PM	6	54	4	2	2		14	2		5			89
6:25 PM	5	61	4	4	1	1	13			1			90
6:30 PM	4	63	8	2		3	16			3			99
6:35 PM	7	73	5	5			14	1		2			107
6:40 PM	9	57	8	2	2		18	1		3			100
6:45 PM	3	77	4	7			16	2		3			112
6:50 PM	7	58	6	4		2	15	1		2	1		89
6:55 PM	3	45	5	5		1	16	1		4			77
7:00 PM	4	48	4	3	1	1	13	2		1			77
TOTAL	72	1203	110	71	14	19	300	28	0	55	1	0	1873
% TOTAL	3,84%	64,23%	5,87%	3,79%	0,75%	1,01%	16,02%	1,49%	0,00%	2,94%	0,05%	0,00%	100,00%

La Tabla 34 muestra que el aforo vehicular correspondiente al día martes presentó elevados volúmenes de tránsito durante los tres horarios evaluados (mañana, mediodía y tarde), registrándose un promedio superior a 1 700 vehículos por periodo. La composición vehicular estuvo dominada principalmente por automóviles, los cuales representaron la mayor proporción del flujo total, seguidos por vehículos de transporte público tipo combi y microbús. Asimismo, se observó una menor participación de vehículos pesados, como camiones de dos y tres ejes, concentrados principalmente en determinados intervalos horarios. Los mayores flujos vehiculares se registraron durante las horas punta de la mañana y la tarde, evidenciando una alta demanda de circulación en el tramo evaluado de la avenida La Cultura. Estos resultados reflejan una intensa dinámica vehicular y una predominancia del transporte liviano y público dentro de la composición del tránsito urbano.

Tabla 35.

Clasificación vehicular subtramo 4to paradero - día jueves

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR													
TRAMO		AV. LA CULTURA					ESTACION		02				
SENTIDO		SUBIDA					DIA		JUEVES- MAÑANA (07:30 - 09:00 a.m.)				
UBICACIÓN		CUARTO PARADERO SAN SEBASTIAN (TOTTUS)					FECHA		09/10/2025				
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			TOTAL
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	
													
7:30 AM	3	51	7	4	1	1	16	1			1		85
7:35 AM	4	64	9	2			19	2		3	2		105
7:40 AM	3	54	6	4	1	2	17	1		3			91
7:45 AM	4	53	4	5		1	19			4			90
7:50 AM	3	52	6	3			17	1		2			84
7:55 AM	6	50	7	2	2	1	15	2		1	1		87
8:00 AM	3	64	5	5			19	3		5			104
8:05 AM	2	55	4	3		2	17			4			87
8:10 AM	5	57	6	6	1	1	16	1		3			96
8:15 AM	4	56	6	5	1		17	1		2			92
8:20 AM	3	46	4	5		1	15	2		4			80
8:25 AM	5	49	5	6			14	2					81
8:30 AM	4	46	6	3		1	15	1					76
8:35 AM	3	50	4	4		1	13	1		2	1		79
8:40 AM	2	48	5	5	1		16			3			80
8:45 AM	3	50	4	4			13	1		4			79
8:50 AM	3	42	3	3		2	14	2		1			70
8:55 AM	4	40	4	5	1	1	14	1		2	1		73
9:00 AM	3	43	3	3	1	1	13	1		3			71
TOTAL	67	970	98	77	9	15	299	23	0	46	6	0	1610
% TOTAL	4,16%	60,25%	6,09%	4,78%	0,56%	0,93%	18,57%	1,43%	0,00%	2,86%	0,37%	0,00%	100,00%

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR													
TRAMO		AV. LA CULTURA					ESTACION		02				
SENTIDO		SUBIDA					DIA		JUEVES- MEDIO DIA (12:30 - 14:00 p.m.)				
UBICACIÓN		CUARTO PARADERO SAN SEBASTIAN (TOTTUS)					FECHA		09/10/2025				
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			TOTAL
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	
													
12:30 PM	2	43	5	4		3	15	2		4			78
12:35 PM	4	54	4	5		3	16			5	1		92
12:40 PM	3	47	6	3	1	2	17	1		4			84
12:45 PM	3	47	4	4		2	16	1		3			80
12:50 PM	4	42	5	7	1		18			3			80
12:55 PM	6	48	3	3	1		14	2		4	1		82
1:00 PM	3	48	5	4	1	1	17	3		4	1		87
1:05 PM	2	43	3	5	1	2	13	1		6			76
1:10 PM	6	41	6	6		3	15	1		3			81
1:15 PM	4	50	6	5		2	16	3		2			88
1:20 PM	3	46	4	5		1	15	1		3			78
1:25 PM	5	45	5	7		2	16	2		2			84
1:30 PM	6	43	5	6		1	14			4			79
1:35 PM	4	39	4	5		3	13	1		3	1		73
1:40 PM	5	47	4	7	1	1	14	1		2			82
1:45 PM	3	42	3	5			13	2		4			72
1:50 PM	2	39	3	3	1	1	13	1		2			65
1:55 PM	4	45	4	2			14			2			71
2:00 PM	2	42	3	5	1	1	13	1		1	1		70
TOTAL	71	851	82	91	8	28	282	23	0	61	5	0	1502
% TOTAL	4,73%	56,66%	5,46%	6,06%	0,53%	1,86%	18,77%	1,53%	0,00%	4,06%	0,33%	0,00%	100,00%

Continua >>>> Tabla de Aforo vehicular

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR													
TRAMO		AV. LA CULTURA					ESTACION		02				
SENTIDO		SUBIDA					DIA		JUEVES - TARDE (17:30 - 19:00 p.m.)				
UBICACIÓN		CUARTO PARADERO SAN SEBASTIAN (TOTTUS)					FECHA		09/10/2025				
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			TOTAL
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	
													
5:30 PM	2	51	4	2		1	11	1		2			74
5:35 PM	3	52	6	3	1	2	18	3		3			91
5:40 PM	2	53	5	3		1	12	1		2			79
5:45 PM	2	56	4	2	1	1	14	1		1	1		83
5:50 PM	4	52	6	3			13	2		3			83
5:55 PM	6	50	5	4	1	2	16	1		1			86
6:00 PM	3	55	3	1	2		15			3	1		83
6:05 PM	2	51	4	5			14	2		3			81
6:10 PM	5	60	7	3			13	1		5			94
6:15 PM	3	47	8	2	1	1	17	1		3			83
6:20 PM	5	47	6	4			12	2		5			81
6:25 PM	6	56	5	6		1	13			2			89
6:30 PM	6	54	6	4		2	12			2			86
6:35 PM	6	53	3	4		1	12	2		3			84
6:40 PM	9	54	5	6	1		14	1		1			91
6:45 PM	3	61	4	3			15	3					89
6:50 PM	5	52	5	4	1	1	13	1		2			84
6:55 PM	5	51	4	5		1	14	1		3			84
7:00 PM	3	49	3	6			13	2		2			78
TOTAL	80	1004	93	70	8	14	261	25	0	46	2	0	1603
% TOTAL	4,99%	62,63%	5,80%	4,37%	0,50%	0,87%	16,28%	1,56%	0,00%	2,87%	0,12%	0,00%	100,00%

La Tabla 35 correspondiente al día jueves muestra que el aforo vehicular presentó una alta intensidad de tránsito durante los tres horarios evaluados (mañana, mediodía y tarde), registrándose volúmenes vehiculares constantes a lo largo del día. La composición vehicular estuvo conformada principalmente por automóviles, seguidos por combis y microbuses, evidenciándose además una participación moderada de camionetas y vehículos pesados. Los mayores flujos vehiculares se concentraron durante las horas punta de la mañana y la tarde, mientras que en el horario de mediodía el tránsito presentó un comportamiento más uniforme. Asimismo, los resultados reflejan una elevada demanda de circulación vehicular en la avenida La Cultura, predominando el transporte liviano y público dentro del flujo total registrado.

Tabla 36.

Clasificación vehicular subtramo hospital regional – día sábado

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR													
TRAMO	AV. LA CULTURA						ESTACION	03					
SENTIDO	SUBIDA						DIA	SABADO- MAÑANA (07:30 - 09:00 a.m.)					
UBICACIÓN	HOSPITAL REGIONAL (UNSAAC)						FECHA	11/10/2025					
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			TOTAL
													
7:30 AM	1	56	4	5		2	15	1		1			85
7:35 AM	2	61	5	2	1	3	12						86
7:40 AM	2	57	2	1		1	12			1			76
7:45 AM	1	82	6	6	1	1	14	1		1			113
7:50 AM	1	79	10	2	1	1	19	1		1			115
7:55 AM	4	76	7	1	1	1	14						104
8:00 AM	1	69	3	1	1	1	14			1			91
8:05 AM	2	84	7	1	1	1	13	2		2			113
8:10 AM	1	74	2	2			11			1			91
8:15 AM	2	61	4	4	2	1	15			1			90
8:20 AM	5	99	2	10		3	12			1			132
8:25 AM	6	93	1	4		1	15	1		2			123
8:30 AM	2	67	1	1	1	1	15	1		3			92
8:35 AM	5	93	2	1		4	13			3			121
8:40 AM	6	96	6	5		2	11	1	1	3			131
8:45 AM	1	99	5	4	1		12			4			126
8:50 AM	2	91	4	6	2	1	16	1		2			125
8:55 AM	5	98	9	4		2	12			1			131
9:00 AM	3	94	3	2	2	1	14	2		2			123
TOTAL	52	1529	83	62	14	27	259	11	1	30	0	0	2068
% TOTAL	2,51%	73,94%	4,01%	3,00%	0,68%	1,31%	12,52%	0,53%	0,05%	1,45%	0,00%	0,00%	100,00%

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR													
TRAMO	AV. LA CULTURA						ESTACION	03					
SENTIDO	SUBIDA						DIA	SABADO- MEDIO DIA (12:30 - 14:00 p.m.)					
UBICACIÓN	HOSPITAL REGIONAL (UNSAAC)						FECHA	11/10/2025					
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			TOTAL
													
12:30 PM	5	77	4	5	1	2	15						109
12:35 PM	7	70	5	4	1	1	12						100
12:40 PM	1	66	7	3		2	10	1		1			91
12:45 PM	5	76	4	2		2	9			2			100
12:50 PM	4	62	4	3	1	1	14	1		1			91
12:55 PM	5	75	5	3	1	1	15			1			106
1:00 PM	7	71	5	2	1	4	18			2			110
1:05 PM	8	80	1	5	1	2	13			1			111
1:10 PM	8	61	2	3		2	12						88
1:15 PM	6	71	2	4	1	1	13	1					99
1:20 PM	4	78	3	10	1	1	12			2			111
1:25 PM	9	72	4	6		2	13			3			109
1:30 PM	5	66	4	3	1	2	10			2			93
1:35 PM	3	67	3	3	1	1	9			2			89
1:40 PM	3	60	3	4	1		11			1			83
1:45 PM	3	63	5	4		1	12	1		2			91
1:50 PM	2	60	4	3	1	1	11	1		1			84
1:55 PM	4	65	2	6	1	2	13						93
2:00 PM	3	61	3	5		1	10	1		2			86
TOTAL	92	1301	70	78	13	29	232	6	0	23	0	0	1844
% TOTAL	4,99%	70,55%	3,80%	4,23%	0,70%	1,57%	12,58%	0,33%	0,00%	1,25%	0,00%	0,00%	100,00%

Continua >>>> Tabla de Aforo vehicular

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR													
TRAMO	AV. LA CULTURA						ESTACION	03					
SENTIDO	SUBIDA						DIA	SABADO- TARDE (17:30 - 19:00 p.m.)					
UBICACIÓN	HOSPITAL REGIONAL (UNSAAC)						FECHA	11/10/2025					
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			TOTAL
													
5:30 PM	3	77	4	5	1	2	15	1		1			109
5:35 PM	5	66	5	3			12	1					92
5:40 PM	2	62	6	2	2	1	11			1			87
5:45 PM	3	79	5	4			12			2			105
5:50 PM	3	71	7	3		1	17	1		1			104
5:55 PM	5	76	6	3		1	15			1			107
6:00 PM	4	70	4	2	1		16			1			98
6:05 PM	5	82	4	4		2	13			1			111
6:10 PM	6	68	2	3		1	12			2			94
6:15 PM	4	66	3	4	2	1	14	1		1			96
6:20 PM	5	89	4	10	1	2	12			2			125
6:25 PM	7	83	3	5		2	14			3			117
6:30 PM	3	67	3	2	1	1	13	1		1			92
6:35 PM	4	80	3	2		3	11						103
6:40 PM	5	78	5	3	1	1	11			2			106
6:45 PM	2	81	5	4			12			1			105
6:50 PM	2	76	4	4		1	14			1			102
6:55 PM	5	82	6	5	1	2	13			1			115
7:00 PM	3	78	3	4	1	1	12	1		2			105
TOTAL	76	1431	82	72	11	22	249	6	0	24	0	0	1973
% TOTAL	3,85%	72,53%	4,16%	3,65%	0,56%	1,12%	12,62%	0,30%	0,00%	1,22%	0,00%	0,00%	100,00%

La Tabla 36 correspondiente al día sábado muestra que el aforo vehicular presentó los mayores niveles de tránsito respecto a los demás días evaluados, evidenciándose una intensa circulación vehicular durante los horarios de mañana, mediodía y tarde. La composición vehicular estuvo dominada principalmente por automóviles, seguidos por combis, microbuses y camionetas, mientras que los vehículos pesados registraron una menor participación dentro del flujo total. Asimismo, durante el horario de tarde se observaron los mayores volúmenes vehiculares, asociados a la elevada demanda de desplazamiento urbano y actividades comerciales desarrolladas en la avenida La Cultura. Los resultados reflejan una alta concentración de tránsito vehicular y una predominancia del transporte liviano y público durante el fin de semana.

4.15.1 *Agrupamiento y Procesamiento del Aforo Vehicular*

Los datos correspondientes al aforo vehicular fueron organizados y agrupados con la finalidad de obtener valores representativos del flujo de tránsito en cada uno de los subtramos evaluados. Los registros fueron obtenidos mediante el conteo de los vehículos que circulaban por el tramo de estudio durante los periodos establecidos para el monitoreo, considerando tres horarios representativos del día: mañana, mediodía y tarde. Esta distribución temporal permitió considerar las variaciones del flujo vehicular asociadas a las diferentes condiciones de operación de la vía.

Para el procesamiento de los datos, los registros obtenidos en cada horario fueron ordenados de acuerdo con el subtramo y el periodo de evaluación correspondiente. Posteriormente, se realizó la consolidación de los datos mediante el cálculo del promedio aritmético de los registros correspondientes a los tres horarios de monitoreo. El promedio se obtuvo mediante la suma de los valores registrados en los periodos de mañana, mediodía y tarde, dividida entre el número de periodos considerados. De esta manera, se obtuvo un único valor representativo del aforo vehicular para cada subtramo evaluado.

Este procedimiento permitió reducir la variabilidad temporal propia del flujo vehicular y evitar que un registro correspondiente a un horario específico represente por sí solo el comportamiento del tránsito en el sector. Asimismo, la utilización de un valor promedio facilitó la comparación entre los diferentes subtramos, considerando que cada uno presenta distintas condiciones de pavimento, características geométricas y niveles de circulación vehicular.

Como resultado del procesamiento realizado, para el subtramo analizado se obtuvo un valor promedio de aforo vehicular de 1,689 vehículos, correspondiente a la consolidación de los registros obtenidos durante los tres periodos de monitoreo. Este valor representa el flujo vehicular promedio considerado para dicho subtramo durante la jornada de evaluación.

El mismo procedimiento de agrupamiento, organización y procesamiento fue aplicado de manera uniforme en los doce subtramos considerados en el estudio. Para cada subtramo se

obtuvo un valor promedio de aforo vehicular, permitiendo disponer de una base de datos homogénea y comparable entre los sectores evaluados. Los valores obtenidos fueron posteriormente integrados con los resultados de las variables funcionales del pavimento, correspondientes al Índice de Rugosidad Internacional (IRI), Índice de Condición del Pavimento (PCI), Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) y ahuellamiento, así como con las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂).

La consolidación de los datos de aforo vehicular permitió establecer una correspondencia entre el comportamiento del tránsito y las condiciones funcionales del pavimento en cada subtramo. De esta manera, los valores promedio obtenidos fueron utilizados como información de entrada para el análisis estadístico y correlacional, permitiendo evaluar la relación existente entre el flujo vehicular, la condición funcional de la superficie de rodadura y las concentraciones ambientales de CO₂ registradas durante el periodo de estudio.

Tabla 37.

Agrupamiento de las Concentraciones de co2 y el Aforo Vehicular

Subtramo	Referencia	Aforo	CO ₂
12	Paradero Enaco	1 689	730.51
11	Paradero San Miguel	1 572	713.7
10	Paradero Camionero	1 962	630.41
9	Sexto Paradero	1 452	557.31
8	4to Paradero	1 570	500
7	2do Paradero	1 491	581.39
6	Santa Úrsula	1 512	485
5	Real Plaza	1 630	470
4	Hospital	1 825	455
3	Amauta	1 997	440
2	Ovalo Garcilaso	2 032	425
1	Av. Arc. - Limacpampa	2 014	427.39

CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente capítulo tiene como finalidad analizar e interpretar de manera integral los resultados obtenidos durante la investigación, considerando la evaluación funcional del pavimento y su relación con las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el tránsito vehicular en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, ciudad del Cusco.

Para ello, el análisis se desarrolla integrando los resultados provenientes de los estudios previos realizados en campo, los cuales comprenden:

- Determinación de la rugosidad longitudinal mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).
- Evaluación superficial mediante Índice de Condición del Pavimento (PCI).
- Medición del ahuellamiento (RD).
- Cálculo del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI).
- Registro de concentraciones ambientales de CO₂.
- Aforo vehicular clasificado.

La integración de estos parámetros permitió evaluar el comportamiento conjunto del sistema pavimento – tránsito – ambiente, estableciendo relaciones entre la condición funcional del pavimento de la avenida y el impacto ambiental asociado a la operación vehicular.

5.1. Análisis de la Condición Funcional del Pavimento

5.1.1 Análisis del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

Los valores obtenidos de IRI evidencian tres comportamientos claramente diferenciados:

- El tramo flexible deteriorado presenta un IRI promedio de 6.625 m/km, correspondiente a una condición funcional mala.
- El tramo rígido registra un IRI promedio de 3.483 m/km, clasificándose dentro de una condición regular.

- El tramo flexible final muestra un IRI promedio de 2.947 m/km, asociado a una condición regular a buena.

Los mayores valores de rugosidad coinciden con los sectores donde el PCI evidenció mayor nivel de deterioro, confirmando la relación existente entre el daño superficial del pavimento y la pérdida de calidad de rodadura. El incremento del IRI genera reducción de velocidad, vibraciones vehiculares, circulación discontinua y mayor esfuerzo operativo del vehículo.

5.1.2 *Análisis del Índice de Condición del Pavimento (PCI)*

Los resultados del PCI reflejan distintos niveles de deterioro superficial a lo largo del tramo evaluado.

El sector inicial con pavimento flexible presenta un PCI promedio de 16.50, correspondiente a una condición muy mala, caracterizada por: deformaciones superficiales, presencia de ahuellamientos, pérdida de uniformidad de la carpeta de rodadura.

En seguida, el tramo de pavimento rígido alcanzó un PCI promedio de 57.50, clasificado como condición buena, evidenciando mayor estabilidad estructural y menor deterioro superficial.

Finalmente, el tramo final con pavimento flexible presentó un PCI promedio de 59.50, indicando una condición funcional buena, asociada a una superficie más uniforme y mejor comportamiento frente al tránsito urbano.

Estos resultados confirman que el nivel de conservación influye directamente en la condición funcional del pavimento y en las condiciones de operación vehicular.

Se observa una relación inversa entre PCI y concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), es decir:

A menor PCI → mayor deterioro → mayor emisión de CO₂

5.1.3 *Análisis del Ahuellamiento (RD)*

El ahuellamiento fue determinado mediante mediciones directas en campo y el cálculo de un promedio ponderado por área.

Los resultados evidencian mayores profundidades de deformación en los subtramos con pavimento flexible deteriorado, donde la acción repetitiva del tránsito produjo deformaciones permanentes en la zona de rodadura.

Se identificó que los mayores valores de ahuellamiento (RD) se presentan en los subtramos 12, 11, 10 y 09.1, los cuales muestran deformaciones permanentes asociadas principalmente al tránsito pesado. En dichos sectores se registraron profundidades de ahuellamiento superiores a 120 mm (12 cm).

Por lo tanto, el ahuellamiento contribuye indirectamente al incremento de concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), especialmente en zonas con presencia de tránsito pesado.

5.1.4 *Relación entre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)*

A partir de los valores de IRI obtenidos, se determinó el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) empleando la ecuación propuesta por Dujisin y Arroyo (1985), con la finalidad de evaluar la calidad funcional del pavimento desde la percepción del usuario.

Los resultados muestran una relación inversa claramente definida entre ambos indicadores, evidenciando que el incremento del IRI conlleva una reducción significativa del nivel de serviciabilidad del pavimento. En los tramos con pavimento flexible inicial, se obtuvo un PSI promedio de 1,530, valor que corresponde a una mala serviciabilidad, reflejando condiciones deficientes de comodidad y seguridad para el tránsito vehicular. Esta situación guarda una relación inversa con los elevados valores de rugosidad superficial registrados en dichos tramos.

Por el contrario, los tramos con pavimento rígido alcanzaron un PSI promedio de 2,910, correspondiente a una condición regular de serviciabilidad, mientras que los tramos finales con pavimento flexible presentan un PSI promedio de 3.02 a una condición buena de serviciabilidad.

El análisis evidencia que una reducción aproximada de 3,1 m/km en el valor del IRI genera un incremento del PSI cercano a 1,4 unidades, lo que pone de manifiesto la alta sensibilidad del índice de serviciabilidad frente a las irregularidades superficiales del pavimento. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Rodríguez Trujillo (2021), quien señala que la rugosidad constituye uno de los principales determinantes de la percepción del usuario en vías urbanas.

El análisis de los resultados muestra:

Subtramos 12, 11, 10 y 09 → condición MALA-REGULAR

Subtramos 06, 05, 04, 03, 02 y 01 → condición BUENA

Subtramos 07 y 08 → pavimento rígido en condición BUENA

Esto indica que, aunque el pavimento aún mantiene niveles aceptables de serviciabilidad, existen sectores donde el deterioro ya impacta la comodidad de circulación vehicular.

En consecuencia, se incrementan las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), estableciendo una relación inversa:

Menor PSI → mayor emisión de CO₂

5.1.5 *Análisis del Aforo Vehicular*

El aforo vehicular realizado de manera simultánea al monitoreo de CO₂ permitió cuantificar el volumen y la composición del tránsito en el tramo de estudio.

Durante el día martes, se registraron 1,551 vehículos en la mañana, 1,491 vehículos al mediodía y 1,353 vehículos en la tarde, observándose una predominancia de automóviles particulares, los cuales representaron aproximadamente el 58 % del flujo total.

En el día jueves, el mayor volumen vehicular se registró en el periodo de la tarde, alcanzando 1,868 vehículos, con una participación de automóviles cercana al 64 %.

El día sábado presentó los mayores volúmenes vehiculares del estudio, registrándose 2 068 vehículos en la mañana, 1 844 vehículos al mediodía y 1 973 vehículos en la tarde, con una predominancia de automóviles superior al 70 % del flujo total.

Estos resultados evidencian una alta carga vehicular en el tramo de estudio, especialmente en periodos de mayor demanda, lo que influye directamente en las concentraciones de CO₂ registradas.

5.1.6 Análisis de las Concentraciones de Dióxido de Carbono (CO₂)

El monitoreo de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) se realizó mediante un sensor portátil de tecnología NDIR durante los días martes 07, jueves 09 y sábado 11 de octubre de 2025, en tres periodos horarios: mañana, mediodía y tarde. Los resultados obtenidos evidencian una variación significativa de las concentraciones de CO₂, influenciada tanto por el flujo vehicular como por las condiciones de operación asociadas a la condición funcional del pavimento.

En el tramo Enaco – Cuarto Paradero, correspondiente a un pavimento flexible en mal condición (día martes), se registraron las concentraciones más elevadas de CO₂, con valores que alcanzan picos cercanos a 900 ppm durante las horas de mayor demanda vehicular. Este comportamiento se atribuye a la presencia de irregularidades superficiales, ahuellamientos y deterioros que generan una circulación discontinua, caracterizada por frecuentes aceleraciones y desaceleraciones de vehículos, por ende, las emisiones elevadas de CO₂.

En cambio, en el tramo Cuarto Paradero – Primer Paradero de san Sebastián, correspondiente a un pavimento rígido en buena condición (día jueves), las concentraciones de CO₂ presentan valores bajos y estables, oscilando generalmente entre 400 ppm y 690 ppm. Esta condición refleja una circulación vehicular más uniforme, con menores perturbaciones en la

velocidad de operación, lo que reduce la demanda energética de los vehículos y contribuye a una menor emisión de CO₂.

Por su parte, en el subtramo Primer Paradero – Limacpampa, correspondiente a un pavimento flexible en buena condición (día sábado), se observan valores intermedios de CO₂, con concentraciones que varían entre 450 ppm y 680 ppm. Si bien la condición superficial del pavimento es adecuada, los incrementos puntuales en las concentraciones se asocian principalmente a variaciones en el flujo vehicular y a condiciones de congestión temporal, más que a deficiencias estructurales o funcionales del pavimento.

Asimismo, en los tres tramos evaluados se identifican patrones similares en función del tiempo, evidenciándose mayores concentraciones de CO₂ durante las horas punta (mañana y tarde), lo cual confirma la influencia predominante del volumen vehicular en la generación de emisiones. Sin embargo, la magnitud de estas concentraciones varía significativamente en función de la condición del pavimento, siendo más elevadas en tramos deteriorados.

En términos generales, los resultados demuestran que, además del flujo vehicular, la condición funcional del pavimento constituye un factor determinante en la generación de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), ya que influye directamente en la dinámica de operación de los vehículos. Un pavimento en mal condición incrementa la resistencia al rodamiento y provoca condiciones de circulación ineficiente.

Por lo tanto, se concluye que el mantenimiento adecuado de la infraestructura vial no solo mejora la serviciabilidad y el confort de los usuarios, sino que también contribuye de manera significativa a la reducción del impacto ambiental generado por el tránsito vehicular.

5.1.7 Relación entre la Serviciabilidad del Pavimento, el Aforo Vehicular y las concentraciones de CO₂

El análisis integrado de la serviciabilidad del pavimento, el aforo vehicular y las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) permite evaluar de manera integral el comportamiento del sistema pavimento–tránsito–ambiente en el tramo de estudio.

Los resultados obtenidos evidencian que las concentraciones de CO₂ no dependen únicamente del volumen vehicular, sino también de la condición funcional del pavimento, representado mediante los indicadores Índice de Rugosidad Internacional (IRI), Índice de Condición del Pavimento (PCI), ahuellamiento (RD) y el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI).

En este contexto, se observa que los tramos con mayores valores de IRI, condiciones deficientes de PCI, menores valores de PSI presentan mayores niveles de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), especialmente cuando estos coinciden con elevados volúmenes de tránsito.

En el tramo comprendido entre Enaco y el Cuarto Paradero, caracterizado por un pavimento flexible en condición regular a malo, se registran valores elevados de IRI (promedio de 6,625 m/km) y bajos niveles de PSI (promedio de 1,530), lo cual evidencia una pérdida significativa de serviciabilidad. Esta condición, sumada a un alto flujo vehicular, genera incrementos considerables en las concentraciones de CO₂, alcanzando valores cercanos a 900 ppm durante las horas de mayor demanda. Este comportamiento se atribuye a la circulación discontinua de los vehículos, ocasionada por las irregularidades superficiales del pavimento, que inducen frecuentes aceleraciones y desaceleraciones, por ende, incremento de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂).

Por otro lado, en el tramo comprendido entre el Cuarto Paradero y el Primer Paradero de San Sebastián, donde predomina un pavimento rígido en mejores condiciones funcionales, se observan menores valores de IRI y mayores valores de PSI, lo que favorece una circulación más uniforme. A pesar de presentar volúmenes vehiculares significativos, las concentraciones de CO₂ en este tramo son relativamente menores y más estables, lo que evidencia la influencia positiva de una adecuada condición del pavimento en la reducción de emisiones.

En el tramo comprendido entre el Primer Paradero y Limacpampa, correspondiente a un pavimento flexible en buen estado, las concentraciones de CO₂ presentan valores intermedios. En este caso, las variaciones observadas están más asociadas a condiciones de congestión vehicular y comportamiento del tránsito que a la condición del pavimento, lo que indica que, cuando la serviciabilidad es adecuada, el aforo vehicular se convierte en el principal factor que condiciona las emisiones.

Asimismo, el análisis del ahuellamiento (RD) evidencia que, si bien no influye de manera directa en las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), contribuye a generar condiciones de circulación ineficiente, particularmente en zonas con tránsito pesado. El ahuellamiento favorece la acumulación de agua, incrementa la resistencia al rodamiento y provoca inestabilidad en la conducción, lo que obliga a los vehículos a modificar su régimen de operación, incrementando indirectamente el consumo de combustible y, en consecuencia, las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂).

En conjunto, los resultados demuestran que el aforo vehicular constituye un factor determinante en la generación de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂); sin embargo, la condición funcional del pavimento cumple un rol modulador, ya que puede amplificar o mitigar dicho impacto ambiental. La combinación de altos volúmenes de tránsito y pavimentos con baja serviciabilidad genera las condiciones más desfavorables, incrementando significativamente las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂).

En ese sentido, se concluye que la pérdida de serviciabilidad del pavimento no solo afecta la calidad de circulación y el confort del usuario, sino que también incrementa el impacto ambiental del tránsito vehicular en vías urbanas. Por ello, la implementación de estrategias de mantenimiento oportuno y la adecuada gestión de la infraestructura vial resultan fundamentales

para mejorar la condición funcional del pavimento y contribuir a la reducción de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂).

5.2. Análisis Estadístico Correlacional

El presente análisis estadístico correlacional tuvo como finalidad determinar la relación existente entre las variables funcionales del pavimento, el aforo vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) registradas en el tramo de estudio de la avenida La Cultura, comprendido entre Enaco y Limacpampa, en la ciudad del Cusco.

Para ello, se empleó el coeficiente de correlación Rho de Spearman (ρ), debido a que las variables analizadas presentan un comportamiento no paramétrico y corresponden a mediciones obtenidas en condiciones reales de operación vehicular. Este análisis permitió evaluar la intensidad, dirección y significancia estadística de las asociaciones existentes entre el estado funcional del pavimento y las concentraciones ambientales de CO₂ generadas por el tránsito vehicular.

Las variables consideradas en el análisis fueron el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), el Índice de Condición del Pavimento (PCI), el ahuellamiento (RD), el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), el aforo vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂).

5.2.1 Fundamento del Coeficiente Rho de Spearman

Para evaluar la relación entre las variables analizadas se empleó el coeficiente de correlación Rho de Spearman (ρ), debido a que constituye una prueba estadística no paramétrica adecuada para analizar asociaciones entre variables cuantitativas u ordinales que no necesariamente presentan una distribución normal.

El coeficiente Rho de Spearman permite determinar:

la dirección de la relación entre variables, la intensidad de la asociación y el comportamiento conjunto de las variables analizadas.

. El valor del coeficiente varía entre -1 y 1

$$-1 \leq \rho \leq 1$$

La interpretación del coeficiente es la siguiente:

- Valores cercanos a 1 indican una correlación positiva fuerte, donde ambas variables aumentan simultáneamente.
- Valores cercanos a -1 representan una correlación negativa fuerte, indicando que mientras una variable aumenta, la otra disminuye.
- Valores próximos a 0 evidencian ausencia de relación estadística entre las variables.

Tabla 38.

Interpretación de la intensidad de correlación de Spearman

Valor de ρ	Interpretación
0.00 – 0.19	Muy débil
0.20 – 0.39	Débil
0.40 – 0.59	Moderada
0.60 – 0.79	Fuerte
0.80 – 1.00	Muy fuerte

La misma clasificación es aplicable para valores negativos del coeficiente

5.2.2 Nivel de Significancia Estadística

Con la finalidad de verificar la validez estadística de las correlaciones obtenidas, se consideró un nivel de significancia de:

$$\alpha = 0.05$$

El nivel de significancia constituye un criterio estadístico que permite determinar si las relaciones identificadas entre las variables analizadas son estadísticamente significativas o si pudieron haberse producido de manera aleatoria. Este criterio permite evaluar la confiabilidad

de los resultados obtenidos y sustentar la aceptación o rechazo de la hipótesis nula en el análisis correlacional.

Si:

$$p < 0.05$$

la correlación se considera estadísticamente significativa, rechazándose la hipótesis nula.

Si:

$$p > 0.05$$

no existe evidencia estadística suficiente para afirmar relación significativa entre las variables analizadas.

En consecuencia, las correlaciones obtenidas en la presente investigación fueron evaluadas considerando este criterio estadístico.

5.2.3 Consolidación de Variables para el Análisis Correlacional

Tabla 39.

Resumen general de variables evaluadas para el análisis correlacional

Subtramo	Referencia	IRI(m/km)	PCI	PSI	Ahuellamiento (mm)	Aforo (v/hr)	CO2 (ppm)
12	Paradero Enaco	7.94	5.00	1,12	83,0	1 689	730.51
11	Paradero San Miguel	6.35	7.00	1,62	130,0	1 572	713.70
10	Paradero Camionero	6.76	21.00	1,48	100,0	1 962	630.41
9	Sexto Paradero	7.45	33.00	1,27	100,0	1 452	557.31
8	4to Paradero	3.99	59.00	2,49	-	1 570	500.00
7	2do Paradero	3.23	56.00	2,83	-	1 491	581.39
6	Santa Úrsula	3.21	28.00	2,84	0,0	1 512	485.00
5	Real Plaza	1.60	84.00	3,72	0,0	1 630	470.00
4	Hospital	2.84	54.00	3,02	5,00	1 825	455.00
3	Amauta	2.81	66.00	3,03	5,00	1 997	440.00
2	Ovalo Garcilaso	2.74	60.00	3,07	0,00	2 032	425.00
1	Av. Arc. - Limacpampa	1.92	65.00	3,52	0,00	2 014	407.39

La Tabla 40 presenta el resumen consolidado de las variables funcionales del pavimento, el aforo vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) correspondientes a los doce subtramos evaluados en la avenida La Cultura. Los valores

obtenidos constituyen la base de datos empleada para el desarrollo del análisis estadístico correlacional mediante el coeficiente Rho de Spearman.

En la tabla se incluyen los valores del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), Índice de Condición del Pavimento (PCI), Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), ahuellamiento, aforo vehicular y concentraciones ambientales de CO₂ registradas en cada subtramo de estudio, permitiendo caracterizar las condiciones funcionales del pavimento y su relación con el comportamiento operacional del tránsito vehicular.

Los resultados evidencian variaciones importantes entre los subtramos evaluados, identificándose sectores con mayores niveles de deterioro funcional y mayores concentraciones ambientales de CO₂, así como sectores con mejores condiciones de serviciabilidad asociados a menores niveles contaminantes.

Asimismo, los valores consolidados del aforo vehicular permiten analizar la influencia conjunta del volumen de tránsito y de la condición superficial del pavimento sobre las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂). La información presentada constituye el insumo principal para el desarrollo de las correlaciones estadísticas expuestas en los apartados siguientes.

5.2.4 Ecuaciones de regresión lineal

Variable independiente	Ecuación de regresión	R ²	p-valor	Interpretación
IRI	$\text{CO}_2 = 356.998 + 41.533 \cdot \text{IRI}$	0.71	0.000513	Relación positiva fuerte. Por cada incremento de 1 m/km en el IRI, la concentración de CO ₂ aumenta aprox. 41.53 ppm.
PCI	$\text{CO}_2 = 697.043 - 3.660 \cdot \text{PCI}$	0.70	0.000630	Relación negativa fuerte. Por cada incremento de 1 punto en el PCI, la concentración de CO ₂ disminuye aprox. 3.66 ppm.
PSI	$\text{CO}_2 = 791.193 - 103.251 \cdot \text{PSI}$	0.71	0.000575	Relación negativa fuerte. Por cada incremento de 1 unidad del PSI, la concentración de CO ₂ disminuye aprox. 103.25 ppm.
Ahuellamiento	$\text{CO}_2 = 463.708 + 1.620 \cdot \text{Ahuellamiento}$	0.52	0.007457	Relación positiva moderada. Por cada incremento de 1 mm de ahuellamiento, el CO ₂ aumenta aprox. 1.62 ppm.
Aforo vehicular	$\text{CO}_2 = -358.108 + 0.528 \cdot \text{Aforo vehicular}$	0.76	0.000203	Relación positiva muy fuerte. Por cada vehículo adicional (según la unidad de aforo utilizada), el CO ₂ aumenta aprox. 0.528 ppm.

5.2.5 Matriz de Correlación de Spearman

Tabla 40.

Matriz de correlación

Variables	IRI	PCI	Ahuellamiento	Aforo	CO ₂
IRI	1.0000	-0.8531	0.6858	0.6364	0.8671
PCI	-0.8531	1.0000	-0.6558	-0.5105	-0.8042
Ahuellamiento	0.6858	-0.6558	1.0000	0.6858	0.5958
Aforo Vehicular	0.6364	-0.5105	0.6858	1.0000	0.8112
CO ₂	0.8671	-0.8042	0.5958	0.8112	1.0000

La tabla 38 muestra la matriz de correlación de Spearman que permitió evaluar el grado de asociación existente entre las variables funcionales del pavimento, el aforo vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂).

Los resultados muestran correlaciones estadísticamente significativas entre las variables analizadas, evidenciando que el deterioro funcional del pavimento y el incremento del tránsito vehicular influyen directamente en las concentraciones ambientales de CO₂ registradas en el tramo de estudio.

Se observa que el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el aforo vehicular presentan correlaciones positivas muy fuertes con las concentraciones de CO₂, mientras que el Índice de Condición del Pavimento (PCI) presenta una correlación negativa muy fuerte. Por otro lado, el ahuellamiento presenta una correlación positiva moderada.

5.2.6 Correlación entre IRI y las Concentraciones ambientales de CO₂

El análisis estadístico mostró un coeficiente de correlación de Spearman de:

$$\rho = 0.8671329$$

Este resultado evidencia una correlación positiva muy fuerte entre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y las concentraciones ambientales de CO₂.

La dirección positiva de la correlación indica que, a medida que aumenta la rugosidad superficial del pavimento, también se incrementan las concentraciones ambientales de dióxido de carbono registradas en el entorno vial.

Desde el punto de vista técnico, un pavimento con elevada rugosidad genera mayores vibraciones, resistencia al rodamiento y esfuerzo mecánico en los vehículos, ocasionando un incremento en el consumo de combustible y, consecuentemente, mayores concentraciones de dióxido de carbono (CO₂).

La prueba de significancia obtuvo un valor:

$$p = 0.0004433$$

Dado que:

$$p < 0.05$$

se concluye que la correlación encontrada es estadísticamente significativa.

El coeficiente de determinación fue calculado mediante:

$$R^2 = (0.8671)^2$$

obteniéndose:

$$R^2 = 0.7519$$

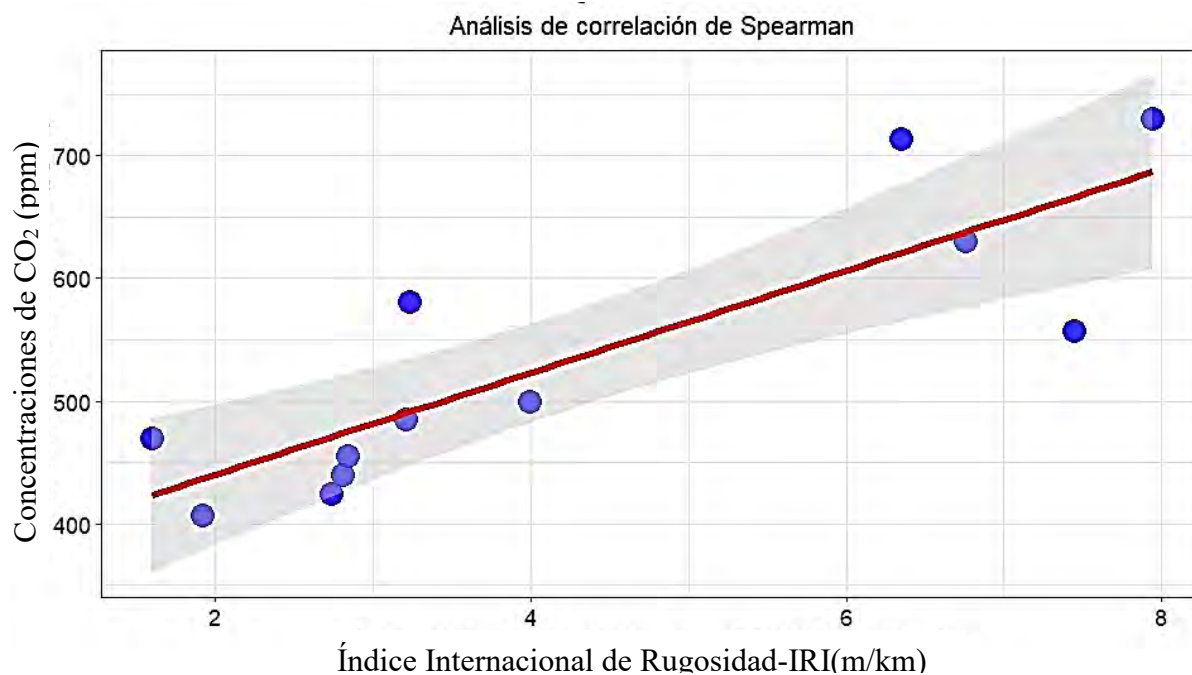
Expresado porcentualmente:

$$R^2 = 75.19 \%$$

Esto indica que aproximadamente el 75.19 % de la variabilidad de las concentraciones ambientales de CO₂ puede ser explicada por el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Figura 50.

Relación entre el IRI y las concentraciones de co₂



La Figura 51 evidencia que las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO_2) presentan una tendencia creciente a medida que aumenta el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Los puntos experimentales muestran una distribución relativamente próxima a la línea de regresión, lo que confirma la existencia de una asociación positiva importante entre ambas variables.

Desde el punto de vista técnico, valores elevados de IRI representan una superficie de rodadura más irregular y deteriorada, generando mayores vibraciones, incremento de la resistencia al rodamiento y pérdidas en la eficiencia operacional de los vehículos. Estas condiciones provocan un mayor esfuerzo mecánico y un incremento en el consumo de combustible, lo que se traduce en mayores concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO_2).

Asimismo, se observa que los subtramos con valores de IRI superiores a 6 m/km registran concentraciones de CO_2 mayores a 600 ppm, evidenciando que el deterioro funcional del pavimento influye significativamente en el desempeño ambiental del tránsito vehicular.

5.2.7 Correlación entre *PCI* y las concentraciones ambientales de CO_2

El coeficiente de correlación obtenido fue:

$$\rho = -0.8041958$$

Este resultado evidencia una correlación negativa muy fuerte entre el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y las concentraciones de CO_2 .

La relación negativa indica que, cuando el PCI aumenta, es decir, cuando el pavimento presenta mejores condiciones estructurales y funcionales las concentraciones de CO_2 disminuyen.

En contraste, pavimentos deteriorados y con menor PCI generan mayores emisiones contaminantes.

Este comportamiento se explica debido a que un pavimento en buen estado permite una circulación vehicular más uniforme, reduciendo pérdidas de energía, frenados, aceleraciones y consumo excesivo de combustible.

El valor de significancia fue:

$$p = 0.002746$$

Debido a que:

$$p < 0.05$$

la correlación se considera estadísticamente significativa.

El coeficiente de determinación fue:

$$R^2 = (-0.8042)^2$$

obteniéndose:

$$R^2 = (-0.8042)^2 = 0.647$$

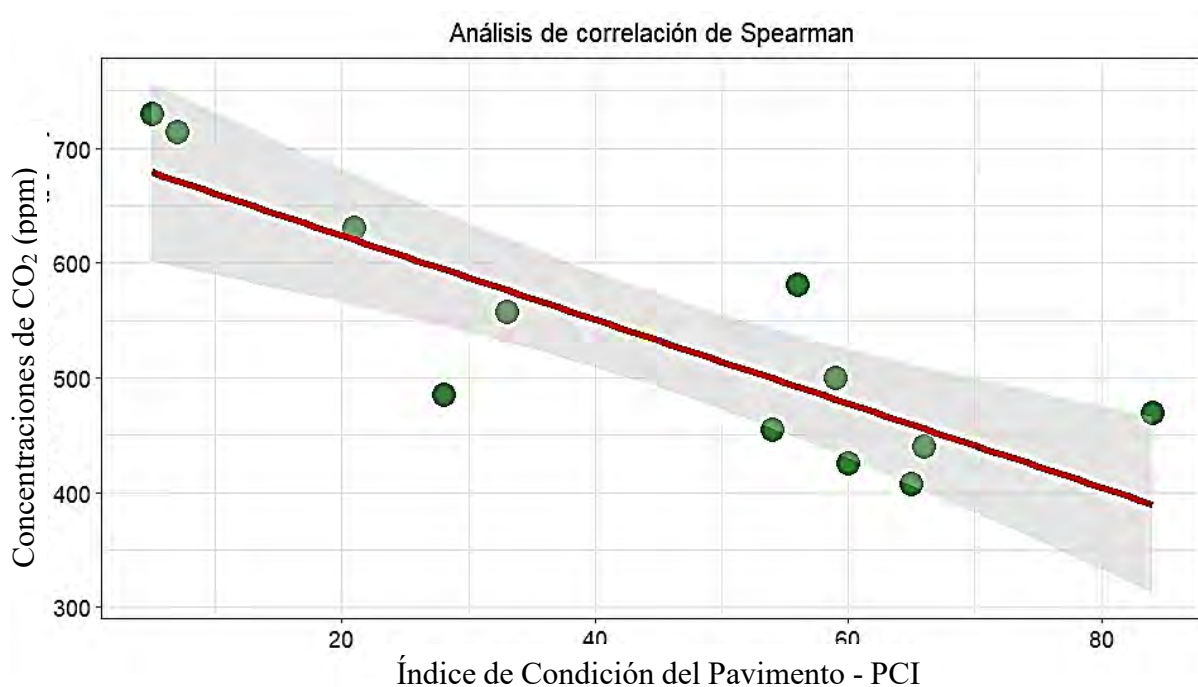
Expresado porcentualmente:

$$R^2 = 64.7\%$$

Esto indica que el 64.7 % de la variabilidad de las concentraciones ambientales de CO₂ puede ser explicada por el PCI.

Figura 51.

Relación entre el PCI y las concentraciones de CO₂



La Figura 52 muestra una tendencia descendente entre el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), evidenciando una relación inversa entre ambas variables. Esta tendencia indica que los pavimentos con mejores condiciones funcionales favorecen una circulación vehicular más uniforme y eficiente, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental asociado al tránsito urbano.

Asimismo, la pendiente negativa de la línea de regresión confirma que, a medida que el valor del PCI aumenta, las concentraciones de CO₂ disminuyen progresivamente. Los puntos experimentales presentan una distribución relativamente cercana a la línea de tendencia, lo que respalda la existencia de una correlación inversa importante entre la condición funcional del pavimento y las concentraciones ambientales de CO₂.

Desde el punto de vista técnico, los pavimentos con valores elevados de PCI presentan una superficie de rodadura más uniforme y confortable, permitiendo una operación vehicular

más estable, con menores pérdidas de energía, menor resistencia al rodamiento y menor consumo de combustible. En contraste, los pavimentos deteriorados generan mayores esfuerzos operacionales en los vehículos, provocando incrementos en el consumo energético y, consecuentemente, mayores concentraciones de dióxido de carbono (CO₂).

Además, se observa que los mayores niveles de CO₂ se registran en sectores donde el PCI es inferior a 20, mientras que los pavimentos con valores de PCI superiores a 60 presentan concentraciones considerablemente menores, cercanas a 400 ppm. Estos resultados evidencian que una adecuada conservación del pavimento contribuye significativamente a mejorar las condiciones de circulación vehicular y a reducir el impacto ambiental generado por el tránsito.

5.2.8 Correlación entre ahuellamiento y las Concentraciones de CO₂

El análisis mostró un coeficiente de Spearman de:

$$\rho = 0.5958191$$

Este valor representa una correlación positiva moderada entre el ahuellamiento y las concentraciones de CO₂.

La relación positiva indica que el incremento de deformaciones longitudinales en la superficie del pavimento contribuye al aumento de las concentraciones de CO₂.

El ahuellamiento genera alteraciones en la estabilidad y desplazamiento vehicular, incrementando la resistencia al rodamiento y el esfuerzo mecánico de operación.

El valor de significancia estadística fue:

$$p = 0.04092$$

Debido a que:

$$p < 0.05$$

la correlación encontrada es estadísticamente significativa.

El coeficiente de determinación fue:

$$R^2 = (0.5958)^2$$

obteniéndose:

$$R^2 = 0.355$$

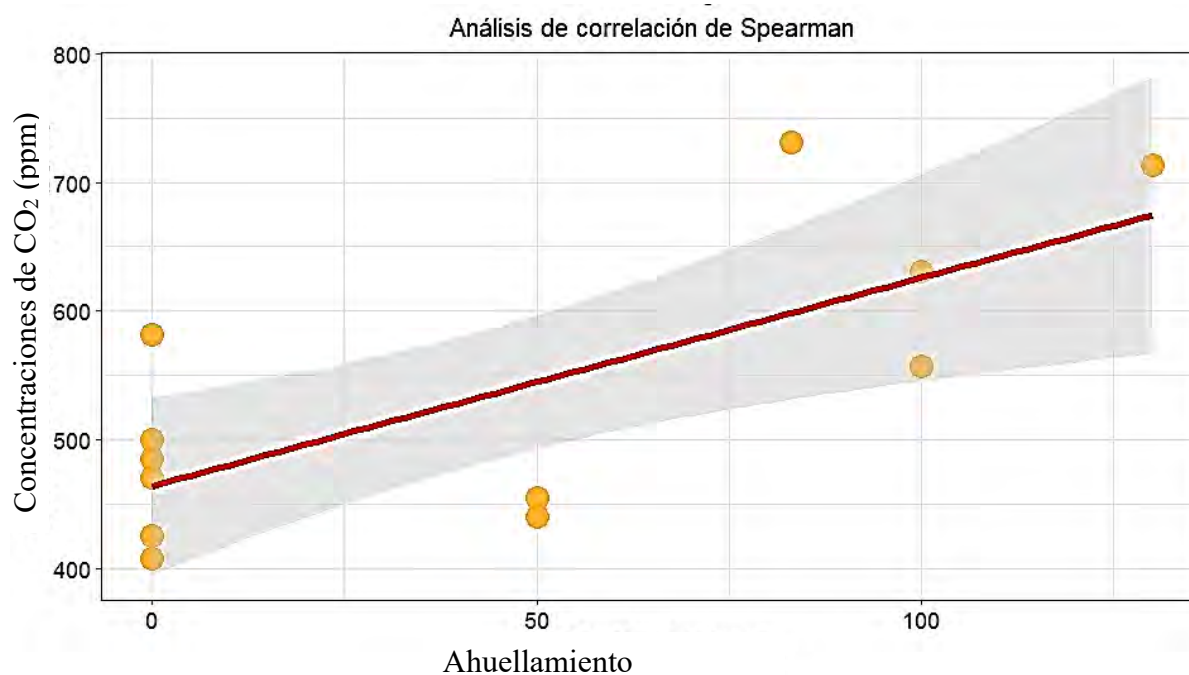
Expresado porcentualmente:

$$R^2 = 35.5\%$$

Esto indica que el ahuellamiento explica el 35.5 % de la variabilidad de las concentraciones ambientales de CO₂.

Figura 52.

Relación entre el Ahuellamiento y las concentraciones de co₂



La Figura 53 evidencia una tendencia ascendente moderada entre el ahuellamiento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), indicando que el incremento de las deformaciones longitudinales del pavimento se asocia con mayores niveles de emisiones contaminantes.

Asimismo, se observa una mayor dispersión de los puntos respecto a la línea de tendencia, lo cual explica que la correlación encontrada sea moderada en comparación con

otras variables analizadas. No obstante, la tendencia positiva se mantiene claramente definida, evidenciando la existencia de una relación directa entre ambas variables.

Desde el punto de vista técnico, el ahuellamiento genera alteraciones en la estabilidad y en las condiciones de desplazamiento de los vehículos, incrementando la resistencia al rodamiento, el esfuerzo mecánico y el consumo de combustible. Estas condiciones provocan una operación vehicular menos eficiente y, en consecuencia, un incremento progresivo de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂).

Además, se aprecia que las mayores concentraciones de CO₂ se registran en sectores donde el ahuellamiento alcanza valores cercanos a 80 mm y 140 mm, superando incluso las 700 ppm. Estos resultados evidencian que las deformaciones permanentes del pavimento contribuyen al deterioro de las condiciones de circulación vehicular y al incremento del impacto ambiental asociado al tránsito.

5.2.9 Correlación entre PSI y las Concentraciones de CO₂

El análisis de correlación de Spearman entre el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) y las concentraciones ambientales de CO₂ presentó un coeficiente de:

$$\rho = -0.8671$$

Este resultado evidencia una correlación negativa muy fuerte entre ambas variables.

La relación indica que, a medida que disminuye la serviciabilidad del pavimento, las concentraciones ambientales de dióxido de carbono tienden a incrementarse significativamente.

Desde el punto de vista técnico, un pavimento con baja serviciabilidad presenta mayores irregularidades superficiales, vibraciones y variaciones de velocidad, generando un incremento en el esfuerzo mecánico de los vehículos y un mayor consumo de combustible.

El valor de significancia obtenido fue:

$$p = 0.0004433$$

Dado que:

$$p < 0.05$$

la correlación encontrada es estadísticamente significativa.

El coeficiente de determinación fue

$$R^2 = (-0.8671)^2$$

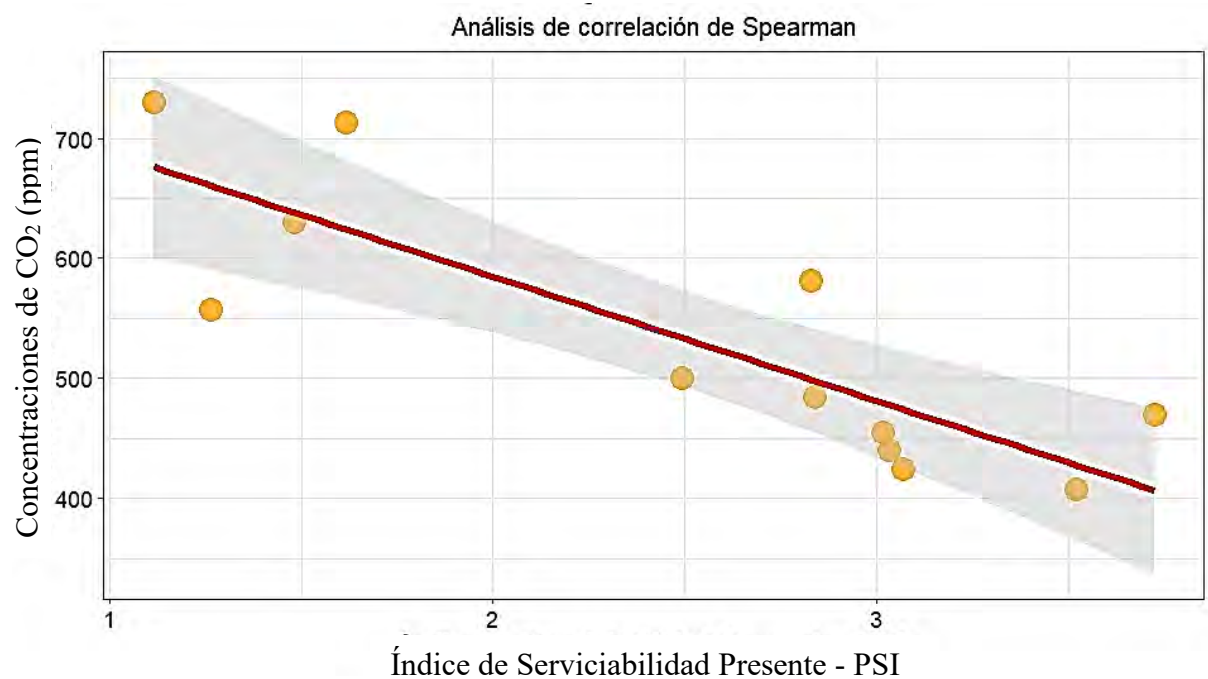
Expresado porcentualmente:

$$R^2 = 75.19\%$$

Esto indica que aproximadamente el 75.19 % de la variabilidad de las concentraciones ambientales de CO₂ puede ser explicada por el PSI.

Figura 53.

Relación entre el PSI y las Concentraciones de CO₂



La Figura 54 evidencia una tendencia descendente entre el Índice de Serviabilidad Presente (PSI) y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), indicando que los pavimentos con mejores niveles de serviabilidad generan menores niveles de emisiones contaminantes.

Asimismo, el análisis de correlación de Spearman muestra una relación inversa entre ambas variables, representada mediante una línea de tendencia descendente y un intervalo de confianza sombreado, lo que confirma la consistencia del comportamiento observado.

Los resultados indican que, a medida que el valor del PSI aumenta, las concentraciones de CO₂ disminuyen progresivamente. Esto evidencia que los pavimentos con mejores condiciones funcionales y mayor calidad de rodadura favorecen una circulación vehicular más uniforme y eficiente, reduciendo el impacto ambiental asociado al tránsito. En contraste, los pavimentos deteriorados o con baja serviciabilidad presentan mayores concentraciones de CO₂ debido a las condiciones deficientes de operación vehicular.

Desde el punto de vista técnico, el PSI representa el nivel de confort, seguridad y calidad de circulación que ofrece el pavimento al usuario. Valores bajos de PSI reflejan superficies deterioradas, con irregularidades y defectos funcionales que afectan el desplazamiento vehicular. Bajo estas condiciones, los vehículos requieren un mayor esfuerzo mecánico para desplazarse, incrementando el consumo de combustible y, consecuentemente, las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂).

Nota:

La correlación obtenida entre el IRI y el PSI presentó un coeficiente de:

$$\rho = -1.000$$

Lo cual evidencia una dependencia funcional prácticamente perfecta entre ambas variables. Este comportamiento se explica debido a que el PSI fue estimado indirectamente a partir de los valores de IRI mediante una ecuación empírica, por lo que ambas variables presentan una relación matemática directa.

5.2.10 Correlación entre aforo vehicular y las Concentraciones ambientales de CO₂

El coeficiente de correlación obtenido fue:

$$\rho = -0.8111888$$

La relación positiva indica que, conforme aumenta el volumen de tránsito vehicular, también se incrementan las concentraciones contaminantes.

El incremento del flujo vehicular genera mayores procesos de combustión interna, congestión vehicular y consumo energético, contribuyendo directamente al aumento de las concentraciones de CO₂.

El análisis de significancia mostró un valor de:

$$p = 0.002369$$

Debido a que:

$$p < 0.05$$

la correlación encontrada es estadísticamente significativa.

El coeficiente de determinación fue:

$$R^2 = (0.8112)^2$$

obteniéndose:

$$R^2 = 0.658$$

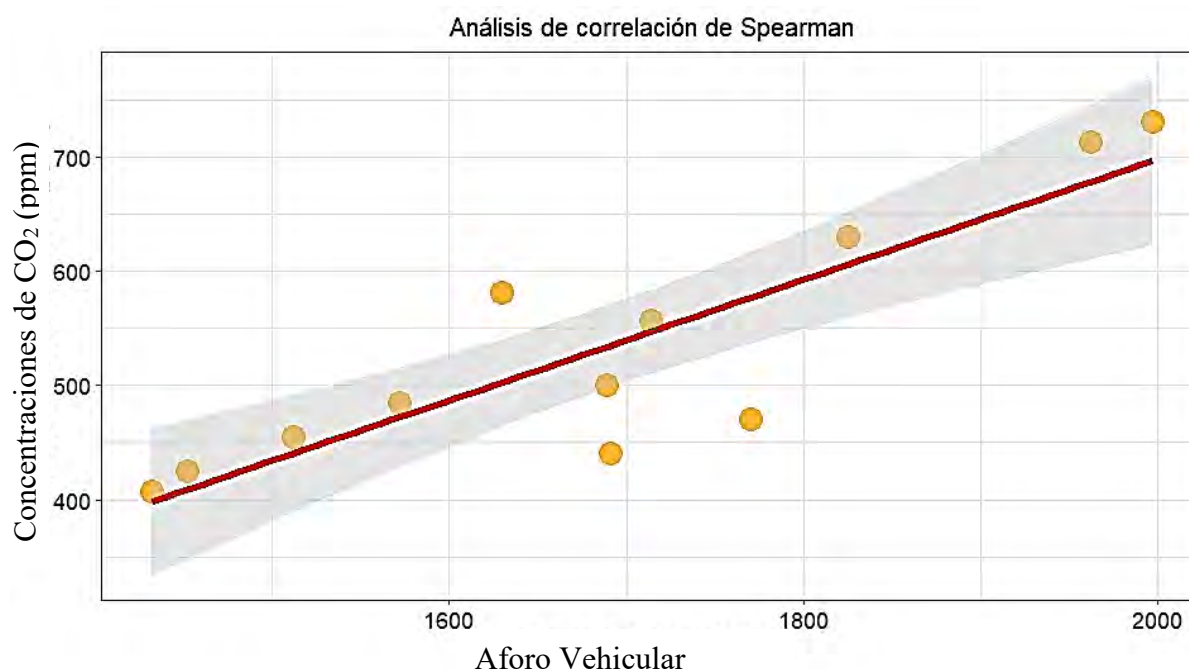
Expresado porcentualmente:

$$R^2 = 65.8\%$$

Esto indica que el 65.8 % de la variabilidad de las concentraciones ambientales de CO₂ puede ser explicada por el aforo vehicular.

Figura 54.

Relación entre aforo vehicular y las concentraciones de CO₂



La Figura 55 evidencia una tendencia ascendente entre el aforo vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), indicando que el incremento del volumen de tránsito genera mayores niveles de contaminación atmosférica en el tramo evaluado.

Asimismo, los puntos de dispersión presentan una distribución relativamente próxima a la línea de regresión, lo que confirma la existencia de una correlación positiva importante entre ambas variables. Este comportamiento demuestra que el aumento del flujo vehicular produce mayores concentraciones de CO₂ debido al incremento de los procesos de combustión interna, la congestión vehicular y las frecuentes aceleraciones y desaceleraciones durante la circulación.

Desde el punto de vista técnico, una mayor demanda vehicular incrementa el consumo de combustible y reduce la eficiencia operacional del tránsito, especialmente en condiciones

Además, se observa que las mayores concentraciones de CO₂ se presentan cuando el aforo vehicular supera aproximadamente los 1800 vehículos, alcanzando valores cercanos a 700 ppm. Estos resultados evidencian el impacto directo del tránsito vehicular sobre la calidad ambiental del entorno urbano y confirman la influencia del volumen vehicular en la generación de emisiones contaminantes.

5.2.11 Interpretación general de la significancia estadística

En todas las variables analizadas, los valores de p-value fueron inferiores al nivel de significancia establecido:

$$\alpha = 0.05$$

Lo que demuestra que todas las correlaciones obtenidas son estadísticamente significativas.

Esto implica que existe evidencia estadística suficiente para afirmar que las variables funcionales del pavimento y el aforo vehicular presentan influencia directa sobre las concentraciones ambientales de dióxido de carbono registradas en el tramo de estudio.

Los resultados obtenidos respaldan la hipótesis de investigación y confirman que el deterioro funcional del pavimento contribuye significativamente al incremento del impacto ambiental asociado al tránsito vehicular urbano.

5.2.12 Resumen General de Resultados Correlacionales

Tabla 41.

Resumen general de correlaciones

Variable	Rho de Spearman (ρ)	Tipo de correlación	p	Significancia
IRI vs CO ₂	0.867	Positiva muy fuerte	0.0004	Significativa
PCI vs CO ₂	-0.804	Negativa muy fuerte	0.0027	Significativa
Ahuellamiento vs CO ₂	0.596	Positiva moderada	0.0409	Significativa
PSI vs CO ₂	-0.867	Negativa muy fuerte	0.0004	Significativa
Aforo vs CO ₂	0.811	Positiva muy fuerte	0.0024	Significativa

La Tabla 39 presenta el resumen general de los resultados correlacionales obtenidos entre las variables funcionales del pavimento, el aforo vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂). Los resultados evidencian la existencia de relaciones estadísticamente significativas entre las variables analizadas, confirmando la influencia del estado funcional del pavimento y del volumen de tránsito sobre las concentraciones de CO₂ en el tramo de estudio.

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el aforo vehicular presentan correlaciones positivas muy fuertes con las concentraciones ambientales de CO₂, con coeficientes de Spearman de $\rho = 0.867$ y $\rho = 0.811$, respectivamente. Estos resultados indican que el incremento de la rugosidad superficial del pavimento y del volumen vehicular contribuyen significativamente al aumento de las concentraciones contaminantes, debido a las mayores pérdidas de eficiencia operacional, incremento de la resistencia al rodamiento y mayor consumo de combustible.

Por otro lado, el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) presentan correlaciones negativas muy fuertes con las concentraciones de CO₂, obteniéndose coeficientes de $\rho = -0.804$ y $\rho = -0.867$, respectivamente. Estos resultados evidencian que mejores condiciones funcionales y mayores niveles de serviciabilidad favorecen una circulación vehicular más uniforme y eficiente, reduciendo el esfuerzo mecánico de los vehículos y, en consecuencia, disminuyendo las concentraciones ambientales de dióxido de carbono.

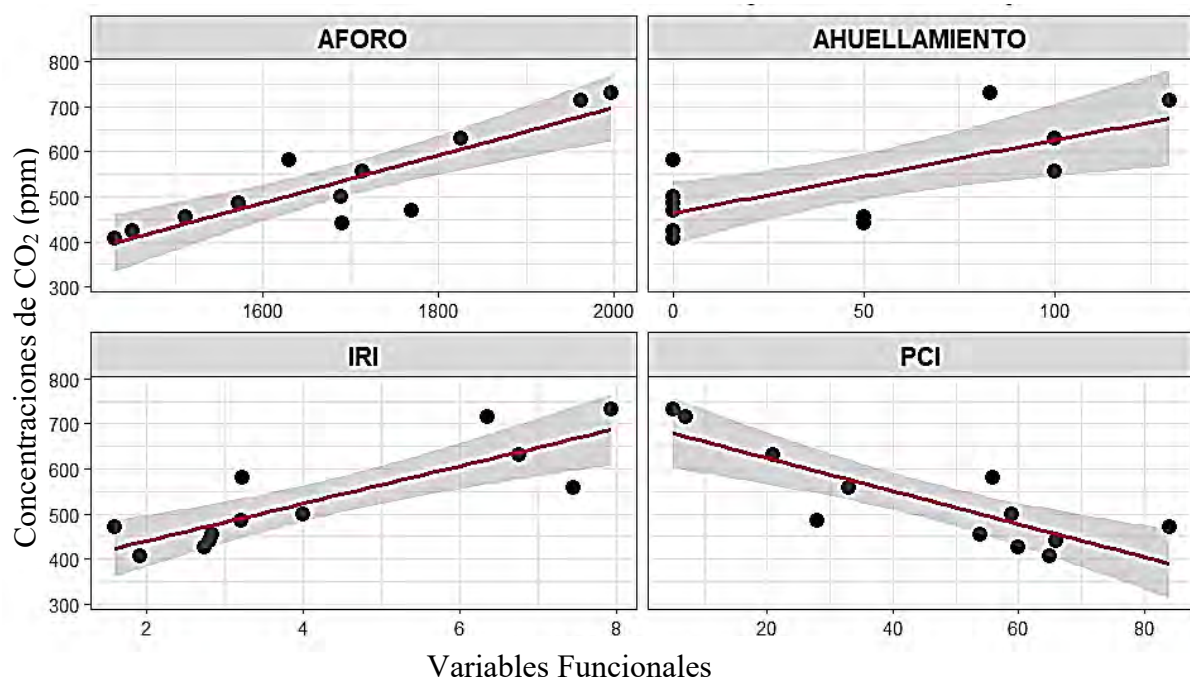
Asimismo, el ahuellamiento presenta una correlación positiva moderada ($\rho = 0.596$), indicando que las deformaciones longitudinales del pavimento también influyen en el incremento de las concentraciones ambientales de CO₂, aunque con menor intensidad respecto al IRI, PSI y aforo vehicular. Este comportamiento se asocia a la alteración de las condiciones de circulación y al incremento de la resistencia al desplazamiento vehicular.

Adicionalmente, todos los valores de significancia obtenidos ($p\text{-value} < 0.05$) demuestran que las correlaciones encontradas son estadísticamente significativas, lo que permite validar la relación existente entre las variables estudiadas y descartar que los resultados hayan ocurrido por azar.

En conjunto, los resultados obtenidos confirman que el deterioro funcional del pavimento influye significativamente en el comportamiento operacional de los vehículos y en el incremento de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO_2) en vías urbanas con elevado flujo vehicular. Por ello, el adecuado mantenimiento y conservación de la infraestructura vial constituye una medida fundamental no solo para mejorar la serviciabilidad y el nivel de servicio de las vías urbanas, sino también para contribuir a la reducción del impacto ambiental generado por el tránsito vehicular.

Figura 55.

Relación entre las variables funcionales del pavimento y las concentraciones de CO_2



La Figura 56 evidencia la existencia de relaciones significativas entre las variables funcionales del pavimento, el aforo vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de

carbono (CO₂), demostrando que el estado funcional de la infraestructura vial influye directamente en el desempeño ambiental del tránsito vehicular.

A partir del análisis gráfico, se identificó que el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), el ahuellamiento y el aforo vehicular presentan tendencias positivas respecto a las concentraciones de CO₂, lo que indica que el incremento de dichas variables se asocia con mayores niveles de contaminación ambiental. En contraste, el Índice de Condición del Pavimento (PCI) presenta una tendencia negativa, evidenciando que mejores condiciones funcionales del pavimento favorecen la reducción de las emisiones contaminantes.

En primer lugar, el incremento del aforo vehicular genera un aumento considerable de las concentraciones de CO₂ debido al mayor número de vehículos en circulación, al incremento de los procesos de combustión interna y a la presencia de condiciones de congestión vehicular. Este comportamiento confirma que el tránsito vehicular constituye uno de los principales factores asociados a la contaminación atmosférica en vías urbanas.

Asimismo, el incremento del IRI y del ahuellamiento refleja un mayor deterioro funcional de la superficie del pavimento, generando condiciones menos eficientes para la circulación vehicular. Las irregularidades superficiales y las deformaciones longitudinales incrementan la resistencia al rodamiento y el esfuerzo mecánico de los vehículos, ocasionando mayores pérdidas de eficiencia operacional, en consecuencia, mayores concentraciones ambientales de CO₂.

Por otro lado, el comportamiento inverso observado entre el PCI y las concentraciones de CO₂ demuestra que los pavimentos en mejores condiciones funcionales permiten una circulación más uniforme, estable y eficiente, reduciendo las aceleraciones y desaceleraciones frecuentes, así como el consumo energético de los vehículos. Esto evidencia que un adecuado nivel de conservación vial contribuye directamente a la reducción del impacto ambiental generado por el tránsito vehicular.

De manera integral, los resultados obtenidos confirman que el deterioro funcional del pavimento no solo afecta la comodidad, seguridad y serviciabilidad de la vía, sino que también incrementa el impacto ambiental asociado al transporte terrestre. En consecuencia, el mantenimiento oportuno y la adecuada gestión de la infraestructura vial constituyen estrategias fundamentales para mejorar el desempeño operacional de las vías urbanas y contribuir a la reducción de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), promoviendo sistemas de transporte más sostenibles y compatibles con los objetivos de mitigación ambiental y reducción de emisiones contaminantes.

5.2.13 *Modelo de Regresión Lineal Múltiple para la Estimación de las Concentraciones Ambientales de CO₂*

Con la finalidad de determinar la relación conjunta entre las variables funcionales del pavimento, el tránsito vehicular y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), se desarrolló un modelo de regresión lineal múltiple mediante el software estadístico R. En el modelo, la concentración ambiental de CO₂, expresada en partes por millón (ppm), fue considerada como variable dependiente; mientras que el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), el Índice de Condición del Pavimento (PCI), el ahuellamiento y el aforo vehicular fueron incorporados como variables explicativas.

La expresión general del modelo de regresión lineal múltiple está dada por:

$$CO_2 = \beta_0 + \beta_1(IRI) + \beta_2(PCI) + \beta_3(AHUELLAMIENTO) + \beta_4(AFORO) + \varepsilon$$

Donde:

CO₂: concentración ambiental de dióxido de carbono (ppm).

β_0 : constante del modelo o intercepto del modelo.

β_1 , β_2 , β_3 y β_4 : coeficientes de regresión de las variables explicativas.

ε : término de error aleatorio, que representa la variabilidad de la concentración de CO₂ no explicada por las variables incorporadas en el modelo.

Como resultado del procesamiento estadístico, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$CO_2 = 14.3889 + 7.6972(ARI) - 1.9444(PCI) - 0.3117(Ahuellamiento) + 0.3476(Aforo)$$

La interpretación de los coeficientes debe realizarse manteniendo constantes las demás variables incluidas en el modelo. Bajo esta condición, el coeficiente del IRI ($\beta = 7.6972$) indica que un incremento de una unidad en el IRI se asocia con un incremento estimado de 7.6972 ppm en la concentración ambiental de CO₂. No obstante, este efecto no resultó estadísticamente significativo ($p = 0.5988$), por lo que no existe evidencia estadística suficiente, al nivel de significancia de 5 %, para afirmar que el IRI presente un efecto lineal independiente sobre las concentraciones de CO₂ dentro del modelo múltiple.

En el caso del PCI, el coeficiente obtenido fue negativo ($\beta = -1.9444$), lo que indica una **asociación inversa** entre la condición del pavimento y la concentración de CO₂, una vez controladas las demás variables explicativas. En términos del modelo, un incremento de una unidad en el PCI se relaciona con una disminución estimada de 1.9444 ppm de CO₂. Sin embargo, el valor p obtenido ($p = 0.0897$) supera el nivel de significancia de 0.05, por lo que dicha asociación no puede considerarse estadísticamente significativa al 95 % de confianza. Este resultado debe interpretarse como una tendencia observada en los datos y no como evidencia concluyente de un efecto independiente del PCI sobre las concentraciones de CO₂.

Respecto al ahuellamiento, se obtuvo un coeficiente de regresión negativo ($\beta = -0.3117$), indicando que, manteniendo constantes el IRI, PCI y aforo vehicular, un incremento de una unidad en el ahuellamiento se asocia con una reducción estimada de 0.3117 ppm en la concentración de CO₂. Sin embargo, esta asociación no fue estadísticamente significativa ($p = 0.5323$). Por consiguiente, el modelo no proporciona evidencia suficiente para establecer un efecto lineal independiente del ahuellamiento sobre las concentraciones ambientales de CO₂.

Por su parte, el aforo vehicular presentó un coeficiente positivo de 0.3476, indicando que, manteniendo constantes las demás variables, un incremento de una unidad en el aforo vehicular se asocia con un incremento estimado de 0.3476 ppm en la concentración ambiental

de CO₂. A diferencia de las demás variables, este coeficiente presentó significancia estadística ($p = 0.0127 < 0.05$), por lo que existe evidencia estadística suficiente para afirmar que el aforo vehicular mantiene una asociación lineal significativa con las concentraciones ambientales de CO₂ dentro del modelo estimado.

En consecuencia, desde el punto de vista de la significancia individual de los parámetros, el aforo vehicular constituye la única variable que presenta evidencia estadística de una asociación lineal independiente con las concentraciones ambientales de CO₂. Esto no implica necesariamente que sea la variable de mayor efecto en términos absolutos, debido a que los coeficientes de regresión se encuentran expresados en unidades y escalas diferentes. Por ello, la comparación directa de los valores de β no constituye un criterio suficiente para establecer cuál variable presenta mayor magnitud de efecto.

5.2.14 Evaluación de la significancia global y capacidad explicativa del modelo

Para determinar la capacidad explicativa y la significancia global del modelo se analizaron el coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de determinación ajustado, el error estándar residual y la prueba F.

El modelo obtuvo un $R^2 = 0.9086$, lo que indica que el 90.86 % de la variabilidad observada en las concentraciones ambientales de CO₂ puede ser explicada conjuntamente por las variables IRI, PCI, ahuellamiento y aforo vehicular incluidas en el modelo. El 9.14 % restante corresponde a variabilidad asociada a otros factores no contemplados en la ecuación, además del componente aleatorio propio del modelo.

Asimismo, se obtuvo un R^2 ajustado = 0.8564, valor que considera el número de variables explicativas incorporadas y penaliza la inclusión de predictores que no aportan información suficiente al modelo. La diferencia entre el R^2 y el R^2 ajustado evidencia que parte de la capacidad explicativa del modelo disminuye al considerar la cantidad de predictores; sin embargo, el valor ajustado continúa siendo elevado, lo que indica una adecuada capacidad explicativa conjunta de las variables incorporadas.

El error estándar residual de 41.76 ppm representa la magnitud aproximada del error de predicción del modelo en las unidades de la variable dependiente. Este resultado permite establecer que las estimaciones obtenidas mediante la ecuación presentan, en promedio, una dispersión residual del orden de 41.76 ppm respecto a los valores observados, considerando el comportamiento conjunto de las variables explicativas.

Por otra parte, la prueba global de significancia presentó un estadístico $F = 17.41$ y un valor $p = 0.0009633$, inferior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$). Por tanto, se rechaza la hipótesis nula de que todos los coeficientes de las variables explicativas sean simultáneamente iguales a cero. En consecuencia, existe evidencia estadística suficiente para afirmar que el conjunto de variables incorporadas en el modelo presenta capacidad explicativa significativa respecto a la variabilidad de las concentraciones ambientales de CO_2 .

Es importante precisar que la significancia global del modelo no implica que cada variable explicativa sea individualmente significativa. En los resultados obtenidos, únicamente el aforo vehicular presentó significancia estadística individual, mientras que el IRI, PCI y ahuellamiento no alcanzaron el nivel de significancia de 0.05. Por tanto, la elevada capacidad explicativa global del modelo debe interpretarse considerando el efecto conjunto de los predictores y no como evidencia de que cada variable, por separado, explique significativamente las concentraciones de CO_2 .

Tabla 42.

Coefficientes estimados del modelo de regresión lineal múltiple

Variable	Coefficiente (β)	Error estándar	Estadístico t	Valor p
Intercepto	14.3889	175.599	0.082	0.937
IRI	7.6972	13.9695	0.551	0.5988
PCI	-1.9444	0.9877	-1.969	0.0897
Ahuellamiento	-0.3117	0.4745	-0.657	0.5323
Aforo vehicular	0.3476	0.1046	3.325	0.0127

Tabla 43.*Estadísticos de ajuste del modelo de regresión lineal múltiple*

Estadístico	Valor
Coeficiente de determinación (R^2)	0.9086
Coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado)	0.8564
Error estándar residual	41.76
Estadístico F	17.41
Valor de significancia (p)	0.0009633

5.2.15 Interpretación integral del modelo

Los resultados de la regresión lineal múltiple permiten establecer que existe una relación estadísticamente significativa entre el conjunto de variables explicativas consideradas y las concentraciones ambientales de CO₂ en el tramo evaluado de la avenida La Cultura. El elevado R^2 obtenido (0.9086) evidencia una alta capacidad explicativa conjunta del modelo; sin embargo, la significancia individual de los parámetros muestra que esta capacidad no se distribuye de manera uniforme entre todos los predictores.

El aforo vehicular fue la única variable que presentó un coeficiente estadísticamente significativo y de signo positivo, lo cual es consistente con el comportamiento esperado, debido a que un mayor volumen de vehículos implica una mayor actividad de combustión y, consecuentemente, un potencial incremento de las emisiones de CO₂ que pueden modificar las concentraciones ambientales registradas. En este sentido, los resultados respaldan la importancia del tránsito vehicular como factor asociado a la variabilidad de las concentraciones de CO₂ dentro del área de estudio.

Por otro lado, los coeficientes correspondientes al IRI, PCI y ahuellamiento no presentaron significancia estadística individual. No obstante, sus signos son coherentes con las tendencias identificadas en el análisis correlacional: mayores niveles de deterioro funcional tienden a relacionarse con mayores concentraciones de CO₂, mientras que mejores condiciones

del pavimento tienden a asociarse con menores concentraciones. La ausencia de significancia individual en el modelo múltiple puede estar relacionada con la interacción estadística entre los predictores, la escala de medición de las variables, el tamaño de la muestra y la incorporación simultánea de variables que describen diferentes características del estado del pavimento.

En consecuencia, los resultados no permiten afirmar que el deterioro del pavimento constituya, por sí mismo, una causa directa del incremento de las concentraciones ambientales de CO₂. Más apropiadamente, evidencian que las condiciones funcionales del pavimento y el tránsito vehicular presentan un comportamiento asociado con las concentraciones de CO₂, siendo el aforo vehicular el único predictor que mostró una asociación lineal estadísticamente significativa dentro del modelo múltiple.

Por tanto, el modelo desarrollado constituye una herramienta estadística de carácter explicativo y predictivo para el contexto específico del tramo Enaco–Limacpampa, permitiendo estimar la concentración ambiental de CO₂ a partir de los valores observados de IRI, PCI, ahuellamiento y aforo vehicular. Su aplicación debe limitarse a condiciones similares a las consideradas en la investigación, debido a que la concentración de CO₂ también puede estar condicionada por factores no incluidos en el modelo, tales como las características de los vehículos, tipo y consumo de combustible, velocidad de circulación, condiciones meteorológicas, dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad, topografía y condiciones de dispersión atmosférica.

En este sentido, los resultados obtenidos proporcionan evidencia cuantitativa sobre la relación conjunta entre las características funcionales del pavimento, el tránsito vehicular y las concentraciones ambientales de CO₂, constituyendo un aporte para la evaluación integrada del comportamiento funcional de la infraestructura vial y su relación con las condiciones ambientales del tramo estudiado.

5.3. Contraste de las hipótesis

Hipótesis General

H.G.: Existe una relación significativa entre la pérdida de la serviciabilidad del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el tránsito vehicular en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025.

Los resultados obtenidos evidencian que los subtramos con menor nivel de serviciabilidad del pavimento presentan mayores concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂). En los subtramos Enaco – Cuarto Paradero, caracterizado por pavimento flexible en condición mala, se registraron elevados valores de rugosidad (IRI promedio = 6,625 m/km), bajos niveles de serviciabilidad (PSI promedio = 1,530) y concentraciones de CO₂ cercanas a 900 ppm durante los periodos de mayor demanda vehicular.

Por el contrario, en los subtramos con mejores condiciones funcionales del pavimento, como el los subtramos Cuarto Paradero – Primer Paradero de San Sebastián, se registraron menores valores de rugosidad y mayores niveles de PSI, asociados a concentraciones de CO₂ más bajas y estables. Asimismo, el análisis correlacional mediante el coeficiente Rho de Spearman evidenció correlaciones significativas entre las variables funcionales del pavimento y las concentraciones ambientales de CO₂.

En consecuencia, **se acepta la hipótesis general.**

Hipótesis Específicas

H.E1.: Existe una relación directa entre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025.

El análisis estadístico correlacional mostró un coeficiente Rho de Spearman de:

$$\rho = 0.8671$$

lo cual evidencia una correlación positiva muy fuerte entre el IRI y las concentraciones ambientales de CO₂. Asimismo, el valor de significancia obtenido fue:

$$p = 0.0004433 < 0.05$$

confirmándose que la relación encontrada es estadísticamente significativa.

En consecuencia, **se acepta la hipótesis específica 01**

H.E2.: Existe una relación inversa entre el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025.

El análisis estadístico correlacional mostró un coeficiente Rho de Spearman de:

$$\rho = -0.8042$$

Evidenciando una correlación negativa muy fuerte entre el PCI y las concentraciones ambientales de CO₂. Del mismo modo, el valor de significancia estadística fue:

$$p = 0.002746 < 0.05$$

por lo que la relación encontrada resulta estadísticamente significativa.

Los resultados muestran que los subtramos con menores valores de PCI (PCI =16.50), correspondientes a pavimentos deteriorados, presentan mayores concentraciones de CO₂ (hasta 900 ppm); mientras que los pavimentos con mejores condiciones funcionales registran menores niveles contaminantes.

Por lo tanto, **se acepta la hipótesis específica 02**, verificándose la existencia de una relación inversa y significativa entre el PCI y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂)

H.E3.: Existe una relación directa entre el nivel de ahuellamiento del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025.

El análisis estadístico mostró un coeficiente de correlación de Spearman de:

$$\rho = 0.5958$$

lo cual representa una correlación positiva moderada entre el ahuellamiento y las concentraciones ambientales de CO₂. Asimismo, el valor de significancia obtenido fue:

$$p = 0.04092 < 0.05$$

confirmando que la relación encontrada es estadísticamente significativa.

Los mayores niveles de ahuellamiento con profundidades mayores a 120 mm se registraron en los subtramos con pavimento flexible deteriorado.

En consecuencia, **se acepta la hipótesis específica 03**, evidenciándose una relación directa y significativa entre el ahuellamiento del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂).

H.E4.: Existen diferencias en las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) entre los distintos niveles de serviciabilidad del pavimento, determinados a partir de los valores de PCI, IRI, ahuellamiento y PSI, considerando el flujo vehicular registrado en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025.

Los resultados obtenidos evidencian diferencias significativas en las concentraciones ambientales de CO₂ entre los distintos niveles de serviciabilidad del pavimento. Los subtramos con condición funcional mala, caracterizados por elevados valores de IRI, bajos valores de PCI y PSI, y presencia de ahuellamiento, registraron las mayores concentraciones de CO₂, alcanzando valores cercanos a 900 ppm.

Por el contrario, los subtramos con mejores condiciones funcionales del pavimento presentaron menores niveles de concentración y menor variabilidad de CO₂, aun cuando existían volúmenes vehiculares importantes. Esto demuestra que la condición superficial del pavimento influye directamente en el comportamiento operacional del tránsito y en la generación de emisiones contaminantes.

En consecuencia, **se acepta la hipótesis específica 04**, confirmándose la existencia de diferencias significativas en las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) según el nivel de serviciabilidad del pavimento.

5.4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que la pérdida de serviciabilidad del pavimento influye significativamente en el incremento de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), confirmando la relación existente entre la condición funcional del pavimento, el tránsito vehicular y el impacto ambiental generado en vías urbanas.

En relación con la rugosidad superficial del pavimento, se determinó que los subtramos con mayores valores de IRI presentan concentraciones más elevadas de CO₂, mientras que los sectores con menor rugosidad registran niveles más bajos y estables. Estos resultados guardan concordancia con lo señalado por Zaabar y Chatti (2010), quienes concluyen que el incremento de la rugosidad superficial genera mayores consumos de combustible y condiciones operacionales menos eficientes, influyendo indirectamente en la generación de emisiones vehiculares.

Asimismo, los resultados obtenidos coinciden con el planteamiento de la United States Environmental Protection Agency (EPA, 2021), a través del modelo MOVES, el cual establece que las condiciones operacionales del tránsito, la velocidad de circulación y las características de la vía influyen directamente en la generación de emisiones atmosféricas vehiculares. En ese sentido, la presente investigación confirma que el deterioro funcional del pavimento modifica las condiciones de circulación vehicular, incrementando las concentraciones ambientales de CO₂.

Respecto al aforo vehicular, los resultados evidencian que las mayores concentraciones de CO₂ se presentan en periodos y sectores con elevada intensidad de tránsito. Este comportamiento coincide con lo reportado por Gomez Castañeda y Gonzales Yjuma (2020),

quienes identificaron que las mayores concentraciones de contaminantes atmosféricos se registran en zonas urbanas con congestión vehicular y alto flujo de tránsito.

De igual manera, los resultados son consistentes con la investigación desarrollada por Perez Retiz y Vásquez Baca (2021), quienes concluyen que las concentraciones ambientales de CO₂ presentan relación directa con la intensidad del tránsito vehicular y las condiciones de circulación urbana.

Asimismo, los hallazgos relacionados con el impacto del tránsito pesado y las condiciones operacionales del transporte coinciden con lo señalado por Nielsen, Gürtler y Peters (2024), quienes determinaron que los vehículos pesados generan una proporción importante de emisiones atmosféricas debido a sus características operativas y consumo energético.

A nivel local, los resultados obtenidos presentan concordancia con lo reportado por Alonzo Lanado (2023), quien identificó un deterioro significativo del pavimento en distintos sectores de la avenida La Cultura asociado al elevado volumen de tránsito vehicular. Del mismo modo, los resultados coinciden con los estudios desarrollados por Carhuarupay Molleda (2010) y Gil Mora (2021), quienes señalan que el transporte vehicular constituye una de las principales fuentes de contaminación atmosférica en la ciudad del Cusco.

En conjunto, la discusión de resultados permite afirmar que la condición funcional del pavimento influye significativamente en el comportamiento operacional del tránsito vehicular y en las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂). En consecuencia, la presente investigación aporta evidencia técnica que relaciona los indicadores funcionales del pavimento con las concentraciones ambientales de CO₂ asociadas al tránsito vehicular urbano, demostrando que el deterioro de la infraestructura vial no solo afecta la serviciabilidad y comodidad de circulación, sino también el impacto ambiental generado por el transporte terrestre.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Se determinó una relación estadísticamente significativa entre la pérdida de serviciabilidad del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO_2) asociadas al tránsito vehicular en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025. validándose el cumplimiento del objetivo general mediante el análisis correlacional de Spearman ($p < 0.05$).

Se determinó una correlación positiva muy fuerte entre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO_2), obteniéndose un coeficiente Rho de Spearman de $\rho = 0.8671$ y un nivel de significancia de $p = 0.0004433 < 0.05$, lo que demuestra que la relación encontrada es estadísticamente significativa. Asimismo, el coeficiente de determinación ($R^2 = 75.19 \%$) evidencia que aproximadamente el 75.19 % de la variabilidad de las concentraciones ambientales de CO_2 puede ser explicada por el IRI. Desde el punto de vista técnico, los pavimentos con mayor rugosidad superficial generan mayores vibraciones, incremento de la resistencia al rodamiento y menores condiciones de eficiencia operacional vehicular, contribuyendo al incremento del consumo de combustible y, consecuentemente, al aumento de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono.

Se determinó una correlación negativa muy fuerte entre el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO_2), obteniéndose un coeficiente Rho de Spearman de $\rho = -0.8042$ y un nivel de significancia de $p = 0.002746 < 0.05$, lo que demuestra que la relación encontrada es estadísticamente significativa. Asimismo, el coeficiente de determinación ($R^2 = 64.7 \%$) evidencia que aproximadamente el 64.7 % de la variabilidad de las concentraciones ambientales de CO_2 puede ser explicada por el PCI. Los resultados obtenidos indican que los pavimentos con mejores condiciones funcionales y mayores valores de PCI favorecen una circulación vehicular más uniforme y eficiente,

reduciendo las pérdidas de energía, las aceleraciones y desaceleraciones frecuentes, así como el consumo de combustible. En contraste, los pavimentos con mayores niveles de deterioro funcional generan condiciones menos eficientes de circulación, contribuyendo al incremento de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono asociadas al tránsito vehicular.

Se determinó una correlación positiva moderada entre el ahuellamiento del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂), obteniéndose un coeficiente Rho de Spearman de $\rho = 0.5958$ y un nivel de significancia de $p = 0.04092 < 0.05$, lo que confirma que la relación encontrada es estadísticamente significativa. Asimismo, el coeficiente de determinación ($R^2 = 35.5 \%$) indica que aproximadamente el 35.5 % de la variabilidad de las concentraciones ambientales de CO₂ puede ser explicada por el ahuellamiento. Los resultados evidencian que las deformaciones longitudinales del pavimento alteran las condiciones normales de desplazamiento vehicular, incrementando la resistencia al rodamiento y el esfuerzo mecánico durante la circulación, contribuyendo al incremento de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono en el entorno vial.

Se comprobó que existen diferencias significativas en las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) según los niveles de serviciabilidad del pavimento evaluados mediante los indicadores IRI, PCI, ahuellamiento y PSI, considerando además el aforo vehicular del tramo de estudio. El análisis correlacional evidenció que el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) presentó una correlación negativa muy fuerte con las concentraciones ambientales de CO₂ ($\rho = -0.8671$; $p < 0.05$), mientras que el aforo vehicular mostró una correlación positiva muy fuerte ($\rho = 0.8112$; $p < 0.05$), demostrando que el deterioro funcional del pavimento y el incremento del flujo vehicular contribuyen significativamente al aumento de las concentraciones ambientales de CO₂ en el entorno vial.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda a las entidades responsables de la gestión vial urbana de la ciudad del Cusco ejecutar trabajos de rehabilitación y reconstrucción del pavimento en los subtramos que presentan elevados valores de IRI, bajos valores de PCI, presencia significativa de ahuellamiento y menores niveles de serviciabilidad, especialmente en el sector comprendido entre Enaco y el Cuarto Paradero.

Se recomienda implementar programas de mantenimiento periódico y conservación vial orientados a mejorar y preservar las condiciones funcionales del pavimento, priorizando los sectores con mayor deterioro y mayor flujo vehicular.

Se recomienda incorporar el monitoreo de las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO_2) como indicador complementario en estudios de evaluación ambiental de las vías urbanas, especialmente en sectores con alta intensidad de tránsito y problemas recurrentes de congestión vehicular.

Se recomienda realizar mediciones de CO_2 en diferentes horarios del día, incluyendo periodos de mayor y menor flujo vehicular, con la finalidad de identificar variaciones temporales en las concentraciones y determinar los horarios en los que se presentan mayores niveles de acumulación de CO_2 .

Se recomienda ampliar el número de puntos de monitoreo de CO_2 en futuras evaluaciones, considerando sectores con diferentes condiciones funcionales del pavimento, intensidades de tránsito y características geométricas de la vía. Esto permitiría obtener una representación espacial más completa de la distribución de las concentraciones ambientales.

Se recomienda registrar simultáneamente variables meteorológicas, como temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, debido a que estas condiciones pueden influir en la dispersión y acumulación del CO_2 en el entorno de la vía. Su incorporación permitiría interpretar con mayor precisión las variaciones observadas durante el monitoreo.

Se recomienda complementar las mediciones puntuales de CO₂ con campañas de monitoreo de mayor duración, incluyendo diferentes días de la semana y periodos del año. Esto permitiría identificar posibles variaciones asociadas al comportamiento del tránsito, las condiciones climáticas y las actividades urbanas presentes en el entorno.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones incorporen variables relacionadas con la operación vehicular, como velocidad de circulación, nivel de congestión, composición vehicular y tiempo de permanencia de los vehículos, además de modelos especializados de estimación de emisiones como MOVES y modelos de desempeño vial como HDM-4. Esto permitiría complementar las mediciones ambientales directas y profundizar el análisis de la relación entre pavimento, tránsito y emisiones vehiculares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Estados Unidos.
- Agency, U. S. (2021). *Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES)*. Washington D.C., Estados Unidos.
- American Association of State Highway Officials. (1962). *The AASHO Road Test: Proceedings and Findings*. Washington.
- Arias, Fidias, G. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica*. Caracas, Venezuela.
- ASTM D6433 International. (2003). *Standard Practice for Pavement Condition Index Surveys*. West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- Carhuarupay Molleda, I. I. (2020). *Grado de contaminación por dióxido de carbono en la ciudad del Cusco*. Cusco.
- Chavez, C., & Navarro Mendoza, Á. J. (2023). "Evaluación del Impacto Ambiental del Ciclo de Vida de Pavimentos Urbanos en la Región Piura". Piura, Peru.
- del Águila Rodríguez, P. (1999). *Manual del Usuario MERLIN – MERLÍN equipo para rugosidad*. Lima, Perú.
- Gialos, A., Zeimpekis, V., Madas, M., & Papageorgiou, K. (2022). Calculation and Assessment of CO₂e Emissions in Road Freight Transportation: A Greek Case Study. *Revista Sustainability*.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F., México.
- Huamán Ojeda, I. O. (2012). *Evaluación de emisiones vehiculares en el Callao*. Lima, Perú: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA).
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. Upper Saddle River, New Jersey, Estados Unidos.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), M. (2016). *Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras*. Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2001). *Decreto Supremo N.º 047-2001-MTC que establece los Límites Máximos Permisibles de emisiones contaminantes para vehículos automotores*. MTC.
- Ministerio del Ambiente (MINAM), M. (2022). *Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del Sector Energía 2019 (RAGEI 2019)*. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Estándares de Calidad Ambiental para Aire*. Lima, Perú.

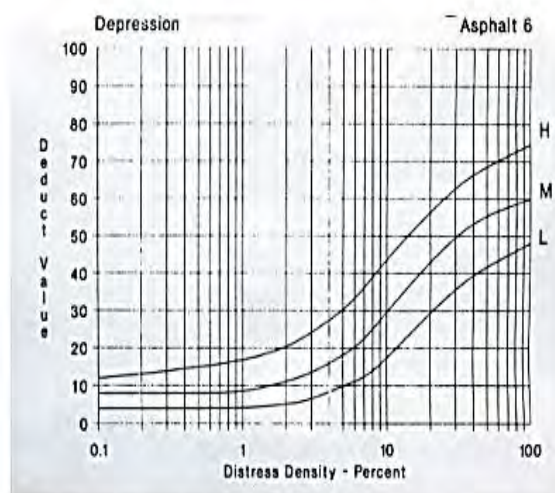
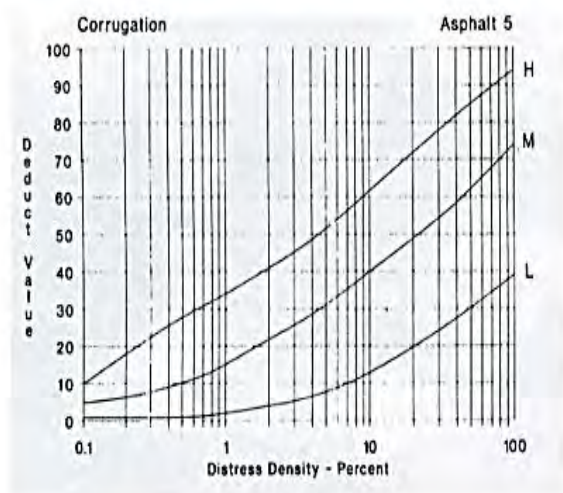
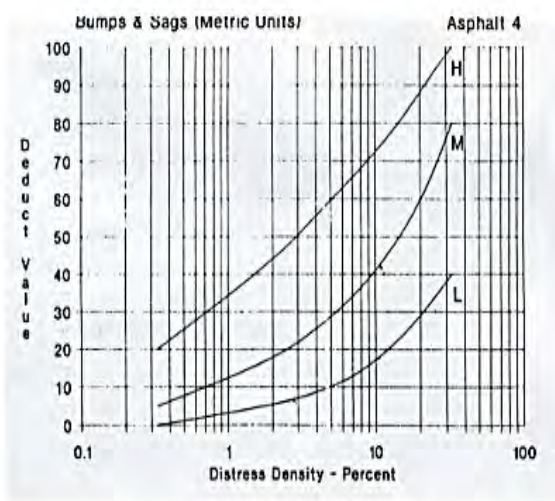
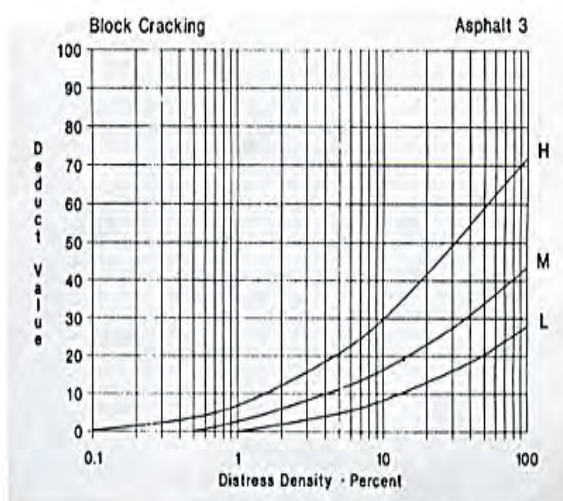
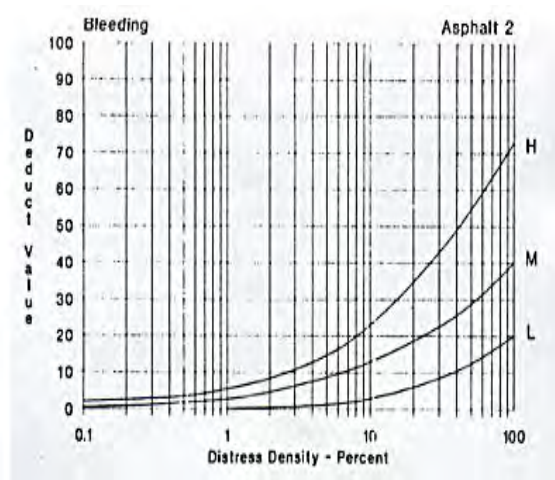
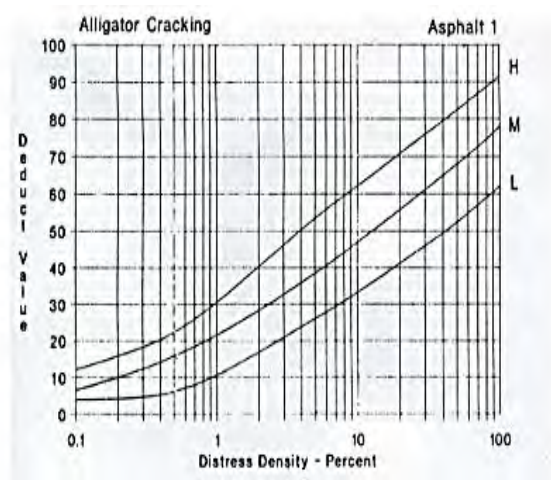
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del Perú*. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2021). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del Perú*.
- Ministerio del Ambiente del Perú, M. (2016). *Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)*. Lima.
- ministerio del ambiente, (. (2022). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del Perú 2019-2000*. Lima.
- Ministerio del Ambiente, M. (2017). *Decreto Supremo N.º 010-2017-MINAM*. Lima, Perú.
- MTC. (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima, Perú.
- MTC. (2016). *Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras*. Lima, Perú.
- Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.
- Nielsen, J., Gürtler, C., & Peters, G. (2024). Fuel-, vehicle-, and age-specific CO₂ emissions from global road transport, 1970–2020. *Scientific Reports*.
- Officials, A. A. (1962). *The AASHO Road Test: Proceedings and Findings*. Washington.
- Rodríguez Trujillo, J. A. (2021). *Desarrollo de criterios de evaluación de la capacidad de servicio del pavimento para vías urbanas*. Barranquilla, Colombia.
- VÁSQUEZ VARELA, L. R. (2002). *PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI)*. Manizales.
- Vásquez Varela, L. R. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. Colombia.
- Viteri Lasso, D. C., & Salazar Serna, K. (2024). “Evaluación y mitigación de emisiones de CO₂ en el parque automotor de Cali”. *Pontificia Universidad Javeriana Cali*.
- Y. Shahin, M. (2005). *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*. Estados Unidos.
- Zaabar, I., & Chatti, K. (2010). Calibration of HDM-4 Fuel Consumption Models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*.
- Zaabar, I., & Chatti, K. (2010). Calibration of HDM-4 Models for Estimating the Effect of Pavement Roughness on Fuel Consumption for U.S. Conditions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 105–116.

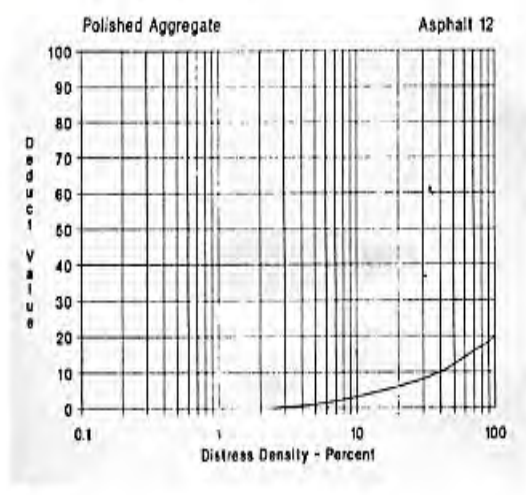
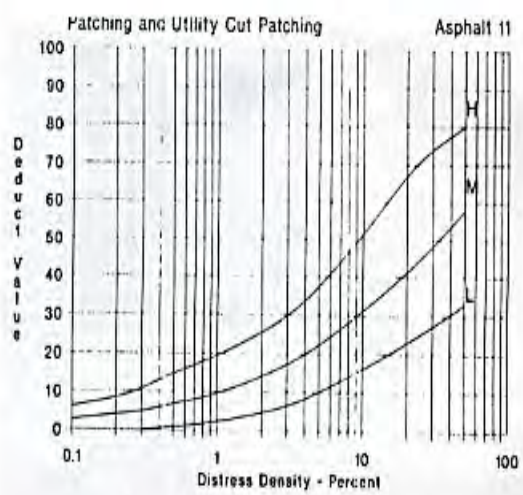
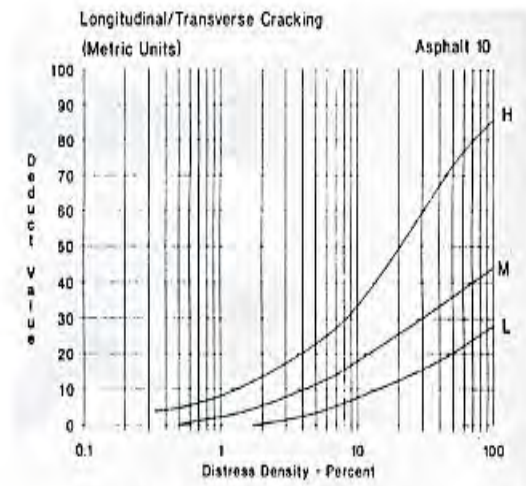
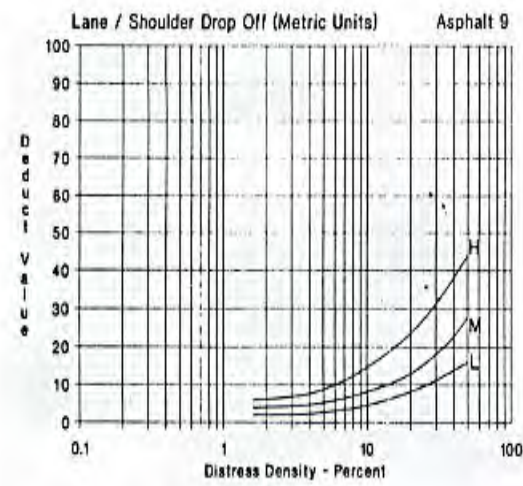
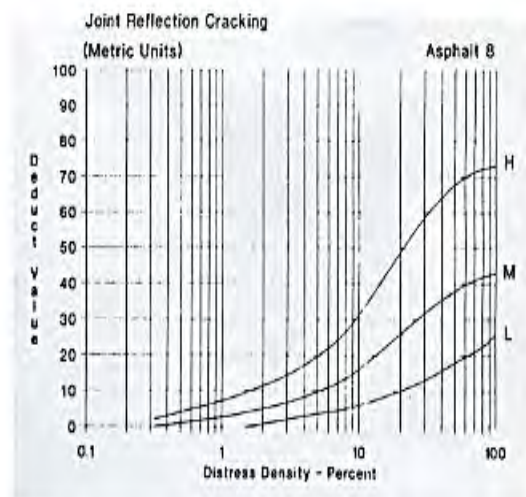
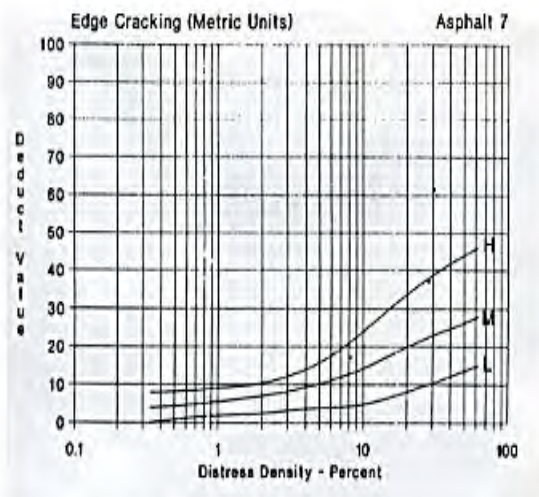
ANEXOS

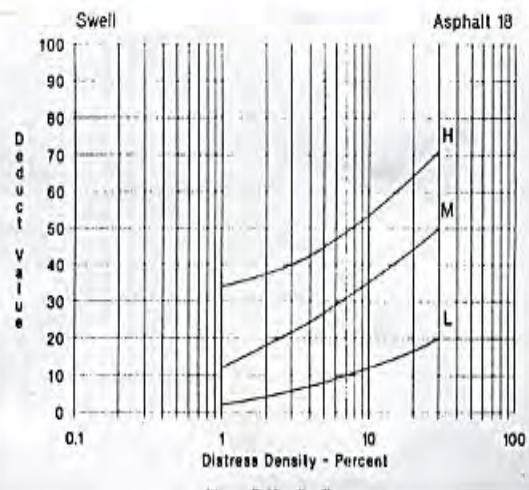
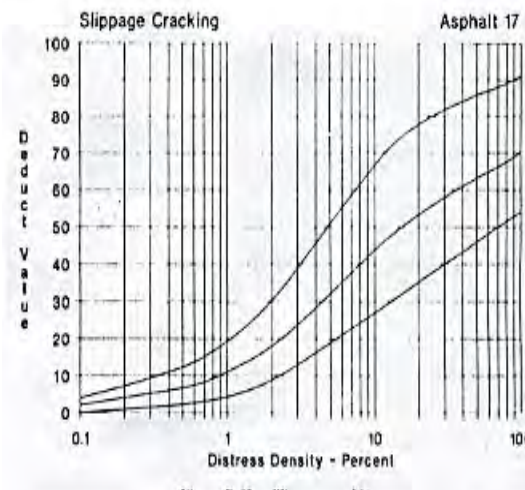
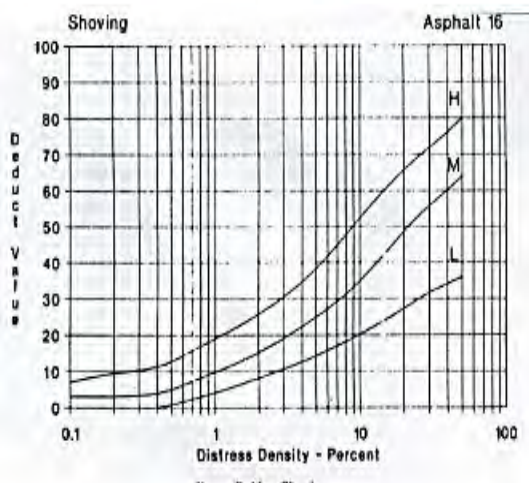
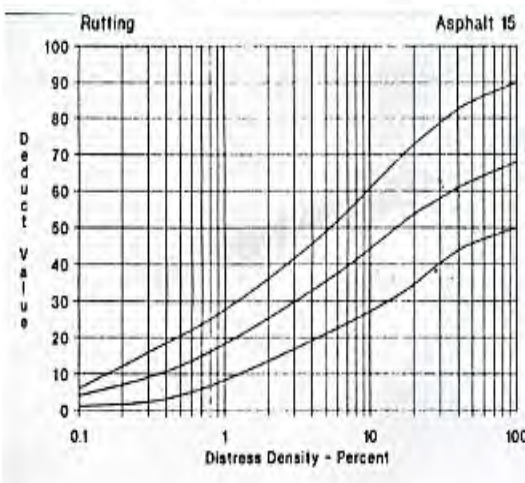
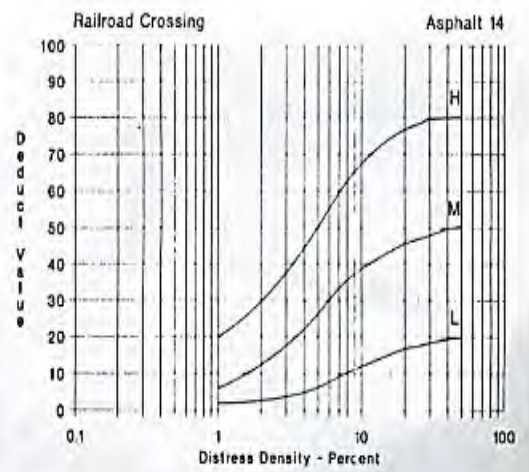
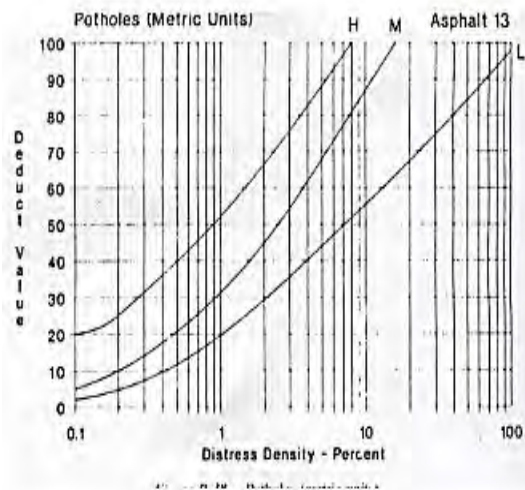
Anexo 1. Matriz de Consistencia

Título: Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (CO ₂) Generadas por la Pérdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Cusco – 2025				
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables y Dimensiones	Metodología
problema general ¿Cuál es la relación entre la pérdida de la serviciabilidad del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el tránsito vehicular en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025?	objetivo general Evaluar la relación entre la pérdida de la serviciabilidad del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el tránsito vehicular en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025	hipótesis general Existe una relación significativa entre la pérdida de la serviciabilidad del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el tránsito vehicular en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025	Variable dependiente: (Y) Concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) CO₂ = f (IRI, PCI, Ahuellamiento, PSI)	Tipo de investigación: El tipo de la investigación es no experimental
problemas específicos P.E.1: ¿Qué relación existe entre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025? P.E.2: ¿Qué relación existe entre el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025? P.E.3: ¿Qué relación existe entre el nivel de ahuellamiento del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025? P.E.4: ¿Existen diferencias en las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) entre los distintos niveles de serviciabilidad del pavimento, reprenetados por d los valores de PCI, IRI, ahuellamiento y PSI, considerando el flujo vehicular registrado en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025?	objetivos específicos O.E.1: Determinar la relación entre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025 O.E.2: Determinar la relación entre el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025 O.E.3: Determinar la relación entre el nivel de ahuellamiento del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025 O.E.4: Comparar las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) entre los distintos niveles de serviciabilidad del pavimento, determinados a partir de los valores de PCI, IRI, ahuellamiento y PSI, considerando el flujo vehicular registrado en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025	hipótesis específicas H.E.1: Existe una relación directa entre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025 H.E.2: Existe una relación inversa entre el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025 H.E.3: Existe una relación directa entre el nivel de ahuellamiento del pavimento y las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025 H.E.4: Existen diferencias en las concentraciones ambientales de dióxido de carbono (CO₂) entre los distintos niveles de serviciabilidad del pavimento, determinados a partir de los valores de PCI, IRI, ahuellamiento y PSI, considerando el flujo vehicular registrado en la avenida La Cultura, tramo Enaco – Limacpampa, Cusco – 2025	Indicador Concentración de CO₂ (ppm) Variable independiente: (X) Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Dimensión Rugosidad (m/km) Índice de Condición del Pavimento (PCI). Dimensión Condición superficial (0 - 100) Ahuellamiento (RD) Dimensión Deformaciones (profundidad en mm) Índice de Serviciabilidad Presente (PSI). Dimensión Serviciabilidad PSI (0-5)	Nivel de investigación: El nivel de investigación es aplicado y descriptivo Diseño: El diseño de la investigación es de corte transversal Enfoque: El enfoque de la investigación es cuantitativo Población y muestra: Población: Avenida La Cultura (tramo paradero Enaco y la plaza Limacpampa), Muestra: Los subtramos de la Avenida La Cultura

Anexo 2. Ábacos para la determinación del Índice de Condición del Pavimento (PCI) en pavimentos flexibles.

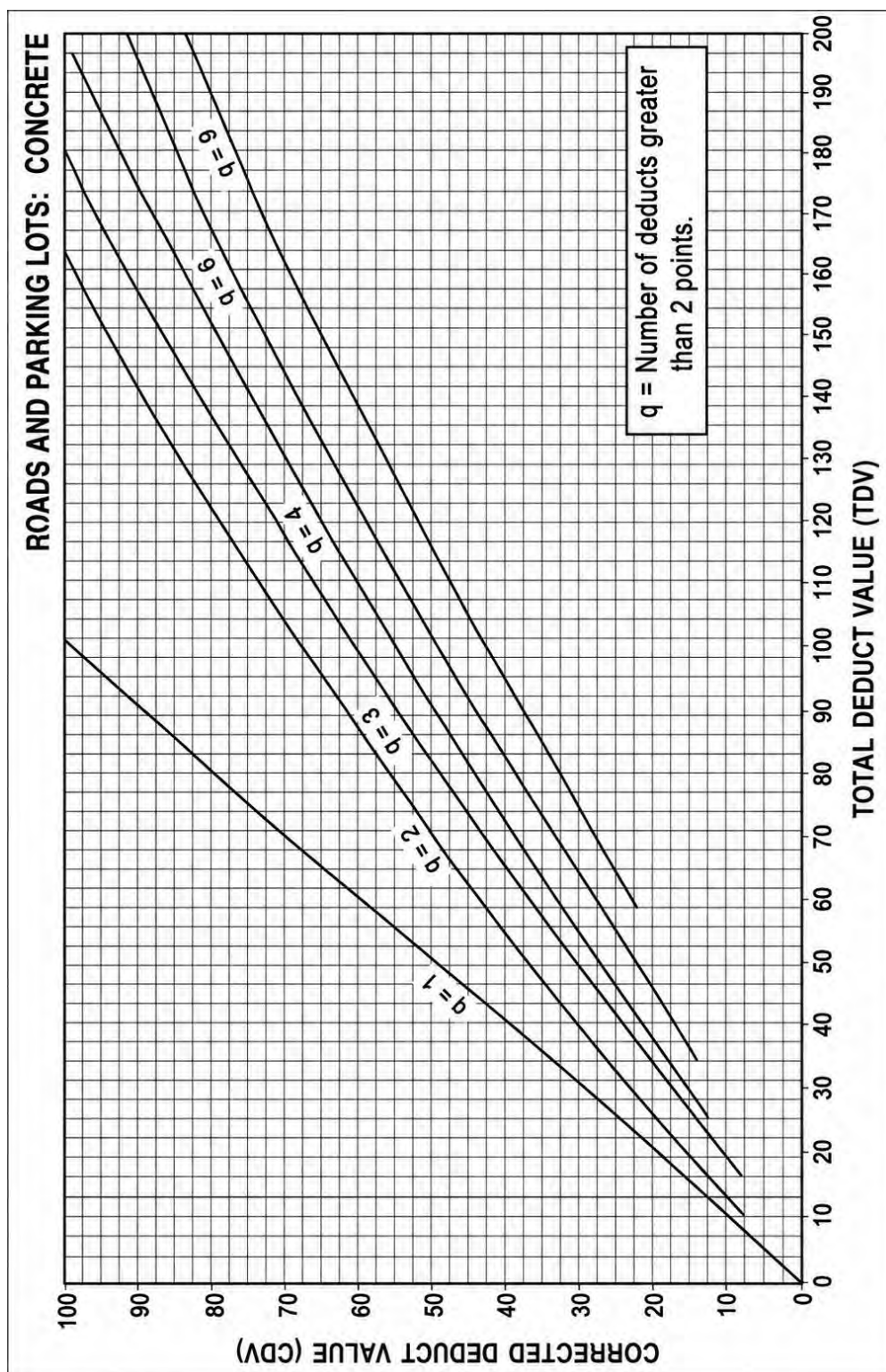






Fuente: *Vásquez Varela (año) y la norma ASTM D6433.*

Anexo 3. Ábacos para la Determinación del Valor de Deducción corregido (CDV) en pavimentos flexibles.



Fuente: Vázquez Varela (año) y la norma ASTM D6433.

Anexo 4. Ábacos para la determinación del Índice de Condición del Pavimento (PCI) en pavimentos Rígidos

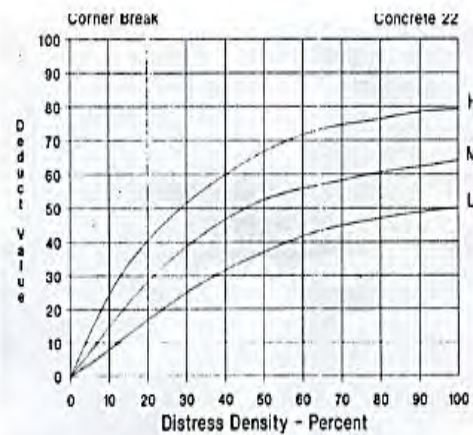
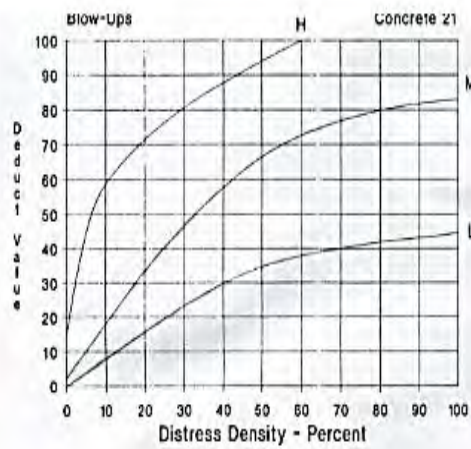
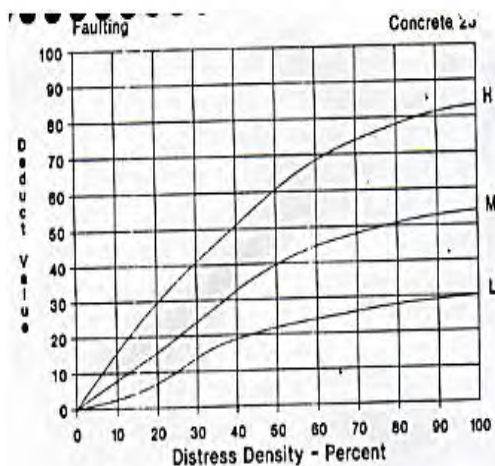
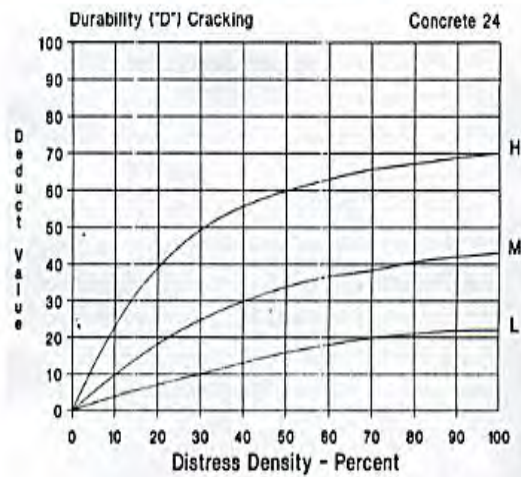
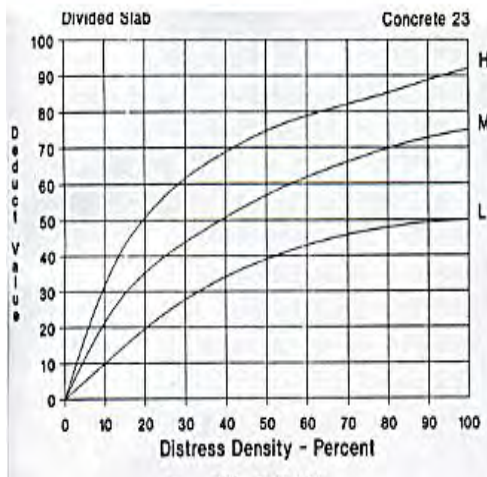


Figure 2-21 Corner Break



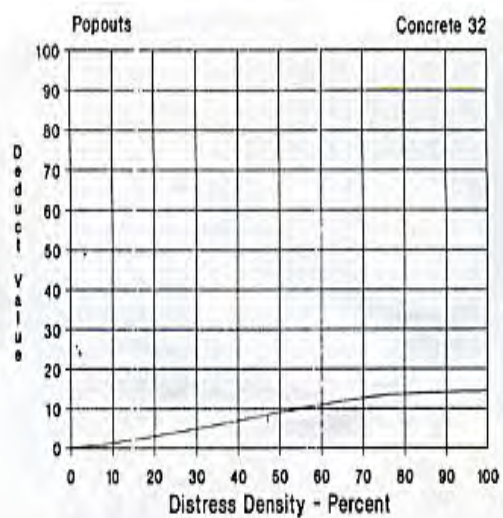
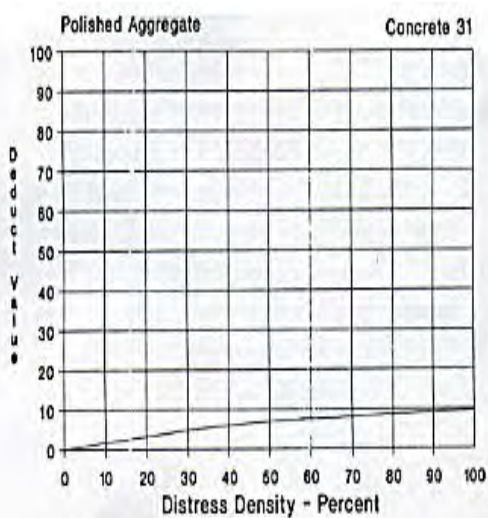
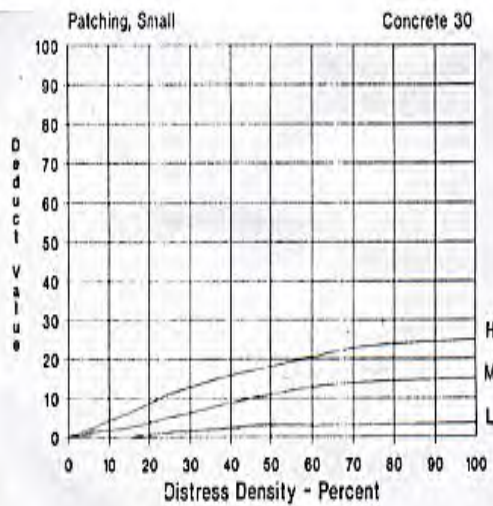
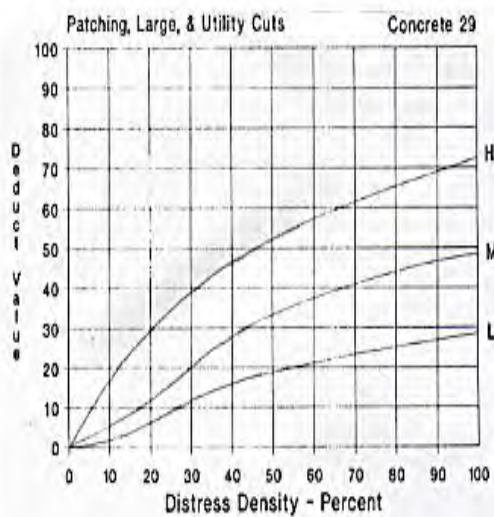
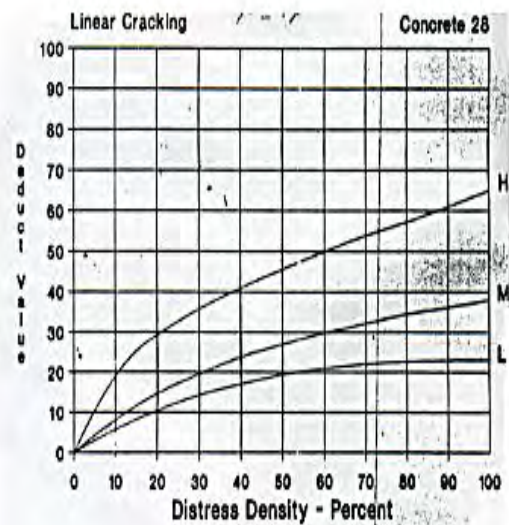
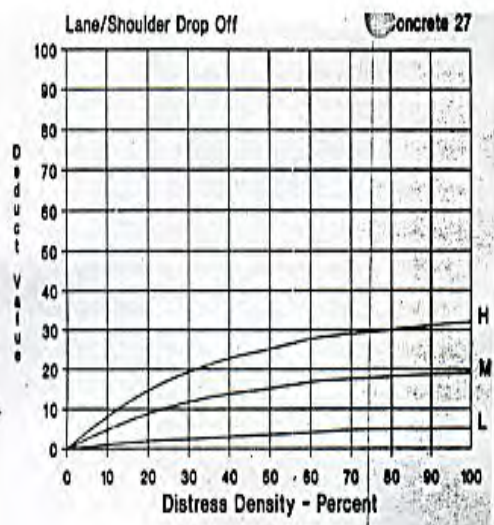
Joint Seal Damage

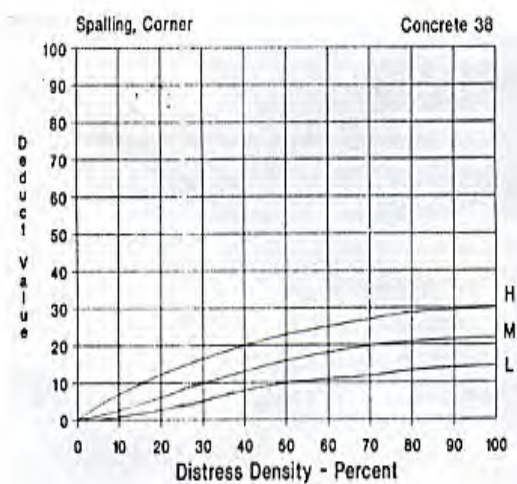
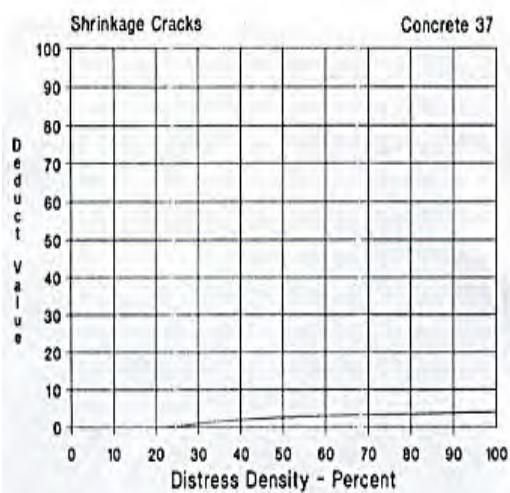
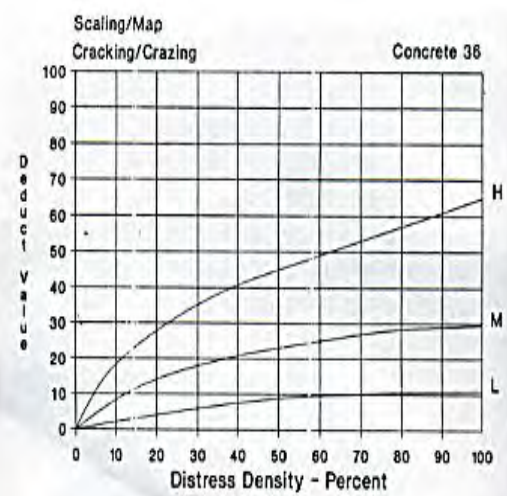
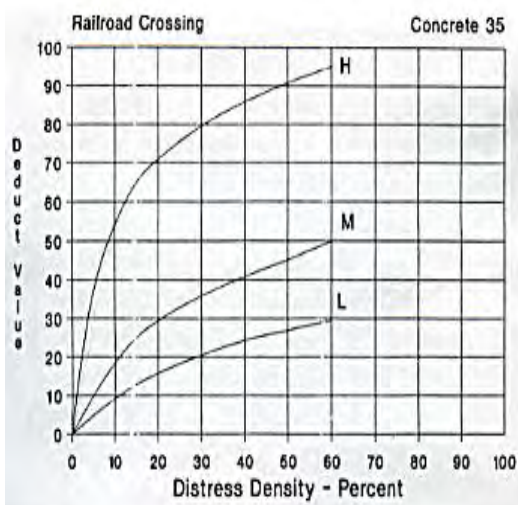
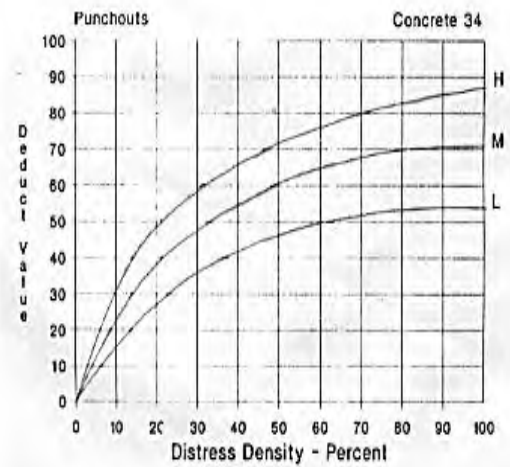
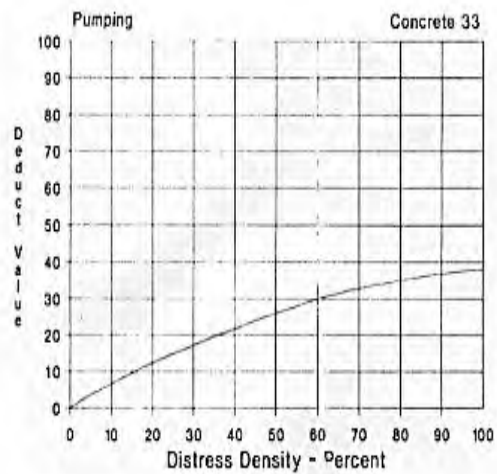
Concrete 26

Joint seal damage is not rated by density. The severity of the distress is determined by the sealant's overall condition for a particular sample unit.

The deduct values for the three levels of severity are:

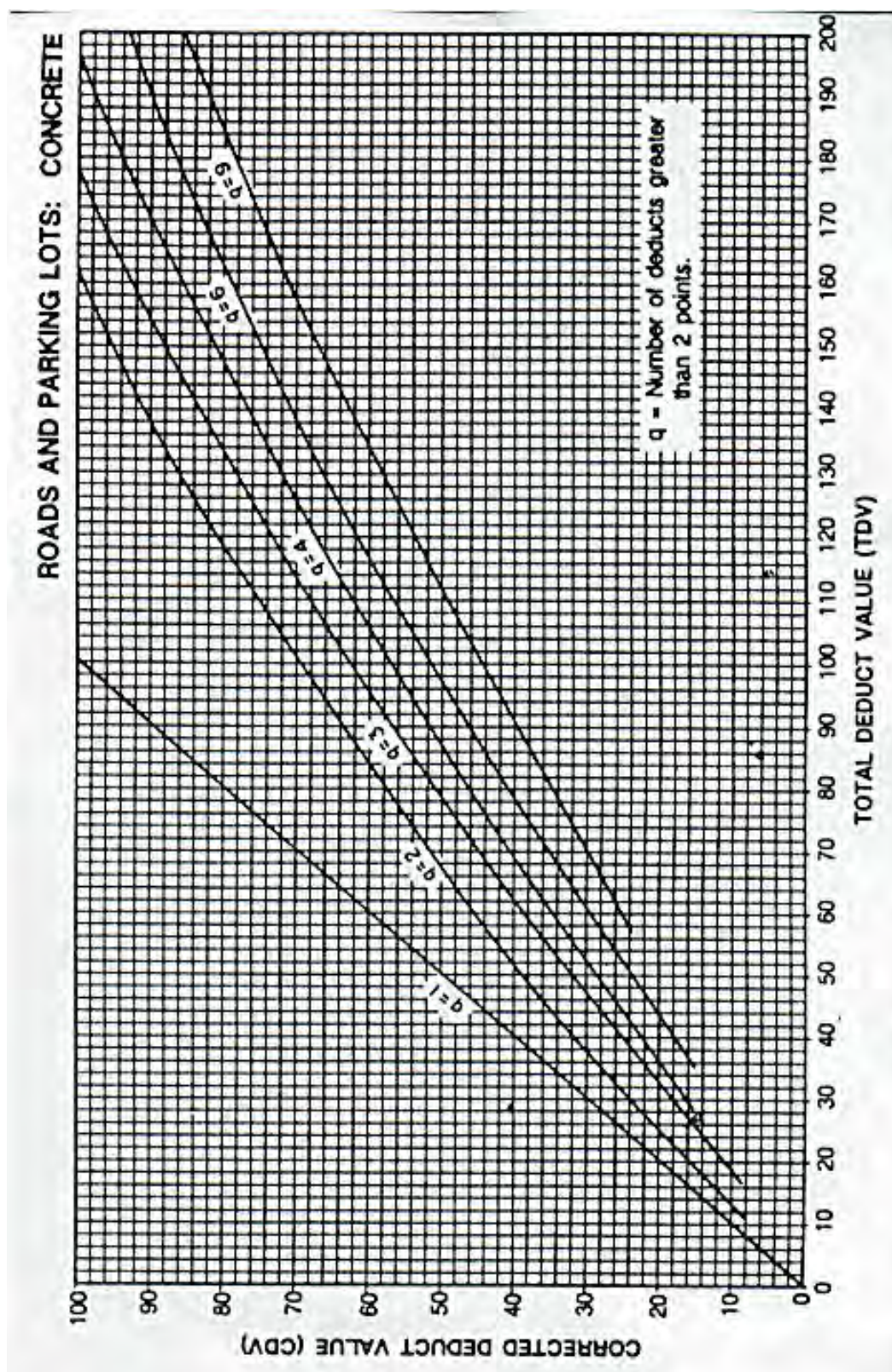
LOW	2 points
MEDIUM	4 points
HIGH	8 points





Fuente: *Vásquez Varela (año)* y la norma *ASTM D6433*.

Anexo 5. Ábacos para la Determinación del Valor de Deducción corregido (CDV) en pavimentos Rígidos.



Fuente: *Vásquez Varela (año)* y la norma *ASTM D6433*.

Anexo 6. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 01



Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con rugosímetro MERLIN



TESIS: "Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) Generadas por la Pérdida de Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Cusco - 2025"

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil

UBICACIÓN: Cusco

SECTOR: Av. La Cultura

CARRIL: Izquierdo de Subida

HUELLA: Izquierda

EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin

CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/20

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400 **FECHA:** 07/07/2025

Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526 **Hora inicio:** 07:20 a. m.

SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos **Hora final:** 08:00 a. m.

SUBTRAMO N.º 01 **Progresiva inicial:** 7 + 200
Progresiva final: 6 + 800
Longitud: 400m

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

TIPO DE PAVIMENTO

Afirmado	
Base Granular	
Base imprimada	
Tratamiento bicapa	
Carpeta en Frio	
Carpeta en caliente	☒
Recapeo asfáltico	
Sello	
Otros	

Tipo de Superficie de Rodadura de la Via: pavimento flexible

Observaciones Ninguna

Anexo 7. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 02



Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con rugosímetro MERLIN



TESIS: “Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (co2) Generadas por la Perdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco - Limacpampa, Cusco-2025”

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil
UBICACIÓN: Cusco
SECTOR: Av. La Cultura
CARRIL Izquierdo de Subida
HUELLA: Izquierda
EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin

CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/2025

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400 **FECHA:** 07/07/2025

Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526 **Hora inicio:** 08:00 a. m.

SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos **Hora final:** 08:30 a. m.

SUBTRAMO N.º 02 **Progresiva inicial:** 6 + 800
Progresiva final: 6 + 400
Longitud: 400m

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

TIPO DE PAVIMENTO

Afirmado	
Base Granular	
Base imprimada	
Tratamiento bicapa	
Carpeta en Frio	
Carpeta en caliente	☒
Recapeo asfáltico	
Sello	
Otros	

Tipo de Superficie de Rodadura de la Vía:

pavimento flexible

Observaciones

Ninguna

Anexo 8. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 03



Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con rugosímetro MERLIN



TESIS: “Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) Generadas por la Pérdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco - Limacpampa, Cusco-2025”

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil
UBICACIÓN: Cusco
SECTOR: Av. La Cultura
CARRIL: Izquierdo de Subida
HUELLA: Izquierda
EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin

CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/2025

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400 **FECHA:** 07/07/2025
 Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526 **Hora inicio:** 08:30 a. m.
SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos **Hora final:** 09:10 a. m.

SUBTRAMO N.º 03 **Progresiva inicial:** 6 + 400
Progresiva final: 6 + 000
Longitud: 400m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	24	27	31	30	28	24	26	30	26	27
2	23	26	33	28	27	27	29	31	32	33
3	31	40	35	31	45	31	23	31	3	38
4	30	28	30	29	32	39	30	30	29	33
5	35	31	31	32	32	35	30	31	33	33
6	36	36	28	37	32	32	37	32	33	34
7	34	33	335	35	34	34	35	36	39	36
8	37	40	39	39	39	41	4	39	36	39
9	40	40	50	24	50	50	45	42	34	38
10	50	45	43	41	41	43	44	40	25	27
11	25	22	24	24	28	25	24	29	23	31
12	26	27	26	30	36	22	28	26	31	26
13	27	28	25	29	32	29	33	31	36	27
14	28	27	30	30	30	29	31	25	28	29
15	32	31	29	30	29	27	30	29	26	23
16	28	29	30	35	50	22	16	30	50	37
17	50	33	43	32	39	45	36	37	30	28
18	32	23	27	38	39	38	33	28	32	34
19	32	50	33	37	31	30	31	29	34	28
20	27	34	37	36	38	36	33	32	31	31

TIPO DE PAVIMENTO

Afirmado	
Base Granular	
Base imprimada	
Tratamiento bicapa	
Carpeta en Frio	
Carpeta en caliente	☒
Recapeo asfáltico	
Sello	
Otros	

Tipo de Superficie de Rodadura de la Vía: pavimento flexible

Observaciones Ninguna

Anexo 9. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 04



Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con rugosímetro MERLIN



TESIS: "Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) Generadas por la Pérdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco - Limacampa, Cusco-2025"

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil
UBICACIÓN: Cusco
SECTOR: Av. La Cultura
CARRIL Izquierdo de Subida
HUELLA: Izquierda
EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin

CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/2025

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400 **FECHA:** 07/07/2025
 Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526 **Hora inicio:** 07:10 a. m.
SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos **Hora final:** 09:50 a. m.

SUBTRAMO N.º 04 **Progresiva inicial:** 6 + 000
Progresiva final: 5 + 600
Longitud: 400m

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

TIPO DE PAVIMENTO

Afirmado	
Base Granular	
Base imprimada	
Tratamiento bicapa	
Carpeta en Frio	
Carpeta en caliente	☒
Recapeo asfáltico	
Sello	
Otros	

Tipo de Superficie de Rodadura de la Vía:

pavimento flexible

Observaciones

Ninguna

Anexo 10. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 05



Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con rugosímetro MERLIN



TESIS: “Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (co2) Generadas por la Perdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco - Limacpampa, Cusco-2025”

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil
UBICACIÓN: Cusco
SECTOR: Av. La Cultura
CARRIL: Izquierdo de Subida
HUELLA: Izquierda
EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin

CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/2025

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400 **FECHA:** 07/07/2025

Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526 **Hora inicio:** 10:00 a. m.

SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos **Hora final:** 10:30 a. m.

SUBTRAMO N.º 05 **Progresiva inicial:** 5 + 600
Progresiva final: 5 + 200
Longitud: 400m

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

TIPO DE PAVIMENTO

Afirmado	
Base Granular	
Base imprimada	
Tratamiento bicapa	
Carpeta en Frio	
Carpeta en caliente	☒
Recapeo asfáltico	
Sello	
Otros	

Tipo de Superficie de Rodadura de la Vía: pavimento flexible

Observaciones Ninguna

Anexo 11. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 06



Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con rugosímetro MERLIN



TESIS: “Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (co2) Generadas por la Perdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco - Limacpampa, Cusco-2025”

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil
UBICACIÓN: Cusco
SECTOR: Av. La Cultura
CARRIL Izquierdo de Subida
HUELLA: Izquierda
EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin

CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/2025

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400 **FECHA:** 07/07/2025

Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526 **Hora inicio:** 10:30 a. m.

SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos **Hora final:** 11:00 a. m.

SUBTRAMO N.º 06 **Progresiva inicial:** 5 + 200
Progresiva final: 4 + 800
Longitud: 400m

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

TIPO DE PAVIMENTO

Afirmado	
Base Granular	
Base imprimada	
Tratamiento bicapa	
Carpeta en Frio	
Carpeta en caliente	<input checked="" type="text"/>
Recapeo asfaltico	
Sello	
Otros	

Tipo de Superficie de Rodadura de la Via:

pavimento flexible

Observaciones

Ninguna

Anexo 12. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 07



Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con rugosímetro MERLIN



TESIS: "Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (co2) Generadas por la Perdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco - Limacampa, Cusco-2025"

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil

UBICACIÓN: Cusco

SECTOR: Av. La Cultura

CARRIL: Izquierdo de Subida

HUELLA: Izquierda

EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin

CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/2025

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400 **FECHA:** 07/07/2025

Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526 **Hora inicio:** 11:30 a. m.

SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos **Hora final:** 12:10 p. m.

SUBTRAMO N.º 07 **Progresiva inicial:** 4 + 800
Progresiva final: 4 + 400
Longitud: 400m

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

TIPO DE PAVIMENTO

Afirmado	
Base Granular	
Base imprimada	
Tratamiento bicapa	
Carpeta en Frio	☒
Carpeta en caliente	☒
Recapeo asfaltico	
Sello	
Otros	

Tipo de Superficie de Rodadura de la Vía: pavimento flexible y rigido

Observaciones Pavimento rigido inicia a partir de la fila numero 11

Anexo 13. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 08



Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con rugosímetro MERLIN



TESIS: “Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (co2) Generadas por la Pérdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco - Limacampa, Cusco-2025”

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil
UBICACIÓN: Cusco
SECTOR: Av. La Cultura
CARRIL Izquierdo de Subida
HUELLA: Izquierda
EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin

CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/2025

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400

FECHA: 07/07/2025

Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526

Hora inicio: 12:20 p. m.

SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos

Hora final: 12:40 p. m.

SUBTRAMO N.º 08

Progresiva inicial:

4 + 400

Progresiva final:

4 + 000

Longitud:

400m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	24	18	27	20	20	25	20	26	25	19
2	23	26	25	22	23	20	30	23	24	27
3	28	32	24	27	27	23	20	24	22	25
4	25	28	29	25	27	22	22	26	25	26
5	25	24	32	23	26	10	14	22	25	24
6	21	23	25	19	25	28	19	26	20	28
7	22	20	22	24	19	24	24	20	23	24
8	22	27	20	22	27	21	21	30	34	23
9	25	25	24	27	24	20	21	19	23	27
10	26	19	24	25	26	22	22	29	24	25
11	23	18	22	20	21	24	23	16	23	25
12	23	26	24	26	27	16	21	20	18	30
13	24	25	26	29	25	26	23	27	22	20
14	27	21	21	23	26	25	19	24	23	24
15	24	24	27	19	19	27	25	23	28	25
16	27	25	28	26	22	23	23	16	22	30
17	25	29	26	20	27	22	23	27	21	29
18	24	26	32	26	27	23	29	23	24	13
19	23	29	18	31	26	26	22	30	26	21
20	17	24	26	24	24	28	17	32	23	29

TIPO DE PAVIMENTO

Afirmado	
Base Granular	
Base imprimada	
Tratamiento bicapa	
Carpeta en Frio	☒
Carpeta en caliente	
Recapeo asfaltico	
Sello	
Otros	

Tipo de Superficie de Rodadura de la Vía:

pavimento rigido

Observaciones

Ninguna

Anexo 14. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 09



Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con rugosímetro MERLIN



TESIS: “Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (co2) Generadas por la Perdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco - Limacpampa, Cusco-2025”

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil
UBICACIÓN: Cusco
SECTOR: Av. La Cultura
CARRIL: Izquierdo de Subida
HUELLA: Izquierda
EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin

CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/2025

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400 **FECHA:** 07/07/2025
 Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526 **Hora inicio:** 02:00 p. m.
SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos **Hora final:** 02:30 p. m.

SUBTRAMO N.º 09 **Progresiva inicial:** 4 + 000
Progresiva final: 3 + 600
Longitud: 400m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	25	25	25	25	26	24	29	29	20	31	TIPO DE PAVIMENTO
2	33	28	25	29	17	36	26	29	26	28	Afirmado
3	18	26	23	31	29	22	28	25	24	29	Base Granular
4	25	19	30	30	20	27	25	26	24	22	Base imprimada
5	25	28	24	25	22	25	25	23	27	32	Tratamiento bicapa
6	27	26	24	22	26	26	26	28	20	28	Carpeta en Frio
7	24	26	28	21	20	24	27	22	24	21	Carpeta en caliente
8	26	30	26	26	23	22	26	27	20	27	Recapeo asfáltico
9	18	29	24	25	25	27	24	31	30	30	Sello
10	24	24	28	30	22	24	26	26	25	25	Otros
11	21	30	32	29	24	27	27	25	13	27	
12	25	27	27	23	24	21	29	26	29	21	
13	27	23	22	30	24	23	25	25	23	27	
14	17	23	24	20	28	25	25	26	26	42	
15	31	17	29	27	28	29	33	22	21	14	
16	20	35	25	29	23	31	31	32	30	39	
17	36	27	20	30	22	30	23	25	30	23	
18	34	17	34	21	32	27	27	24	29	26	
19	25	20	26	29	22	23	16	26	19	31	
20	21	18	12	25	22	24	22	27	21	19	

Tipo de Superficie de Rodadura de la Vía:

Pavimento rígido, flexible

Observaciones

Continúa el pavimento Rígido en su gran mayoría
 a partir de la progresiva 3 + 665 Km (fila 18) inicia el Pavimento Flexible

Anexo 15. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 10



Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con rugosímetro MERLIN



TESIS: “Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (co2) Generadas por la Perdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco - Limacpampa, Cusco-2025”

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil
UBICACIÓN: Cusco
SECTOR: Av. La Cultura
CARRIL: Izquierdo de Subida
HUELLA: Izquierda
EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin

CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/2025

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400 **FECHA:** 07/07/2025
 Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526 **Hora inicio:** 02:30 p. m.
SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos **Hora final:** 03:00 p. m.

SUBTRAMO N.º 10 **Progresiva inicial:** 3 + 600
Progresiva final: 3+ 200
Longitud: 400m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	22	21	15	20	20	26	26	31	25	21
2	36	24	25	20	30	36	36	23	20	22
3	26	30	28	35	20	24	15	18	26	26
4	27	24	28	21	24	24	24	25	26	27
5	24	29	24	28	24	26	24	24	25	25
6	25	24	25	22	25	26	29	27	33	28
7	25	18	24	24	26	25	25	23	24	28
8	25	24	26	25	25	25	26	24	25	35
9	23	32	25	20	27	24	28	26	24	26
10	26	25	23	28	24	24	24	24	24	26
11	25	30	37	28	25	32	29	25	24	27
12	22	25	26	24	25	22	18	25	25	25
13	23	24	25	24	25	24	26	25	25	26
14	26	25	27	33	25	30	29	30	24	26
15	25	27	25	23	23	26	26	25	21	26
16	25	25	23	25	27	25	29	24	26	22
17	27	29	23	21	25	21	22	23	23	23
18	29	28	21	17	26	28	26	29	25	25
19	26	27	27	23	26	23	21	25	22	27
20	26	20	26	20	29	19	20	31	29	28

TIPO DE PAVIMENTO

Afirmado	
Base Granular	
Base imprimada	
Tratamiento bicapa	
Carpeta en Frio	
Carpeta en caliente	X
Recapeo asfáltico	
Sello	
Otros	

Tipo de Superficie de Rodadura de la Vía: *pavimento flexible*

Observaciones *ninguna*

Anexo 16. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 11



Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con rugosímetro MERLIN



TESIS: “Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) Generadas por la Pérdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco - Limacpampa, Cusco-2025”

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil
UBICACIÓN: Cusco
SECTOR: Av. La Cultura
CARRIL: Izquierdo de Subida
HUELLA: Izquierda
EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin

CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/2025

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400

FECHA: 07/07/2025

Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526

Hora inicio: 03:00 p. m.

SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos

Hora final: 03:30 p. m.

SUBTRAMO N.º 11

Progresiva inicial:

3 + 200

Progresiva final:

2 + 800

Longitud:

400m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	25	23	25	30	15	17	32	15	20	31
2	21	22	23	24	24	25	26	22	23	24
3	24	24	31	23	28	25	25	27	14	26
4	24	25	22	21	23	27	28	24	25	25
5	26	26	28	28	28	21	26	24	28	28
6	28	27	25	25	28	27	27	27	27	27
7	26	29	25	26	24	28	25	30	27	21
8	25	24	25	26	26	23	22	25	24	25
9	22	26	28	26	24	25	25	25	26	26
10	22	26	28	26	24	25	25	25	26	26
11	27	24	23	22	28	21	19	23	24	29
12	18	26	25	27	23	25	23	29	28	26
13	20	19	25	24	26	25	26	24	26	27
14	27	25	27	25	25	25	35	28	28	23
15	30	28	20	32	24	25	24	18	26	25
16	26	27	24	26	24	31	24	28	26	24
17	26	22	24	23	26	27	28	23	23	30
18	22	28	26	26	26	24	23	26	27	25
19	26	24	24	24	23	26	23	23	24	28
20	19	23	25	28	25	22	24	26	23	28

TIPO DE PAVIMENTO

Afirmado	
Base Granular	
Base imprimada	
Tratamiento bicapa	
Carpeta en Frio	
Carpeta en caliente	☒
Recapeo asfáltico	
Sello	
Otros	

Tipo de Superficie de Rodadura de la Vía:

pavimento flexible

Observaciones

ninguna

Anexo 17. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 12



Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con rugosímetro MERLIN



TESIS: “Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (co₂) Generadas por la Pérdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco - Limacpampa, Cusco-2025”

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil
UBICACIÓN: Cusco
SECTOR: Av. La Cultura
CARRIL Izquierdo de Subida
HUELLA: Izquierda
EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin
CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/2025

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400 **FECHA:** 07/07/2025
 Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526 **Hora inicio:** 03:30 p. m.
SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos **Hora final:** 04:00 p. m.

SUBTRAMO N.º 12 **Progresiva inicial:** 2+ 800
Progresiva final: 2+ 400
Longitud: 400m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	27	25	23	26	25	25	27	25	26	26	TIPO DE PAVIMENTO
2	27	22	28	27	25	23	25	27	26	25	Afirmado
3	28	27	25	30	38	30	35	25	31	23	Base Granular
4	25	24	23	22	24	27	29	28	27	26	Base imprimada
5	25	24	23	26	27	25	26	26	25	23	Tratamiento bicapa
6	24	24	23	24	26	24	23	23	26	25	Carpeta en Frio
7	27	25	26	28	26	25	24	22	26	26	Carpeta en caliente <input checked="" type="text"/>
8	26	26	26	26	27	26	27	27	27	28	Recapeo asfáltico
9	28	28	27	31	26	21	25	26	25	22	Sello
10	25	27	25	25	25	25	25	27	26	26	Otros
11	26	26	26	22	26	27	26	25	28	26	
12	24	30	23	25	28	24	29	23	33	23	
13	27	28	25	26	27	30	26	27	26	25	
14	28	26	26	24	26	27	26	26	21	25	
15	23	23	26	26	24	23	26	26	26	25	
16	25	25	25	25	18	21	24	23	24	24	
17	24	29	25	23	24	27	26	26	26	25	
18	25	24	26	25	25	27	26	26	24	28	
19	28	27	22	24	24	29	26	29	26	24	
20	24	26	26	22	25	25	25	27	26	25	

Tipo de Superficie de Rodadura de la Vía: pavimento flexible

Observaciones ninguna

Anexo 18. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 13



Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con rugosímetro MERLIN



TESIS: “Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (co2) Generadas por la Pérdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco - Limacpampa, Cusco-2025”

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil
UBICACIÓN: Cusco
SECTOR: Av. La Cultura
CARRIL Izquierdo de Subida
HUELLA: Izquierda
EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin

CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/2025

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400 **FECHA:** 07/07/2025
 Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526 **Hora inicio:** 04:00 p. m.
SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos **Hora final:** 04:30 p. m.

SUBTRAMO N.º 13 **Progresiva inicial:** 2 + 400
Progresiva final: 2 + 200
Longitud: 400m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	24	25	23	22	24	24	24	24	23	24
2	24	24	25	23	30	35	22	21	23	21
3	20	25	28	28	28	25	23	24	26	28
4	28	20	25	22	33	20	24	29	25	26
5	26	30	24	25	29	30	28	29	25	24
6	25	27	27	24	28	21	23	26	28	25
7	24	25	28	27	28	28	25	22	27	22
8	26	24	26	23	26	24	27	25	25	27
9	27	30	21	27	25	25	27	27	25	24
10	25	27	22	28	26	25	25	24	25	25
11	25	24	24	23	30	24	25	28	23	24
12	25	25	23	27	25	28	25	25	27	24
13	26	26	27	28	25	25	22	25	24	27
14	27	28	28	25	21	25	23	28	28	27
15	27	23	26	24	22	23	20	33	28	27
16	26	25	24	26	27	26	26	25	26	26
17	22	29	23	24	29	25	24	25	25	28
18	25	30	25	27	27	28	24	25	25	23
19	25	29	27	17	21	27	27	28	24	28
20	24	25	22	26	21	34	27	24	26	31

TIPO DE PAVIMENTO

Afirmado

Base Granular

Base imprimada

Tratamiento bicapa

Carpeta en Frio

Carpeta en caliente

Recapeo asfáltico

Sello

Otros

Tipo de Superficie de Rodadura de la Vía:

pavimento flexible

Observaciones

ninguna

Anexo 19. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 14



Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con rugosímetro MERLIN



TESIS: “Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (co₂) Generadas por la Perdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco - Limacpampa, Cusco-2025”

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil

UBICACIÓN: Cusco

SECTOR: Av. La Cultura

CARRIL: Izquierdo de Subida

HUELLA: Izquierda

EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin

CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/2025

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400

FECHA: 07/07/2025

Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526

Hora inicio: 04:30 p. m.

SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos

Hora final: 05:00 p. m.

SUBTRAMO N.º 14

Progresiva inicial: 2 + 000

Progresiva final: 1 + 600

Longitud: 400m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	24	18	25	24	28	25	26	30	27	25
2	24	25	25	23	26	22	21	27	24	22
3	26	26	28	27	23	26	31	25	24	26
4	26	38	26	26	26	26	20	25	21	26
5	23	27	26	26	18	23	33	22	22	25
6	26	26	24	24	30	24	23	25	26	23
7	30	22	25	27	26	25	26	24	27	25
8	27	24	27	23	26	29	26	24	24	24
9	19	31	26	22	26	24	27	25	20	27
10	25	24	26	25	25	24	22	24	23	24
11	24	25	26	25	26	21	25	23	23	26
12	24	23	23	26	20	27	23	23	24	32
13	31	22	25	25	22	23	24	26	26	25
14	26	22	25	26	25	24	25	21	27	24
15	25	25	20	28	26	22	24	23	30	23
16	24	26	23	26	24	23	31	18	30	30
17	23	27	29	20	29	26	24	26	27	28
18	31	24	22	28	29	23	23	22	24	26
19	24	26	26	26	20	30	26	32	20	30
20	21	28	25	23	28	22	22	27	21	23

TIPO DE PAVIMENTO

Afirmado

Base Granular

Base imprimada

Tratamiento bicapa

Carpeta en Frio

Carpeta en caliente

Recapeo asfáltico

Sello

Otros

Tipo de Superficie de Rodadura de la Vía:

pavimento flexible

Observaciones

ninguna

Anexo 20. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 15



**Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con
rugosímetro MERLIN**



TESIS: “Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (co2) Generadas por la
Perdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco -
Lima pampa, Cusco-2025”

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil

UBICACIÓN: Cusco

SECTOR: Av. La Cultura

CARRIL Izquierdo de Subida

HUELLA: Izquierda

EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin

CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/2025

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400 **FECHA:** 07/07/2025

Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526 **Hora inicio:** 05:00 p. m.

SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos **Hora final:** 05:20 p. m.

SUBTRAMO N.º 15 **Progresiva inicial:** 1 + 600
Progresiva final: 1 + 200
Longitud: 400m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	23	24	23	24	20	25	27	24	24	30
2	23	20	24	22	22	26	23	29	27	26
3	27	25	25	26	23	25	28	22	30	25
4	22	24	24	27	24	23	22	20	22	25
5	25	23	23	26	23	25	24	21	23	31
6	27	25	25	24	25	24	23	23	24	22
7	25	27	23	26	24	20	26	21	27	22
8	26	27	24	22	20	25	19	26	27	28
9	25	23	31	18	26	22	22	31	36	21
10	23	39	25	21	27	22	24	26	22	28
11	26	27	28	26	22	24	23	22	22	25
12	23	26	24	28	21	22	21	23	20	21
13	28	28	24	25	32	25	28	22	24	22
14	25	34	30	29	23	26	22	23	23	22
15	27	21	22	22	24	25	24	23	27	26
16	26	25	27	26	25	24	23	35	22	27
17	26	26	32	22	24	20	24	24	23	25
18	23	28	27	23	19	20	21	26	23	23
19	23	25	22	22	23	24	24	25	25	20
20	26	26	28	26	28	23	22	22	26	22

TIPO DE PAVIMENTO

Afirmado	
Base Granular	
Base imprimada	
Tratamiento bicapa	
Carpeta en Frio	
Carpeta en caliente	<input checked="" type="text"/>
Recapeo asfaltico	
Sello	
Otros	

Tipo de Superficie de Rodadura de la Vía: pavimento flexible

Observaciones ninguna

Anexo 21. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 16



Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con rugosímetro MERLIN



TESIS: “Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) Generadas por la Pérdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco - Limacampa, Cusco-2025”

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil
UBICACIÓN: Cusco
SECTOR: Av. La Cultura
CARRIL Izquierdo de Subida
HUELLA: Izquierda
EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin

CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/2025

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400 **FECHA:** 07/07/2025

Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526 **Hora inicio:** 05:20 p. m.

SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos **Hora final:** 05:40 p. m.

SUBTRAMO N.º 16 **Progresiva inicial:** 1 + 200
Progresiva final: 0 + 800
Longitud: 400m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	24	27	26	26	26	26	25	22	22	23
2	24	24	27	25	27	23	26	24	25	21
3	25	26	25	27	25	28	29	25	27	27
4	26	25	25	25	24	23	23	27	28	25
5	30	27	28	24	24	22	27	28	25	24
6	26	25	25	27	27	25	24	26	26	29
7	26	24	24	27	26	25	27	23	24	26
8	26	27	26	25	24	26	26	25	25	26
9	23	28	24	26	26	23	25	25	28	28
10	27	23	25	21	25	22	25	25	28	32
11	36	29	21	18	33	36	17	24	28	23
12	26	22	26	24	26	25	24	27	24	26
13	26	24	26	26	25	27	25	25	27	22
14	26	27	26	24	25	25	30	24	29	26
15	35	34	25	22	48	28	24	24	30	27
16	30	26	24	22	50	25	29	38	33	27
17	25	32	31	27	26	27	26	26	24	25
18	26	28	25	24	25	25	29	27	34	50
19	29	34	29	10	8	31	36	27	36	11
20	27	23	18	19	15	17	20	22	28	19

TIPO DE PAVIMENTO

Afirmado	
Base Granular	
Base imprimada	
Tratamiento bicapa	
Carpeta en Frio	
Carpeta en caliente	☒
Recapeo asfáltico	
Sello	
Otros	

Tipo de Superficie de Rodadura de la Vía:

pavimento flexible

Observaciones

A partir de la fila 09 se cambia de carril a la derecha, debio a la densidad de trafico vehicular (Colegio Garcilazo)

Anexo 22. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 17



Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con rugosímetro MERLIN



TESIS: “Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (co₂) Generadas por la Perdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco - Limacpampa, Cusco-2025”

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil
UBICACIÓN: Cusco
SECTOR: Av. La Cultura
CARRIL: Izquierdo de Subida
HUELLA: Izquierda
EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin

CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/2025

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400 **FECHA:** 07/07/2025

Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526 **Hora inicio:** 05:40 p. m.

SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos **Hora final:** 06:00 p. m.

SUBTRAMO N.º 17 **Progresiva inicial:** 0 + 800
Progresiva final: 0 + 400
Longitud: 400m

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

TIPO DE PAVIMENTO

Afirmado	
Base Granular	
Base imprimada	
Tratamiento bicapa	
Carpeta en Frio	
Carpeta en caliente	☒
Recapeo asfáltico	
Sello	
Otros	

Tipo de Superficie de Rodadura de la Vía:

pavimento flexible

Observaciones

ninguna

Anexo 23. Registros de campo y formatos de medición del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) mediante el rugosímetro MERLIN-Subtramo 18



Determinación del Índice de Rugosidad a partir de mediciones con rugosímetro MERLIN



TESIS: “Evaluación de las Emisiones de Dióxido de Carbono (co2) Generadas por la Perdida de la Serviciabilidad del Pavimento en la Avenida la Cultura, Tramo Enaco - Limacpampa, Cusco-2025”

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
ESCUELA: Escuela Profesional de Ingeniería Civil
UBICACIÓN: Cusco
SECTOR: Av. La Cultura
CARRIL Izquierdo de Subida
HUELLA: Izquierda
EQUIPO: Rugosímetro tipo Merlin

CERT. CALIBRACION: Expedido por CALITEST S.A.C 01/07/2025

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400 **FECHA:** 07/07/2025

Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526 **Hora inicio:** 06:00 p. m.

SUPERVISOR: Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos **Hora final:** 06:25 p. m.

SUBTRAMO N.º 18

Progresiva inicial: 0 + 400

Progresiva final: 0 + 000

Longitud: 400m

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

TIPO DE PAVIMENTO

Afirmado	
Base Granular	
Base imprimada	
Tratamiento bicapa	
Carpeta en Frio	
Carpeta en caliente	☒
Recapeo asfáltico	
Sello	
Otros	

Tipo de Superficie de Rodadura de la Vía:

pavimento flexible

Observaciones

ninguna

<<Continuación>>

07/10/2025	07:58:04 a. m.	796	16.6	54.7
07/10/2025	07:58:12 a. m.	797	16.6	54.8
07/10/2025	07:58:28 a. m.	794	16.6	54.8
07/10/2025	07:58:40 a. m.	788	16.7	54.7
07/10/2025	07:58:48 a. m.	782	16.7	54.5
07/10/2025	07:58:52 a. m.	781	16.7	54.5
07/10/2025	07:59:12 a. m.	767	16.7	54.2
07/10/2025	07:59:16 a. m.	763	16.7	54.1
07/10/2025	08:00:00 a. m.	731	16.7	54.5
07/10/2025	08:01:09 a. m.	701	16.7	54.7
07/10/2025	08:04:43 a. m.	684	16.7	54.5
07/10/2025	08:04:46 a. m.	685	16.7	54.5
07/10/2025	08:05:10 a. m.	686	16.7	55.5
07/10/2025	08:05:14 a. m.	687	16.7	55.2
07/10/2025	08:05:18 a. m.	688	16.7	55.1
07/10/2025	08:05:22 a. m.	689	16.7	55.1
07/10/2025	08:05:26 a. m.	691	16.7	55.0
07/10/2025	08:05:30 a. m.	692	16.7	55.0
07/10/2025	08:05:42 a. m.	693	16.7	55.0
07/10/2025	08:05:50 a. m.	694	16.7	54.8
07/10/2025	08:06:02 a. m.	695	16.7	54.5
07/10/2025	08:06:26 a. m.	698	16.7	65.0
07/10/2025	08:06:30 a. m.	723	16.7	64.1
07/10/2025	08:06:35 a. m.	838	16.7	60.7
07/10/2025	08:06:39 a. m.	837	16.7	58.5
07/10/2025	08:06:43 a. m.	840	16.7	57.0
07/10/2025	08:06:47 a. m.	845	16.7	56.4
07/10/2025	08:06:51 a. m.	843	16.7	55.9
07/10/2025	08:06:55 a. m.	840	16.7	55.7
07/10/2025	08:06:59 a. m.	844	16.7	55.5
07/10/2025	08:07:03 a. m.	845	16.7	55.5
07/10/2025	08:07:07 a. m.	850	16.7	55.4
07/10/2025	08:07:11 a. m.	849	16.7	55.4
07/10/2025	08:07:15 a. m.	847	16.7	55.3
07/10/2025	08:07:19 a. m.	850	16.7	55.2
07/10/2025	08:07:23 a. m.	855	16.7	55.2
07/10/2025	08:07:27 a. m.	853	16.7	55.2
07/10/2025	08:07:31 a. m.	852	16.7	55.2
07/10/2025	08:07:35 a. m.	855	16.7	55.0
07/10/2025	08:07:39 a. m.	885	16.7	54.9
07/10/2025	08:07:43 a. m.	882	16.7	54.7
07/10/2025	08:07:47 a. m.	880	16.7	54.7
07/10/2025	08:07:51 a. m.	879	16.7	54.6
07/10/2025	08:07:55 a. m.	883	16.7	54.6
07/10/2025	08:07:59 a. m.	886	16.7	54.6
07/10/2025	08:08:03 a. m.	882	16.7	54.4
07/10/2025	08:08:07 a. m.	886	16.7	54.2
07/10/2025	08:08:11 a. m.	879	16.7	54.0
07/10/2025	08:08:15 a. m.	875	16.7	54.0
07/10/2025	08:08:19 a. m.	865	16.7	54.2
07/10/2025	08:08:23 a. m.	853	16.7	54.2
07/10/2025	08:08:31 a. m.	831	16.7	54.4
07/10/2025	08:08:35 a. m.	823	16.8	54.4
07/10/2025	08:08:39 a. m.	817	16.8	54.4
07/10/2025	08:08:43 a. m.	809	16.8	54.4
07/10/2025	08:08:47 a. m.	808	16.8	54.4
07/10/2025	08:08:51 a. m.	802	16.8	54.3
07/10/2025	08:08:55 a. m.	803	16.8	54.3
07/10/2025	08:09:03 a. m.	804	16.8	54.2
07/10/2025	08:09:15 a. m.	800	16.8	53.9
07/10/2025	08:09:23 a. m.	797	16.8	53.8
07/10/2025	08:09:27 a. m.	796	16.8	53.9
07/10/2025	08:09:31 a. m.	795	16.8	54.0
07/10/2025	08:09:35 a. m.	791	16.8	54.0
07/10/2025	08:09:40 a. m.	788	16.8	54.5
07/10/2025	08:09:44 a. m.	786	16.8	55.0
07/10/2025	08:09:48 a. m.	783	16.8	54.7
07/10/2025	08:09:52 a. m.	781	16.8	54.4
07/10/2025	08:09:56 a. m.	779	16.8	54.2
07/10/2025	08:10:00 a. m.	775	16.8	54.0
07/10/2025	08:10:04 a. m.	773	16.8	54.0
07/10/2025	08:10:08 a. m.	770	16.8	53.9
07/10/2025	08:10:12 a. m.	768	16.8	53.8
07/10/2025	08:10:16 a. m.	764	16.8	53.8
07/10/2025	08:10:20 a. m.	761	16.8	53.9
07/10/2025	08:10:24 a. m.	759	16.8	54.0
07/10/2025	08:10:28 a. m.	757	16.8	54.1
07/10/2025	08:10:32 a. m.	753	16.8	54.2
07/10/2025	08:10:36 a. m.	751	16.8	54.2
07/10/2025	08:10:40 a. m.	750	16.8	54.4
07/10/2025	08:10:44 a. m.	746	16.8	54.4
07/10/2025	08:10:48 a. m.	743	16.8	54.4

07/10/2025	01:41:58 p. m.	682	18.6	43.4
07/10/2025	01:42:06 p. m.	680	18.6	43.2
07/10/2025	01:42:18 p. m.	677	18.7	43.8
07/10/2025	01:42:34 p. m.	675	18.7	43.9
07/10/2025	01:42:43 p. m.	674	18.7	43.8
07/10/2025	01:42:47 p. m.	671	18.7	43.9
07/10/2025	01:42:55 p. m.	670	18.7	44.0
07/10/2025	01:43:27 p. m.	672	18.7	44.1
07/10/2025	01:43:59 p. m.	679	18.7	44.9
07/10/2025	01:44:15 p. m.	681	18.7	44.4
07/10/2025	01:44:19 p. m.	687	18.7	44.3
07/10/2025	01:44:23 p. m.	689	18.7	44.4
07/10/2025	01:44:27 p. m.	676	18.7	44.3
07/10/2025	01:44:31 p. m.	667	18.7	43.9
07/10/2025	01:44:35 p. m.	786	18.6	42.6
07/10/2025	01:44:51 p. m.	773	18.7	43.1
07/10/2025	01:44:59 p. m.	769	18.7	43.4
07/10/2025	01:45:15 p. m.	762	18.7	43.4
07/10/2025	01:45:23 p. m.	757	18.7	43.8
07/10/2025	01:45:27 p. m.	751	18.7	43.6
07/10/2025	01:45:43 p. m.	746	18.7	42.2
07/10/2025	01:45:51 p. m.	737	18.7	42.0
07/10/2025	01:46:00 p. m.	730	18.7	42.9
07/10/2025	01:46:04 p. m.	722	18.7	43.3
07/10/2025	01:46:12 p. m.	716	18.8	43.6
07/10/2025	01:48:36 p. m.	711	18.7	43.1
07/10/2025	01:49:00 p. m.	706	18.7	43.0
07/10/2025	01:49:33 p. m.	701	18.7	43.3
07/10/2025	01:49:41 p. m.	698	18.8	43.3
07/10/2025	01:49:49 p. m.	695	18.8	43.3
07/10/2025	01:50:17 p. m.	690	18.8	43.4
07/10/2025	01:50:21 p. m.	684	18.8	43.5
07/10/2025	01:50:57 p. m.	680	18.8	43.5
07/10/2025	01:51:01 p. m.	675	18.8	43.5
07/10/2025	01:51:09 p. m.	671	18.8	43.5
07/10/2025	01:51:17 p. m.	667	18.8	43.5
07/10/2025	01:51:33 p. m.	662	18.8	43.6
07/10/2025	01:51:37 p. m.	657	18.8	43.5
07/10/2025	01:52:17 p. m.	653	18.8	43.5
07/10/2025	01:54:26 p. m.	651	18.8	43.5
07/10/2025	01:54:34 p. m.	648	18.8	43.5

09/10/2025	08:04:21 a. m.	606	14.2	63.3	09/10/2025	01:33:19 p. m.	442	18.8	39.2	09/10/2025	06:33:50 p. m.	459	17.1	44.0
09/10/2025	08:04:26 a. m.	596	14.3	64.5	09/10/2025	01:33:31 p. m.	441	18.8	39.3	09/10/2025	06:35:11 p. m.	472	17.3	45.2
09/10/2025	08:04:30 a. m.	584	14.3	64.1	09/10/2025	01:34:11 p. m.	440	18.8	39.3	09/10/2025	06:35:23 p. m.	480	17.3	45.4
09/10/2025	08:04:34 a. m.	578	14.3	63.0	09/10/2025	01:38:13 p. m.	454	19.0	39.0	09/10/2025	06:35:27 p. m.	483	17.3	45.6
09/10/2025	08:04:38 a. m.	582	14.3	61.9	09/10/2025	01:38:21 p. m.	453	19.0	39.4	09/10/2025	06:36:47 p. m.	492	17.5	44.2
09/10/2025	08:04:42 a. m.	585	14.2	61.5	09/10/2025	01:38:29 p. m.	452	19.0	39.2	09/10/2025	06:38:55 p. m.	463	17.0	43.9
09/10/2025	08:04:46 a. m.	575	14.3	61.4	09/10/2025	01:39:13 p. m.	451	19.0	38.9	09/10/2025	06:39:01 p. m.	462	17.0	43.8
09/10/2025	08:04:50 a. m.	568	14.3	61.5	09/10/2025	01:40:25 p. m.	450	18.9	37.3	09/10/2025	06:39:09 p. m.	461	16.7	43.2
09/10/2025	08:04:54 a. m.	565	14.3	61.5	09/10/2025	01:40:29 p. m.	449	18.9	38.2	09/10/2025	06:39:25 p. m.	460	16.6	43.8
09/10/2025	08:04:58 a. m.	561	14.3	61.2	09/10/2025	01:40:37 p. m.	448	19.0	39.2	09/10/2025	06:39:37 p. m.	459	16.6	43.8
09/10/2025	08:05:02 a. m.	549	14.2	60.6	09/10/2025	01:40:45 p. m.	447	19.0	39.1	09/10/2025	06:39:53 p. m.	458	16.6	43.7
09/10/2025	08:05:06 a. m.	543	14.2	60.5	09/10/2025	01:40:49 p. m.	445	19.0	38.5	09/10/2025	06:40:05 p. m.	457	16.7	44.3
09/10/2025	08:05:10 a. m.	542	14.0	60.0	09/10/2025	01:40:57 p. m.	444	19.0	38.2	09/10/2025	06:41:17 p. m.	456	16.3	44.4
09/10/2025	08:05:14 a. m.	537	14.0	60.0	09/10/2025	01:41:26 p. m.	443	19.1	39.1	09/10/2025	06:41:21 p. m.	455	16.5	44.8
09/10/2025	08:06:33 a. m.	535	14.6	63.0	09/10/2025	01:43:22 p. m.	446	19.2	39.1	09/10/2025	06:45:03 p. m.	453	16.8	42.6
09/10/2025	08:06:37 a. m.	529	14.7	64.0	09/10/2025	01:45:19 p. m.	455	19.3	38.4	09/10/2025	06:45:23 p. m.	454	17.0	44.3
09/10/2025	08:06:41 a. m.	526	14.7	64.7	09/10/2025	01:54:25 p. m.	456	19.2	36.6	09/10/2025	06:47:59 p. m.	452	16.6	42.0
09/10/2025	08:06:45 a. m.	522	14.7	65.2	09/10/2025	01:54:38 p. m.	457	19.2	36.8	09/10/2025	06:48:03 p. m.	451	16.6	42.5
09/10/2025	08:06:49 a. m.	523	14.8	65.6	09/10/2025	01:54:42 p. m.	459	19.2	36.7	09/10/2025	06:48:15 p. m.	450	16.7	43.2
09/10/2025	08:06:53 a. m.	555	14.8	65.7	09/10/2025	01:54:50 p. m.	458	19.2	34.8	09/10/2025	06:48:24 p. m.	449	16.6	43.1
09/10/2025	08:06:57 a. m.	566	14.8	65.2	09/10/2025	01:55:22 p. m.	460	19.2	34.8	09/10/2025	06:50:12 p. m.	448	16.3	44.2
09/10/2025	08:07:01 a. m.	574	14.9	64.5	09/10/2025	01:55:38 p. m.	461	19.2	35.6	09/10/2025	06:50:20 p. m.	447	16.3	43.7
09/10/2025	08:07:05 a. m.	591	15.0	64.3	09/10/2025	01:56:06 p. m.	462	19.2	35.9	09/10/2025	06:51:00 p. m.	446	16.5	45.3
09/10/2025	08:07:09 a. m.	608	15.0	63.6	09/10/2025	01:56:14 p. m.	463	19.2	35.9	09/10/2025	06:51:24 p. m.	445	16.0	43.4
09/10/2025	08:07:13 a. m.	605	15.0	62.7	09/10/2025	01:56:30 p. m.	464	19.2	35.4	09/10/2025	06:52:09 p. m.	444	16.3	45.3
09/10/2025	08:07:17 a. m.	610	15.0	62.6	09/10/2025	01:56:42 p. m.	465	19.2	35.2					
09/10/2025	08:07:21 a. m.	617	15.0	62.8	09/10/2025	01:57:47 p. m.	466	19.2	35.4					
09/10/2025	08:07:26 a. m.	618	15.1	63.3	09/10/2025	01:58:23 p. m.	468	19.2	35.4					
09/10/2025	08:07:30 a. m.	587	15.1	62.7	09/10/2025	01:58:27 p. m.	467	19.2	35.4					
09/10/2025	08:07:34 a. m.	579	15.1	62.5										
09/10/2025	08:07:38 a. m.	564	15.1	62.2										
09/10/2025	08:07:42 a. m.	639	15.1	62.1										
09/10/2025	08:07:46 a. m.	660	15.2	62.6										
09/10/2025	08:07:50 a. m.	678	15.2	62.4										
09/10/2025	08:07:54 a. m.	692	15.2	61.9										
09/10/2025	08:07:58 a. m.	676	15.2	60.9										
09/10/2025	08:08:02 a. m.	656	15.0	59.3										
09/10/2025	08:08:06 a. m.	640	14.9	58.5										
09/10/2025	08:08:14 a. m.	625	15.0	60.7										
09/10/2025	08:08:22 a. m.	614	15.1	62.2										
09/10/2025	08:08:30 a. m.	603	15.1	59.2										
09/10/2025	08:08:42 a. m.	598	15.1	60.9										
09/10/2025	08:08:46 a. m.	593	15.1	60.7										
09/10/2025	08:08:50 a. m.	592	15.2	60.7										
09/10/2025	08:08:54 a. m.	589	15.2	60.5										
09/10/2025	08:08:58 a. m.	587	15.2	60.4										
09/10/2025	08:09:02 a. m.	584	15.1	59.6										
09/10/2025	08:09:26 a. m.	590	14.6	57.4										
09/10/2025	08:09:30 a. m.	591	14.5	57.4										
09/10/2025	08:09:38 a. m.	594	14.3	56.9										
09/10/2025	08:09:42 a. m.	595	14.4	58.0										
09/10/2025	08:09:46 a. m.	600	14.5	59.0										
09/10/2025	08:09:54 a. m.	639	14.7	59.7										
09/10/2025	08:10:02 a. m.	677	14.6	58.1										
09/10/2025	08:10:06 a. m.	696	14.6	56.9										
09/10/2025	08:10:10 a. m.	690	14.6	56.4										
09/10/2025	08:10:14 a. m.	680	14.7	57.4										
09/10/2025	08:10:18 a. m.	673	14.7	59.1										
09/10/2025	08:10:22 a. m.	665	14.7	58.8										
09/10/2025	08:10:26 a. m.	656	14.7	58.1										
09/10/2025	08:10:31 a. m.	650	14.8	58.4										
09/10/2025	08:10:35 a. m.	645	14.8	59.0										
09/10/2025	08:10:39 a. m.	638	14.8	59.8										
09/10/2025	08:10:55 a. m.	630	15.0	60.3										
09/10/2025	08:11:03 a. m.	622	14.9	58.6										
09/10/2025	08:11:07 a. m.	599	14.8	58.0										
09/10/2025	08:11:11 a. m.	570	14.8	57.5										
09/10/2025	08:11:23 a. m.	559	14.7	57.3										
09/10/2025	08:11:47 a. m.	546	14.3	57.0										
09/10/2025	08:11:55 a. m.	525	14.2	57.2										
09/10/2025	08:11:59 a. m.	517	14.2	57.4										
09/10/2025	08:12:03 a. m.	514	14.2	58.2										
09/10/2025	08:12:07 a. m.	510	14.4	59.1										
09/10/2025	08:12:11 a. m.	492	14.5	59.4										
09/10/2025	08:12:15 a. m.	414	14.5	58.9										
09/10/2025	08:12:23 a. m.	413	14.5	58.4										
09/10/2025	08:12:35 a. m.	412	14.3	57.5										
09/10/2025	08:12:43 a. m.	615	14.5	58.3										



Hoja de Registro de Datos de Concentraciones de Dióxido de Carbono (CO₂) en Campo

Equipo utilizado: Sensor portátil AZ7755 (CO₂/Temp/RH Meter)



TESIS : "EVALUACION DE LAS EMISIONES DE DIOXIDO DE CARBONO (CO₂) GENERADAS POR LA PERDIDA DE LA SERVICIABILIDAD DEL PAVIMENTO EN LA AVENIDA LA CULTURA, TRAMO ENACO – LIMACAMPAMA, CUSCO – 2025"

UNIVERSIDAD : Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

ESCUELA : Escuela Profesional de Ingeniería Civil

OPERADOR : Bach. Esquivel Ylla Thony Huver COD. 151400
Bach. Grovas Lima Alberto Atanacio COD. 154526

SUPERVISOR : Dr. Ing. Adan Wilbert Solorzano Montesinos

DIA : Sabado, 11 de Octubre del 2025

MAÑANA					MEDIO DIA					TARDE				
FECHA	HORA	CO ₂	T°	H	FECHA	HORA	CO ₂	T°	H	FECHA	HORA	CO ₂	T°	H
11/10/2025	07:31:59 a. m.	640	12.7	60.3	11/10/2025	12:27:22 p. m.	654	17.7	59.3	11/10/2025	05:29:54 p. m.	553	18.1	45.0
11/10/2025	07:32:03 a. m.	638	12.8	60.9	11/10/2025	12:27:24 p. m.	651	18.1	56.6	11/10/2025	05:30:09 p. m.	554	18.1	45.0
11/10/2025	07:32:07 a. m.	637	12.8	60.9	11/10/2025	12:27:28 p. m.	649	16.8	47.2	11/10/2025	05:30:17 p. m.	555	18.1	44.9
11/10/2025	07:32:11 a. m.	636	12.9	61.1	11/10/2025	12:27:32 p. m.	647	16.6	48.3	11/10/2025	05:30:37 p. m.	560	18.1	45.4
11/10/2025	07:32:27 a. m.	639	13.0	60.8	11/10/2025	12:27:36 p. m.	645	17.2	54.2	11/10/2025	05:30:41 p. m.	571	18.1	45.7
11/10/2025	07:32:56 a. m.	635	13.0	60.4	11/10/2025	12:27:40 p. m.	644	17.6	56.9	11/10/2025	05:30:45 p. m.	596	18.1	45.9
11/10/2025	07:33:04 a. m.	634	13.1	61.2	11/10/2025	12:27:44 p. m.	642	17.8	49.9	11/10/2025	05:30:49 p. m.	652	18.1	45.6
11/10/2025	07:34:12 a. m.	632	13.0	58.7	11/10/2025	12:27:48 p. m.	640	14.6	50.8	11/10/2025	05:33:02 p. m.	678	18.1	45.5
11/10/2025	07:34:16 a. m.	629	13.0	59.0	11/10/2025	12:27:52 p. m.	639	16.5	55.8	11/10/2025	05:33:06 p. m.	676	18.1	45.3
11/10/2025	07:34:20 a. m.	627	13.0	59.1	11/10/2025	12:27:56 p. m.	636	15.8	56.1	11/10/2025	05:33:10 p. m.	673	18.1	45.4
11/10/2025	07:34:24 a. m.	625	13.0	59.4	11/10/2025	12:28:00 p. m.	634	17.4	59.5	11/10/2025	05:33:14 p. m.	670	18.1	46.1
11/10/2025	07:34:28 a. m.	624	13.1	59.8	11/10/2025	12:28:04 p. m.	632	17.6	55.6	11/10/2025	05:33:18 p. m.	667	18.1	46.0
11/10/2025	07:34:32 a. m.	621	13.1	59.9	11/10/2025	12:28:08 p. m.	630	17.0	52.0	11/10/2025	05:33:22 p. m.	665	18.1	46.1
11/10/2025	07:34:36 a. m.	619	13.1	59.8	11/10/2025	12:28:12 p. m.	629	17.0	51.2	11/10/2025	05:33:26 p. m.	661	18.1	45.8
11/10/2025	07:34:44 a. m.	618	13.1	59.2	11/10/2025	12:28:16 p. m.	628	16.9	47.2	11/10/2025	05:33:30 p. m.	659	18.0	45.9
11/10/2025	07:34:52 a. m.	617	13.1	59.8	11/10/2025	12:28:20 p. m.	626	16.8	47.4	11/10/2025	05:33:34 p. m.	657	18.0	45.8
11/10/2025	07:35:00 a. m.	616	13.1	59.1	11/10/2025	12:28:24 p. m.	625	17.0	49.9	11/10/2025	05:33:38 p. m.	654	18.0	45.7
11/10/2025	07:35:08 a. m.	615	13.1	59.1	11/10/2025	12:28:32 p. m.	624	17.3	51.6	11/10/2025	05:33:46 p. m.	650	18.0	45.6
11/10/2025	07:35:12 a. m.	614	13.1	58.8	11/10/2025	12:28:56 p. m.	623	17.5	54.1	11/10/2025	05:33:50 p. m.	649	18.0	45.5
11/10/2025	07:35:24 a. m.	613	13.0	58.7	11/10/2025	12:29:04 p. m.	622	17.7	53.7	11/10/2025	05:33:54 p. m.	646	18.0	45.6
11/10/2025	07:35:32 a. m.	612	13.0	58.8	11/10/2025	12:29:12 p. m.	621	18.5	56.2	11/10/2025	05:33:58 p. m.	644	18.0	45.6
11/10/2025	07:35:40 a. m.	611	13.1	58.7	11/10/2025	12:29:16 p. m.	620	16.7	44.4	11/10/2025	05:34:02 p. m.	642	18.0	45.8
11/10/2025	07:35:49 a. m.	609	13.1	58.2	11/10/2025	12:29:24 p. m.	618	16.8	46.1	11/10/2025	05:34:06 p. m.	639	18.0	45.8
11/10/2025	07:35:53 a. m.	608	13.1	58.5	11/10/2025	12:29:28 p. m.	617	17.1	48.1	11/10/2025	05:34:10 p. m.	637	18.0	45.8
11/10/2025	07:35:57 a. m.	607	13.1	58.9	11/10/2025	12:29:48 p. m.	616	16.6	47.1	11/10/2025	05:34:18 p. m.	636	18.0	45.5
11/10/2025	07:36:05 a. m.	605	13.2	59.3	11/10/2025	12:30:45 p. m.	627	16.6	44.8	11/10/2025	05:35:03 p. m.	635	18.0	45.3
11/10/2025	07:36:13 a. m.	604	13.2	59.4	11/10/2025	12:31:05 p. m.	631	16.7	45.1	11/10/2025	05:35:23 p. m.	638	18.1	56.3
11/10/2025	07:36:41 a. m.	603	13.3	58.9	11/10/2025	12:32:25 p. m.	619	16.7	44.7	11/10/2025	05:35:43 p. m.	640	18.1	50.6
11/10/2025	07:36:49 a. m.	602	13.3	59.0	11/10/2025	12:33:13 p. m.	655	15.9	43.0	11/10/2025	05:35:59 p. m.	641	18.1	49.2
11/10/2025	07:37:05 a. m.	601	13.4	59.4	11/10/2025	12:33:18 p. m.	664	15.9	42.9	11/10/2025	05:37:15 p. m.	633	18.1	48.0
11/10/2025	07:37:41 a. m.	600	13.5	59.4	11/10/2025	12:33:22 p. m.	670	16.1	43.8	11/10/2025	05:37:23 p. m.	632	18.1	47.1
11/10/2025	07:37:53 a. m.	599	13.6	59.3	11/10/2025	12:33:26 p. m.	683	16.4	44.4	11/10/2025	05:37:27 p. m.	631	18.1	46.5
11/10/2025	07:38:21 a. m.	598	13.4	57.3	11/10/2025	12:38:23 p. m.	687	16.6	45.7	11/10/2025	05:37:31 p. m.	629	18.1	46.2
11/10/2025	07:38:41 a. m.	597	13.4	57.8	11/10/2025	12:38:27 p. m.	685	15.8	44.4	11/10/2025	05:37:35 p. m.	628	18.2	46.0
11/10/2025	07:38:50 a. m.	596	13.5	58.1	11/10/2025	12:38:31 p. m.	686	15.9	50.2	11/10/2025	05:37:39 p. m.	627	18.2	46.3
11/10/2025	07:39:26 a. m.	595	13.3	57.5	11/10/2025	12:38:35 p. m.	679	16.0	48.7	11/10/2025	05:37:43 p. m.	626	18.2	46.6
11/10/2025	07:39:30 a. m.	594	13.3	57.6	11/10/2025	12:38:39 p. m.	675	15.8	44.6	11/10/2025	05:37:47 p. m.	625	18.2	46.3
11/10/2025	07:39:34 a. m.	593	13.3	57.2	11/10/2025	12:38:43 p. m.	674	15.8	45.7	11/10/2025	05:38:08 p. m.	624	18.2	45.7
11/10/2025	07:39:42 a. m.	592	13.2	57.2	11/10/2025	12:38:47 p. m.	669	16.1	46.3	11/10/2025	05:38:12 p. m.	622	18.2	45.4
11/10/2025	07:39:46 a. m.	590	13.2	57.2	11/10/2025	12:38:55 p. m.	668	16.2	46.6	11/10/2025	05:38:16 p. m.	621	18.2	45.2
11/10/2025	07:39:50 a. m.	589	13.3	57.7	11/10/2025	12:38:59 p. m.	666	16.3	46.7	11/10/2025	05:38:20 p. m.	620	18.2	45.2
11/10/2025	07:39:58 a. m.	587	13.3	57.6	11/10/2025	12:39:03 p. m.	663	16.1	50.3	11/10/2025	05:38:24 p. m.	618	18.2	45.2
11/10/2025	07:40:02 a. m.	586	13.3	57.3	11/10/2025	12:39:07 p. m.	662	16.3	51.3	11/10/2025	05:38:32 p. m.	617	18.2	45.2
11/10/2025	07:40:10 a. m.	585	13.3	57.3	11/10/2025	12:39:15 p. m.	660	16.6	53.7	11/10/2025	05:38:36 p. m.	616	18.2	45.4
11/10/2025	07:40:22 a. m.	583	13.3	57.3	11/10/2025	12:39:19 p. m.	659	16.9	55.6	11/10/2025	05:38:48 p. m.	615	18.2	45.8
11/10/2025	07:40:26 a. m.	580	13.3	57.3	11/10/2025	12:39:23 p. m.	658	17.3	55.9	11/10/2025	05:39:00 p. m.	613	18.2	45.8
11/10/2025	07:40:30 a. m.	579	13.3	56.9	11/10/2025	12:39:27 p. m.	657	17.5	55.7	11/10/2025	05:39:04 p. m.	612	18.2	45.6
11/10/2025	07:40:34 a. m.	578	13.3	56.9	11/10/2025	12:39:40 p. m.	653	17.7	54.1	11/10/2025	05:39:16 p. m.	611	18.2	45.4
11/10/2025	07:40:38 a. m.	575	13.2	56.8	11/10/2025	12:39:44 p. m.	652	17.9	53.9	11/10/2025	05:39:28 p. m.	610	18.2	45.2
11/10/2025	07:40:42 a. m.	574	13.2	57.0	11/10/2025	12:39:52 p. m.	648	17.9	53.0	11/10/2025	05:39:48 p. m.	614	18.2	45.1
11/10/2025	07:40:46 a. m.	572	13.1	57.2	11/10/2025	12:40:00 p. m.	646	17.8	52.4	11/10/2025	05:46:26 p. m.	619	18.2	45.1
11/10/2025	07:40:54 a. m.	570	13.1	57.6	11/10/2025	12:40:24 p. m.	641	17.8	53.0	11/10/2025	05:48:35 p. m.	634	18.2	44.9
11/10/2025	07:40:58 a. m.	568	13.2	57.7	11/10/2025	12:40:36 p. m.	637	18.0	53.5	11/10/2025	05:54:21 p. m.	643	18.2	44.7
11/10/2025	07:41:02 a. m.	566	13.3	60.0	11/10/2025	12:40:44 p. m.	635	18.1	53.4	11/10/2025	05:54:33 p. m.	645	18.2	44.7

<<CONTINUACIÓN>>

11/10/2025	08:31:08 a. m.	512	13.4	53.6
11/10/2025	08:31:12 a. m.	510	12.7	53.1
11/10/2025	08:31:16 a. m.	508	13.5	57.2
11/10/2025	08:31:20 a. m.	506	13.5	53.8
11/10/2025	08:31:24 a. m.	507	13.7	54.8
11/10/2025	08:31:32 a. m.	513	14.0	55.6
11/10/2025	08:31:45 a. m.	523	14.3	56.3
11/10/2025	08:32:33 a. m.	580	14.5	56.6
11/10/2025	08:32:41 a. m.	621	14.6	55.9
11/10/2025	08:32:53 a. m.	669	14.0	51.8
11/10/2025	08:35:02 a. m.	612	13.9	51.3
11/10/2025	08:35:22 a. m.	607	13.7	51.0
11/10/2025	08:35:54 a. m.	653	13.8	51.7
11/10/2025	08:37:58 a. m.	630	14.0	52.1
11/10/2025	08:42:07 a. m.	582	13.8	51.7
11/10/2025	08:42:09 a. m.	581	14.0	52.2
11/10/2025	08:42:13 a. m.	580	14.0	51.8
11/10/2025	08:42:17 a. m.	578	14.1	51.8
11/10/2025	08:42:21 a. m.	575	14.0	51.1
11/10/2025	08:42:25 a. m.	574	13.7	51.0
11/10/2025	08:42:29 a. m.	572	13.8	52.4
11/10/2025	08:42:33 a. m.	571	14.0	53.1
11/10/2025	08:42:57 a. m.	585	14.2	53.9
11/10/2025	08:43:01 a. m.	588	13.1	51.5
11/10/2025	08:43:05 a. m.	590	13.2	53.3
11/10/2025	08:43:09 a. m.	589	13.5	53.6
11/10/2025	08:43:29 a. m.	570	13.5	53.5
11/10/2025	08:43:33 a. m.	564	13.7	54.4
11/10/2025	08:43:37 a. m.	558	14.0	55.0
11/10/2025	08:43:41 a. m.	552	14.2	55.7
11/10/2025	08:43:45 a. m.	546	14.2	54.4
11/10/2025	08:43:49 a. m.	540	14.0	52.3
11/10/2025	08:43:53 a. m.	533	14.0	52.1
11/10/2025	08:43:57 a. m.	527	14.3	53.1
11/10/2025	08:44:01 a. m.	522	14.0	51.1
11/10/2025	08:44:05 a. m.	509	13.8	51.3
11/10/2025	08:44:09 a. m.	501	14.2	56.8
11/10/2025	08:44:13 a. m.	492	14.9	57.2
11/10/2025	08:44:17 a. m.	486	15.0	57.2
11/10/2025	08:44:21 a. m.	482	14.2	51.0
11/10/2025	08:44:26 a. m.	476	13.7	50.6
11/10/2025	08:44:30 a. m.	471	14.5	55.1
11/10/2025	08:44:34 a. m.	468	14.8	55.3
11/10/2025	08:45:02 a. m.	467	15.0	55.6
11/10/2025	08:45:10 a. m.	478	15.1	56.1
11/10/2025	08:45:14 a. m.	483	15.2	56.6
11/10/2025	08:45:18 a. m.	496	15.3	56.5
11/10/2025	08:45:22 a. m.	507	15.3	55.2
11/10/2025	08:45:26 a. m.	520	14.7	54.1
11/10/2025	08:45:30 a. m.	532	14.0	50.9
11/10/2025	08:45:34 a. m.	545	14.2	52.7
11/10/2025	08:45:42 a. m.	584	14.5	53.9
11/10/2025	08:45:46 a. m.	610	14.2	52.3
11/10/2025	08:45:50 a. m.	602	14.1	51.7
11/10/2025	08:45:54 a. m.	598	14.1	52.0
11/10/2025	08:45:58 a. m.	576	14.8	54.3
11/10/2025	08:46:02 a. m.	559	14.7	58.6
11/10/2025	08:46:06 a. m.	541	15.0	60.0
11/10/2025	08:46:14 a. m.	508	15.3	60.5
11/10/2025	08:46:18 a. m.	502	15.5	59.7
11/10/2025	08:46:22 a. m.	505	14.5	51.1
11/10/2025	08:46:26 a. m.	506	14.5	52.2
11/10/2025	08:46:46 a. m.	510	14.5	53.4
11/10/2025	08:46:50 a. m.	511	14.6	54.3
11/10/2025	08:46:54 a. m.	515	14.8	56.2
11/10/2025	08:46:58 a. m.	518	14.8	54.7
11/10/2025	08:47:02 a. m.	523	15.0	55.8
11/10/2025	08:47:06 a. m.	529	15.3	58.3
11/10/2025	08:47:10 a. m.	534	15.7	59.7
11/10/2025	08:47:14 a. m.	542	16.1	58.2
11/10/2025	08:47:18 a. m.	551	15.8	53.9
11/10/2025	08:47:22 a. m.	555	15.2	50.2
11/10/2025	08:47:26 a. m.	560	15.4	53.6
11/10/2025	08:47:30 a. m.	565	15.6	59.1
11/10/2025	08:47:34 a. m.	567	15.7	60.3
11/10/2025	08:47:39 a. m.	568	15.9	60.1
11/10/2025	08:47:47 a. m.	566	16.1	60.1
11/10/2025	08:48:19 a. m.	569	15.4	53.1

11/10/2025	01:22:22 p. m.	608	18.6	44.9
11/10/2025	01:22:26 p. m.	612	18.6	45.1
11/10/2025	01:22:30 p. m.	616	18.6	45.1
11/10/2025	01:22:34 p. m.	617	18.6	45.2
11/10/2025	01:22:38 p. m.	620	18.6	45.0
11/10/2025	01:22:50 p. m.	622	18.6	44.9
11/10/2025	01:23:14 p. m.	619	18.5	44.5
11/10/2025	01:23:22 p. m.	618	18.5	44.5
11/10/2025	01:23:38 p. m.	615	18.5	44.8
11/10/2025	01:23:54 p. m.	611	18.5	45.1
11/10/2025	01:23:58 p. m.	609	18.5	45.3
11/10/2025	01:24:02 p. m.	607	18.5	45.3
11/10/2025	01:24:10 p. m.	605	18.5	45.1
11/10/2025	01:24:30 p. m.	599	18.5	44.7
11/10/2025	01:24:59 p. m.	594	18.4	44.4
11/10/2025	01:25:03 p. m.	593	18.4	44.2
11/10/2025	01:25:11 p. m.	590	18.4	43.9
11/10/2025	01:25:15 p. m.	589	18.4	43.9
11/10/2025	01:25:19 p. m.	588	18.4	44.1
11/10/2025	01:25:23 p. m.	586	18.3	44.2
11/10/2025	01:25:35 p. m.	582	18.3	44.3
11/10/2025	01:25:39 p. m.	581	18.3	44.6
11/10/2025	01:25:47 p. m.	578	18.3	44.8
11/10/2025	01:26:27 p. m.	577	18.3	44.8
11/10/2025	01:26:39 p. m.	576	18.3	44.9
11/10/2025	01:27:31 p. m.	625	18.3	44.9
11/10/2025	01:27:39 p. m.	637	18.3	45.1
11/10/2025	01:27:43 p. m.	643	18.2	45.1
11/10/2025	01:27:47 p. m.	646	18.2	44.9
11/10/2025	01:27:52 p. m.	647	18.2	45.0
11/10/2025	01:28:00 p. m.	651	18.2	44.9
11/10/2025	01:28:20 p. m.	650	18.2	44.9
11/10/2025	01:28:24 p. m.	649	18.2	45.0
11/10/2025	01:28:36 p. m.	645	18.2	45.1
11/10/2025	01:28:40 p. m.	641	18.2	45.2
11/10/2025	01:28:44 p. m.	640	18.2	45.1
11/10/2025	01:28:48 p. m.	638	18.2	45.0
11/10/2025	01:28:52 p. m.	636	18.1	45.1
11/10/2025	01:29:08 p. m.	629	18.1	44.9
11/10/2025	01:29:16 p. m.	628	18.1	44.9
11/10/2025	01:29:40 p. m.	614	18.1	45.0
11/10/2025	01:29:48 p. m.	610	18.1	45.0
11/10/2025	01:30:08 p. m.	603	18.1	44.9

11/10/2025	06:50:55 p. m.	665	18.6	43.8
11/10/2025	06:50:59 p. m.	661	18.6	43.9
11/10/2025	06:51:03 p. m.	655	18.6	43.9
11/10/2025	06:51:07 p. m.	651	18.6	43.9
11/10/2025	06:51:11 p. m.	644	18.6	43.7
11/10/2025	06:51:15 p. m.	640	18.6	43.7
11/10/2025	06:51:19 p. m.	636	18.6	43.6
11/10/2025	06:51:23 p. m.	630	18.6	43.5
11/10/2025	06:51:31 p. m.	625	18.7	43.4
11/10/2025	06:51:35 p. m.	623	18.7	43.4
11/10/2025	06:51:39 p. m.	618	18.7	43.4
11/10/2025	06:51:43 p. m.	613	18.7	43.2
11/10/2025	06:51:47 p. m.	611	18.7	43.4
11/10/2025	06:51:51 p. m.	610	18.7	43.6
11/10/2025	06:51:55 p. m.	609	18.7	43.8
11/10/2025	06:51:59 p. m.	607	18.7	44.0
11/10/2025	06:52:03 p. m.	605	18.7	44.1
11/10/2025	06:52:07 p. m.	602	18.7	43.7
11/10/2025	06:52:19 p. m.	601	18.6	43.6
11/10/2025	06:52:31 p. m.	599	18.6	43.7
11/10/2025	06:52:35 p. m.	597	18.6	44.1
11/10/2025	06:52:39 p. m.	596	18.6	44.2
11/10/2025	06:52:43 p. m.	594	18.6	44.3
11/10/2025	06:52:47 p. m.	592	18.6	44.4
11/10/2025	06:52:51 p. m.	591	18.6	44.5
11/10/2025	06:52:55 p. m.	590	18.6	44.3
11/10/2025	06:53:03 p. m.	588	18.6	44.2
11/10/2025	06:53:07 p. m.	587	18.6	43.7
11/10/2025	06:53:11 p. m.	586	18.6	43.2
11/10/2025	06:53:40 p. m.	575	18.6	43.1
11/10/2025	06:54:00 p. m.	567	18.6	42.7
11/10/2025	06:54:08 p. m.	561	18.6	42.8

Anexo 25. Certificado de Calibración HandHeld CO₂ /Temp/RH METER



AZ Instrument Corp.

Calibration Certificate

Model No. :7755

Serial No. : 2512948

Product name: HandHeld CO₂/Temp/RH METER

Object	CO ₂	RH	temperature
Range	0-9999ppm	0.1~99.9%RH	-20℃~59.9℃
Accuracy	±50ppm(0-2000ppm)	±3%RH(at25℃,10%~90%, others±5%RH)	±0.6℃

Measured Result:

Standard	Co ₂ (400ppm)	RH(33.1%)	RH(75.1%)	Temp.(25.2℃)
Measured	398ppm	32.9%	75.7%	25.1℃
Deviation	-2ppm	-0.2%	+0.6%	0.1℃

Statement of Calibration Practices:

The recommended calibration interval for this instrument is 12 months.

Calibration Date: 10th August 2025

Quality Checked by

Checked by

Date

Wen Lina
Wen Lina

2025/8/10

Manufacturer/Supplier Approval.

Approved by

Date

Jin Hong
Jin Hong

2025/8/10

Anexo 26. Certificado de Calibración del APARATO MERLIN (Machine for Evaluating Roughness Using low- cost Instrumentation)



CALITEST S.A.C.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN CON
TRAZABILIDAD AL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Nº V2523006

Expediente : Nº 0180-2023
Fecha de Emisión : 2023-07-25

1. SOLICITANTE : HATUN SOLUTIONS ASOCIADOS S.A.C.
DIRECCIÓN : MZA. N LOTE. 1 URB. SANTA ROSA (5TO PISO)
CUSCO - CUSCO - SAN SEBASTIAN

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : RUGOSIMETRO MERLIN

Marca : PALJO
Modelo : PE2011.1
Número de Serie : 2523006
Estructura : Metálicos
Acabado : Pintado
Procedencia : PERÚ
Identificación : No indica
Ubicación : Instalaciones de CALITEST S.A.C.

3. LUGAR Y FECHA DE CALIBRACIÓN

Fecha : 2023-07-25
Lugar : Laboratorio de CALITEST S.A.C.

4. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó por comparación directa tomando como referencia el procedimiento PC-012.5ta Ed. 2012, "Procedimiento de Calibración de Pie de Rey", del Instituto Nacional de Calidad - INACAL.

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	22.1	22.5
Humedad Relativa (%)	66	60

6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

TRAZABILIDAD	PATRÓN UTILIZADO	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
METROSYSTEMS S.R.L.	Pie de Rey (Vernier)	MS-0084-2023
METROL	Flexómetro (Winco)	1AD-0068-2023

Página 1 de 2

El equipo de medición especificado en este documento ha sido calibrado, probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados sólo están relacionados con los items calibrados y son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

CALITEST S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Sello



CALITEST S.A.C.

Tco. ARMANDO JUNIOR PIZANGO MOZOMBITE
JEFE DE LABORATORIO DE METROLOGIA

LABORATORIO DE METROLOGIA



CALITEST SAC

Ing. GIANMARCO ANDRE
MESTAS PIZANGO
CIP: 256285
JEFE DE LABORATORIO

FEL-25

Rev00

Elaborado: PFSP

Revisado: GAMP

Aprobado: AJPM

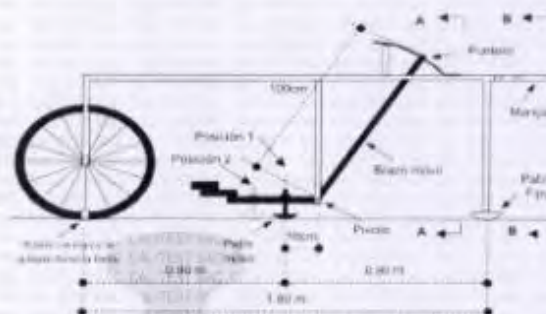
DIRECCIÓN FISCAL: CAL JANGAS Nº 628, BREÑA - LIMA - URB

Tel.: 562 8972 Cel.: 925076521 / E-mail: servicios@calitesbac.com, certificados@calitesbac.com / Web: calitesbac.com

PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO

7. OBSERVACIONES

No presenta ninguna observación



B. RESULTADO DE MEDICIÓN

MEDIDAS REALIZADAS

- * Pastilla de bronce de 5 mm de espesor
- * Eje de rueda a Patín Fijo
- * Patín Fijo a Patín Móvil
- * Patín móvil a Eje de rueda
- * Pivot a Patín Móvil
- * Pivot a Puntero

Dato Promedio	Unidad
8	cm
180	cm
90	cm
90	cm
70	cm
100	cm

APARATO MERLIN (Machine for Evaluating Rousness using low-cost instrumentation)

Norma: Laboratorio Británico de Investigación de Tránsito y Caminos - TRRL

MERLIN

Es un equipo que consta de un marco formado de dos elementos verticales y uno horizontal. Uno de los elementos verticales es una rueda donde una vuelta de la rueda es 2.15 m aprox. En la parte central del elemento horizontal se proyecta una barra vertical cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil en cuyo extremo inferior se ubica un péndel enmangado ajustable, mientras en el extremo superior se ubica el puntiero siendo la relación de los brazos entre los segmentos pivote-extremo de 1:10.

Gallo

Laboratório de Metrologia



PEB-29

Results

CALITEST S.A.C.

Tcn. ARMANDO JUNIOR PIZANGO MOZOMBITE
JEFF DE LABORATORIO DE METROLOGIA



CALITEST SAC

ING. GIANMARCO ANDRE
MESTAS PIZANGO
CIP: 256285
JEFF DE LABORATORIO

Elsterne PESP

Revised: GAMP

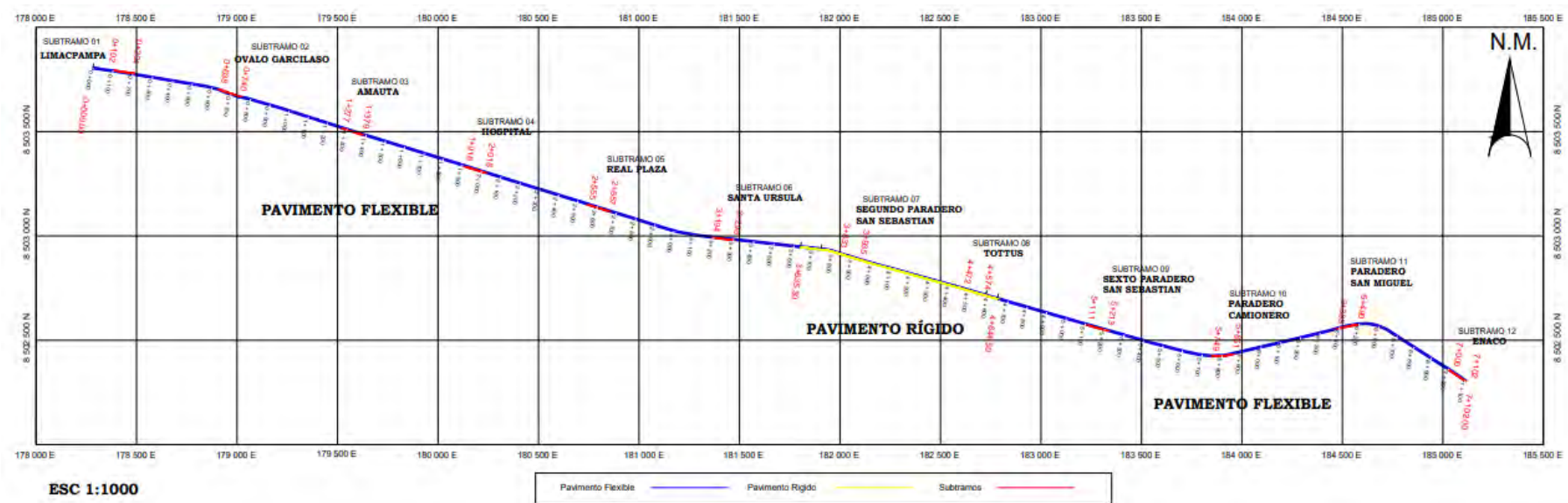
Anagnostou, A. 1994.

DIRECCIÓN FISCAL - CAL. LANGAS N° 62B. BRÍÑA - LIMA - LIMA

Tel.: 562-8972 Cx.: 925096323 / E-mail: services@caltestsa.com, certificados@caltestsa.com / Web: caltestsa.com

PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO

Anexo 27. Plano Topográfico de la Investigación.



ESQUEMA DEL PAVIMENTO PARA EL MUESTREO

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SUBTRAMO 12		SUBTRAMO 11		SUBTRAMO 10		SUBTRAMO 09		SUBTRAMO 08		SUBTRAMO 07	
INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN
PROG. 7 + 000.00	PROG. 7 + 102.00	PROG. 6 + 388.75	PROG. 6 + 490.75	PROG. 5 + 749.88	PROG. 5 + 851.88	PROG. 5 + 111.00	PROG. 5 + 213.00	PROG. 4 + 584.50	PROG. 4 + 644.50	PROG. 3 + 635.50	PROG. 3 + 700.50
SUBTRAMO 06		SUBTRAMO 05		SUBTRAMO 04		SUBTRAMO 03		SUBTRAMO 02		SUBTRAMO 01	
INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN
PROG. 3 + 194.38	PROG. 3 + 296.38	PROG. 2 + 555.50	PROG. 2 + 657.50	PROG. 1 + 916.83	PROG. 2 + 018.83	PROG. 1 + 277.75	PROG. 1 + 379.75	PROG. 0 + 638.88	PROG. 0 + 740.88	PROG. 0 + 102.00	PROG. 0 + 202.00

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO							
	TESIS: EVALUACION DE LAS EMISIONES DEL DIOXIDO DE CARBONO (CO2) GENERADA POR LA PERDIDA DE LA SERVICIABILIDAD DEL PAVIMENTO EN LA AVENIDA LA CULTURA, TRAMO ENACO - LIMACPAMPA, CUSCO - 2025						PLANO: TOPOGRAFICO	LAMINA:
	UBICACION DEPARTAMENTO: CUSCO PROVINCIA: CUSCO DISTRITOS: WANCHAQ - SAN SEBASTIAN			ASESOR: DR. ING. ADAN WILBERT SOLORZANO MONTESINOS			FECHA: OCTUBRE - 2025	PT-01
				TESISTAS: BACH: ATANACIO ALBERTO GROVAS LIMA BACH: THONY HUVER ESQUIVEL YLLA			ESCALA: 1:1000	

Anexo 28. Reconocimiento de campo y delimitación de subtramos con el Odómetro.



Congestión vehicular en la Av. La Cultura, relacionada con la serviciabilidad del pavimento y las concentraciones de CO₂.



Carril izquierdo de subida del tramo, seleccionado para el estudio de la condición del pavimento y las concentraciones de CO₂.



Medición de progresivas y reconocimiento del tramo de estudio mediante el uso de odómetro, para la delimitación e identificación de los subtramos de evaluación.



Marcado de progresivas mediante el uso de spray blanco, permitiendo la delimitación y ubicación de los subtramos, así como la identificación precisa de los puntos de medición para la evaluación del IRI, PCI y ahuellamiento del pavimento, además del registro de las concentraciones de CO₂.

Anexo 29. Evaluación del IRI mediante recorrido continuo del tramo



Progresiva inicial (7+200) en el paradero Enaco, estacionamiento y punto de inicio del estudio de IRI

Vehículo de seguridad durante el levantamiento del IRI con rugosímetro



Supervisión del asesor de tesis, Dr. Ing. Adán Wilbert Solórzano M. Durante la medición de rugosidad con equipo MERLIN.

Personal de apoyo realizando la toma de datos con equipo MERLIN en el cuarto paradero.



Medición de rugosidad con equipo MERLIN en el tramo, primer paradero – Hospital Regional.

Finalización del levantamiento del IRI con equipo MERLIN en la plaza Limacampa.

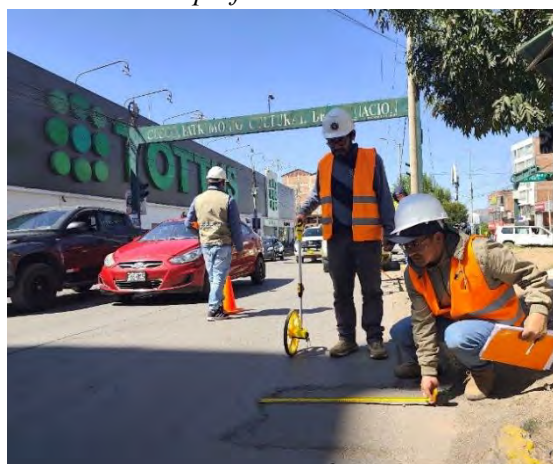
Anexo 30. Registro de fallas para el PCI en pavimentos flexibles y rígidos.



Parqueo longitudinal de severidad media (M) con deterioro superficial en Pav. Flexible



Parqueo transversal de severidad baja (L) con fisuración superficial en Pav. Flexible



Parqueo de severidad baja (L) en pavimento rígido.



Parqueo de severidad baja (L) con leve deterioro superficial en pavimento rígido.



Fisura transversal de severidad baja (L) con abertura fina en pavimento rígido.



Fisuración multidireccional de severidad baja (L) con abertura fina en pavimento rígido

Anexo 31. Fallas para el cálculo del PCI en pavimentos flexibles y rígidos



Huecos de severidad baja (L) con leve pérdida de material en pavimento flexible.



Grietas de bloque de severidad media (M), con fisuración moderada en forma de



Fisura transversal de severidad media (M) con abertura moderada en pavimento



Fisura longitudinal de severidad media (M) con abertura moderada en pavimento



Grietas de borde de severidad media (M), con fisuración moderada en el borde del pavimento



Piel de cocodrilo de severidad alta (H), con fisuración severa y desintegración del pavimento

Anexo 32. Medición del ahuellamiento según su nivel de severidad



Punto inicial de evaluación del ahuellamiento ubicado en la progresiva 7+200, correspondiente al paradero Enaco, donde se dio inicio al registro y medición de deformaciones longitudinales en la superficie del pavimento flexible.



Registro de ahuellamiento en distintos puntos del tramo, observándose el uso de conos de seguridad, regla metálica y flexómetro para medir la profundidad del ahuellamiento.



Se observan las actividades de medición y registro de datos de ahuellamiento en distintos puntos del tramo de estudio, evidenciándose diferentes niveles de severidad en la superficie del pavimento flexible.

Anexo 33. Pruebas de funcionamiento y manejo del equipo sensor de CO₂ con apoyo del docente del Departamento de Investigaciones de Física



Pruebas de funcionamiento y manipulación del sensor realizadas en el campo universitario, con la participación del Dr. Julio Warthon Ascarza, verificándose el correcto funcionamiento del equipo durante las evaluaciones preliminares.



Se observa el vehículo de prueba y el equipo sensor durante las evaluaciones, realizando mediciones a diferentes distancias del escape vehicular para verificar el funcionamiento del equipo de monitoreo.



Se observa el funcionamiento del programa para el registro y almacenamiento de datos, así como la visualización de gráficas en la laptop, durante pruebas previas al registro oficial en el tramo de estudio.

Anexo 34. Registro de CO₂ en los subtramos evaluados



Registro de concentraciones de CO₂ realizado en el subtramo Enaco durante el monitoreo en campo.



Registro de concentraciones de CO₂ realizado en el subtramo Cuarto



Registro de concentraciones de CO₂ en el subtramo Segundo Paradero, correspondiente al pavimento rígido, durante el monitoreo de campo.



Registro de CO₂ en el subtramo plaza vea durante el monitoreo de campo.



Registro de CO₂ realizado en el subtramo Hospital regional.



Registro de CO₂ en el subtramo Paradero Amauta durante el monitoreo de campo.