

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis:

Evaluación del pavimento rígido empleando metodología del PCI en la avenida Prado Alto del distrito de Abancay, 2024

Asesor

Ing. Cayo Baca, Holguer

Autor

Atoccsa Cruz, Juan Carlos

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Abancay - Apurímac - Perú

2025




24% 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 8 palabras)

Fuentes principales

- 20%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 17%  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.

METADATOS

Datos del autor	
Apellidos y nombres	: Atoccsa Cruz, Juan Carlos
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 70654754
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0008-7516-0291
Datos del asesor	
Apellidos y nombres	: Ing. Cayo Baca, Holguer
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 23933864
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0001-9590-750X
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	: 2024-2025
Fuente de financiamiento	: Financiamiento propio
Porcentaje de similitud	: 24%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/Ford# 2.01.01

DEDICATORIA

A mi querido padre, Claudio Atoccsa N; quien creyó en mí durante toda mi vida y me brindaron apoyo incondicional durante mi formación profesional.

Juan Carlos Atoccsa C.

AGRADECIMIENTO

A Jesucristo.

Gracias por guiarme en mi camino para completar mi tesis.

Dirijo mis agradecimientos a mi profesor y asesor de tesis.

Gracias por su cooperación y consejos para completar este trabajo.

A los educadores que imparten clases en la escuela profesional de Ingeniería Civil

Gracias por su orientación y cooperación en mi educación profesional.

Juan Carlos Atoccsa C.

RESUMEN

El objetivo general llevó a evaluar el pavimento rígido de la avenida Prado Alto del distrito de Abancay empleando la metodología del PCI. Se aplicó la siguiente metodología: el nivel es descriptiva, tipo aplicada, el diseño es No experimental (Observacionales). La técnica empleada para la recolección de información es mediante la observación de campo y se utilizó los siguientes instrumentos para la recolección de información: 1) el formato de exploración de la condición para carreteras con pavimento rígido, 2) el formato de propuesta de intervención vial según PCI y 3) el formato de costo anual de mantenimiento vial según PCI con intervención. La población estuvo conformada por 374 losas de pavimento rígido, y la muestra coincidió íntegramente con esa población, ya que se evaluaron todas las 374 losas. En otras palabras, se trabajó con un censo y no con una selección parcial.

La conclusión general fue que se evaluó el pavimento rígido cuyo diagnóstico arrojó un PCI global de 38,19 (condición malo); en consecuencia, la intervención prioritaria es la rehabilitación menor y el costo anual de su mantenimiento se estimó en S/ 587 839,41 en la Avenida Prado Alto, empleando metodología del PCI.

Palabras clave: evaluación, pavimento rígido, metodología del Pavement Condition Index (PCI).

ABSTRACT

The general objective was to evaluate the rigid pavement of Prado Alto Avenue in the district of Abancay using the PCI methodology. The following methodology was used: the type of research was applied, with a descriptive research level, and a non-experimental (observational) research design. The data collection technique was field observation, and the following data collection instruments were used: the condition exploration form for roads with rigid pavement, the road intervention proposal form according to PCI, and the annual road maintenance cost form according to PCI with intervention. The sample consisted of a total of 374 rigid pavement slabs, and the sample was equivalent to the population, given that all 374 rigid pavement slabs were studied.

The overall conclusion was that the rigid pavement of Prado Alto Avenue was evaluated using the PCI methodology. The diagnosis yielded an overall PCI of 38.19 (poor condition); Consequently, the priority intervention is minor rehabilitation, and the annual maintenance cost was estimated at S/ 587,839.41.

Keywords: evaluation, rigid pavement, Pavement Condition Index (PCI) methodology.

ÍNDICE GENERAL

Portada.....	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
Índice general.....	ix
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos.....	xiv
i. Introducción.....	15
ii. Planteamiento del problema.....	16
2.1 Descripción y formulación del problema.....	16
2.2 Objetivos.....	19
2.2.1 <i>Objetivo general</i>	19
2.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	19
2.3 Justificación e importancia.....	20
2.4 Hipótesis.....	21
2.5 Variables.....	22
iii. Marco teórico.....	25
3.1 Antecedentes de investigación.....	25
3.2 Bases teóricas.....	32
3.3 Definición de términos.....	88
iv. Metodología.....	116

4.1 Tipo y nivel de investigación.....	116
4.2 Ámbito temporal y espacial.....	117
4.3 Población y muestra.....	117
4.4 Instrumentos.....	118
4.5 Procedimiento.....	123
4.6 Análisis de datos.....	123
4.7 Consideraciones éticas.....	124
v. Resultados y discusión.....	125
vi. Conclusiones.....	158
vii. Recomendaciones.....	159
viii. Referencia.....	161
ix. Anexos.....	165

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Niveles de severidad de grieta en bloque	42
Tabla 02: Niveles de severidad del descascaramiento de junta.....	46
Tabla 03: Niveles de severidad de descascaramiento de esquina.....	50
Tabla 04: Niveles de severidad de hundimiento.....	61
Tabla 05: Rango y clasificación del estado del pavimento rígido	73
Tabla 06: Rango y recomendación de intervención vial.....	78
Tabla 07: Costo de mantenimiento sugerido.....	83
Tabla 08: Ratios de deterioro referenciales	86
Tabla 09: Horizonte de evaluación a considerar según el sistema Invierte Perú.....	86
Tabla 10: Características del tramo estudiado	126
Tabla 11: Tipos de deterioro en el tramo-1 (um-1).....	127
Tabla 12: Valor deducido (vd) para todo tipo de deterioro del tramo-1 (um-1)	130
Tabla 13: Cálculo de los valores deducidos corregidos (vdc).....	132
Tabla 14: PCI y clasificación de unidades de muestreo estudiadas (tramos).....	133
Tabla 15: Clasificación de las unidades de muestreo	134
Tabla 16: Valor deducido más alto, tipo de deterioro y severidad de cada UM.....	135
Tabla 17: Cantidad total de daños por severidad.....	138
Tabla 18: Porcentaje en orden descendente de deterioros más incidentes en las unidades de muestreo de la vía inspeccionada.....	140
Tabla 19: PCI y propuesta de intervención de los tramos estudiados	143
Tabla 20: Clasificación de los tramos evaluados según propuesta de intervención vial.....	144
Tabla 21: Distribución actual porcentual según el estado del pavimento	146
Tabla 22: Proyección de costos anual de mantenimiento vial del primer año	147
Tabla 23: Resumen de los resultados de las proyecciones de los costos anuales de mantenimiento vial en un periodo de 20 años	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Estructura de los pavimentos rígidos.....	33
Figura 02: Vista isométrica de grieta longitudinal	35
Figura 03: Vista isométrica de grieta transversal y/o diagonal.....	37
Figura 04: Vista isométrica de grieta de esquina	39
Figura 05: Vista isométrica de grieta de durabilidad “d”	41
Figura 06: Vista isométrica de grieta en bloque.....	43
Figura 07: Vista isométrica de deterioro del sello de la junta.....	45
Figura 08: Vista isométrica de descascaramiento de junta	47
Figura 09: Vista isométrica de grieta de retracción y descamación	49
Figura 10: Vista isométrica de descascaramiento de esquina.	51
Figura 11: Vista isométrica de pulimento de superficie.....	53
Figura 12: Vista isométrica de desintegración, agujeros (popouts).....	55
Figura 13: Vista isométrica de blowup – bucklink (levantamiento – pandeo)	57
Figura 14: Vista isométrica de deterioro por escala	58
Figura 15: Vista isométrica de deterioro de desnivel carril / berma.....	60
Figura 16: Vista isométrica de hundimiento (punzonamiento)	62
Figura 17: Vista isométrica de exudación y bombeo	63
Figura 18: Vista isométrica de parche pequeño deteriorado (menor de 45 cm ²).....	65
Figura 19: Vista isométrica de parche grande deteriorado (mayor de 45 cm ²).....	67
Figura 20: Cruce de vía férrea y nivel de severidad	68
Figura 21: Curvas de valores deducidos	69
Figura 22: Curva de corrección de valores deducidos	72
Figura 23: Fases de deterioro del pavimento a través del tiempo.....	79
Figura 24: Comparación de curvas de deterioro del pavimento en ciclo de vida fatal y deseable.....	81
Figura 25: Curva del costo anual de mantenimiento frente a la evolución del pci.....	83

Figura 26: Referencia visual de la ubicación general del tramo evaluado	125
Figura 27: Ejemplo de cálculo del valor deducido (vd) utilizando el nomograma adecuado.....	129
Figura 28: Cálculo del vdc empleando el nomograma respectivo	132
Figura 29: El porcentaje de las unidades de muestra por clasificación.....	135
Figura 30: Perfil pci obtenido por la unidad de muestreo del tramo en estudio.....	136
Figura 31: Cantidad de daños por severidad.....	139
Figura 32: Numero de fallas según su tipo	141
Figura 33: Porcentaje de deterioros más incidentes en las unidades de muestreo de la vía inspeccionada	142
Figura 34: El porcentaje de los tramos estudiados por tipos de mantenimiento vial...	145
Figura 35: PCI vs edad del pavimento.....	149
Figura 36: Costo anual de mantenimiento (cam) vs edad del pavimento.....	150

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 : Matriz de consistencia.....	165
Anexo 2 : Operacionalización de variables.....	166
Anexo 3 : Instrumento de recolección de información.....	168
Anexo 4 : Formatos de exploración de la condición para carreteras con pavimento rígido.....	169
Anexo 5 : Nomogramas y tabulaciones que se utilizan para determinar los valores deducidos que se obtienen de los tipos de deterioro en los pavimentos de concreto.....	170
Anexo 6 : Proyección de costos anuales de mantenimiento vial en un periodo de 20 años.....	200
Anexo 7 : Juicio de expertos.....	210
Anexo 8 : Panel fotográfico.....	211
Anexo 9 : Declaración jurada de originalidad de la tesis.....	212
Anexo 10 : Matriz de actividad de mantenimiento vial.....	213
Anexo 11 : Clasificación de fallas en pavimento rígido según su incidencia en las losas.....	214
Anexo 12 : Relación de planos.....	215

I. INTRODUCCIÓN

Al evaluar los pavimentos con el PCI, se califica su condición superficial para identificar deficiencias y necesidades de intervención. Este diagnóstico permite proponer actividades de mantenimiento oportunas y, al mismo tiempo, optimizar los costos anuales, evitando reparaciones mayores y más caras en el futuro (Fundora, 2019).

Las vías urbanas constituyen la principal infraestructura de conexión entre dos localizaciones, por ello la pregunta del problema general de investigación es ¿Cuál es la condición del pavimento rígido evaluada mediante la metodología del Pavement Condition Index (PCI) en la avenida Prado Alto del distrito de Abancay, 2024?; la Hipótesis general de la investigación es que, la condición del pavimento rígido, evaluada mediante la metodología del Pavement Condition Index (PCI), se encuentra en un estado funcional determinado en la avenida Prado Alto del distrito de Abancay, 2024; el objetivo general de la investigación es evaluar la condición del pavimento rígido empleando la metodología del Pavement Condition Index (PCI), en la avenida Prado Alto del distrito de Abancay, 2024.

Con el fin de desarrollar la tesis, el trabajo ha sido estructurado en cuatro capítulos pertinentes. En el capítulo II titulado "Planteamiento del problema", se expone la situación problemática y se formula el problema de investigación correspondiente. Asimismo, se presentan de manera detallada los objetivos, la relevancia, la justificación, la hipótesis y las variables relacionadas con el estudio. En el capítulo III "Marco Teórico" se describe las bases teóricas, antecedentes y definición de términos. En el capítulo IV "Metodología" en el cual se describe el tipo, nivel y diseño de investigación, también el ámbito temporal y espacial, población y muestra, instrumentos y técnicas, así mismo se detalla y se describe el procedimiento estadístico, consideraciones éticas y análisis de datos. Finalmente, en el capítulo V "Resultados y discusión" se muestran los resultados, así mismo se ha desarrollado la discusión de resultados.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Descripción y formulación del problema

2.1.1 Descripción del problema

A nivel internacional, la evaluación del pavimento rígido se apoya en protocolos estandarizados que convierten la inspección de deterioros y sus severidades en un indicador comparable para la toma de decisiones. El PCI de ASTM INTERNACIONAL D6433 mediante la técnica de la observación traduce la calificación de 0 a 100, permitiendo priorizar mantenimiento y planificar rehabilitaciones en redes urbanas y carreteras, su uso se integra en marcos de gestión de activos viales (Asociación Mundial de la Carretera, 2015).

En el Perú, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018) ente rector de la infraestructura vial establece manuales y lineamientos de mantenimiento vial que exigen inspecciones periódicas del estado superficial para definir oportunamente el tipo de intervención; en ese marco, diversas entidades nacionales incorporan metodologías basadas en índices de condición, y documentos técnicos de Provias descentralizado señalan explícitamente que el valor del PCI permite evaluar el estado del pavimento y orientar el tratamiento y mantenimiento. Lo que respalda el uso de la variable empleando metodología del PCI para priorizar inversiones y estandarizar diagnósticos en redes urbanas.

En Apurímac, especialmente en la zona de Abancay. Según Ccasani y Ferro (2018), luego de evaluar y analizar el pavimento, durante la inspección visual y monitoreo in situ de la Av. Prado Alto, se observó que el 90% del pavimento se encontraba deteriorado y en la gran parte de los deterioros detectados pertenecen al tipo de grietas longitudinales. Según Vásquez (2002), indica que estas grietas longitudinales, que dividen la losa en dos o tres partes, comúnmente resultan de una unión de cargas de tránsito repetidas y deformaciones causadas por gradientes térmicos o de humedad.

La zona que elegí para mi tesis, la Avenida Prado Alto, está catalogada como una vía principal que permite la circulación del tránsito en medio de áreas urbanas o partes de la ciudad, pero lamentablemente revela problemas existentes de deterioro desatendidos en el pavimento, como grietas en bloque, grietas transversales, grietas longitudinales, grietas de esquina y desintegración de agujeros, entre otros. Estos problemas afectan significativamente la serviciabilidad del pavimento (calidad del pavimento) y también perjudican a los usuarios de los vehículos que transitan por medio de la vía, incrementando los riesgos de no tener un rodaje seguro (mayores probabilidades de accidentes automovilísticos), cómodo (dificultades en la circulación vehicular) y económico (incremento en los gastos por mantenimiento de vehículos). No hay duda de que para mejorar el estado del pavimento es conveniente realizar un correcto mantenimiento del mismo, pero esto no se puede hacer sin antes conocer el verdadero estado del pavimento y asegurarse de que las actividades de mantenimiento son las adecuadas. Según Solminihac (2005), el deterioro del pavimento es un conjunto de manifestaciones de la superficie de la carretera que hacen que el tránsito vehicular sea menos seguro y cómodo, lo que resulta en mayores costos de operación.

Hay muchas causas que pueden generar estos problemas existentes de deterioro, entre ellos, detectamos: 1) La falta de evaluación del pavimento rígido por el gobierno municipal y/o gobierno local, 2) No hay recursos económicos para un mantenimiento vial, 3) No hay recursos técnicos especializados para evaluar y analizar los deterioros, 4) No hay gestión de pavimento urbano, y/o otras causas como 5) Alto tránsito de vehículos pesados, condiciones climáticas (estancamiento de aguas pluviales), diseño del pavimento (no hay sistema de drenaje), calidad de material. En este caso el propósito de la investigación se orienta a estudiar el número 1) mencionado que es la evaluación del pavimento rígido. Fundora (2019) plantea que, al evaluar pavimentos rígidos, el objetivo es calificar el estado superficial del pavimento rígido mediante un Índice de Condición del Pavimento (PCI) para identificar defectos o deficiencias; en esta investigación, dicha evaluación se amplía para

incluir la determinación del tipo de intervención correspondiente y la estimación del costo anual de mantenimiento, ambos derivados de los resultados del PCI.

Las consecuencias que pueden traer si persiste los deterioros, entre las que hemos encontrado son: 1) Aumento del deterioro de pavimento a través del tiempo, 2) Disminución de vida de servicio del pavimento rígido, 3) La posibilidad de no tener un rodaje seguro (mayores probabilidades de accidentes automovilísticos), cómodo (dificultades en la circulación vehicular) y económico (incremento en los gastos por mantenimiento de vehículos). Por lo tanto, el presente trabajo de investigación proporciona soluciones al problema de deterioros existentes mediante: 1) La identificación del estado superficial del pavimento rígido categorizada de acuerdo al PCI, 2) Diversas propuestas de intervención vial, también categorizada de acuerdo al PCI, 3) Un cálculo más razonable de los costos anuales de mantenimiento vial para poder solucionar este problema de los deterioros de acuerdo a mi trabajo de investigación. Según el MTC (2018) afirma lo siguiente, que el mantenimiento vial es una actividad técnicamente muy especializada y de importante escala económica y debe realizarse con eficacia y eficiencia para minimizar costes y alcanzar los objetivos fijados en el presupuesto anual.

Como aporte es proponer el uso de la metodología PCI en la investigación para encontrar soluciones a los problemas de deterioros existentes. Según Gutiérrez (2018) afirma que, la metodología PCI es un procedimiento regido por la norma ASTM D6433, que brinda orientación con detalles precisos y específicos (tipos de deterioro, nivel de severidad y curvas de valores deducidos) para llevar a cabo una evaluación veraz y adecuada del pavimento rígido, mediante inspección visual en campo, con el fin de determinar su estado superficial, determinar el tipo de intervención requerida y estimar el costo anual de su mantenimiento.

2.1.2 Formulación de problemas

2.1.2.1 Problema general

¿Cuál es la condición del pavimento rígido evaluada mediante la metodología del Pavement Condition Index (PCI) en la avenida Prado Alto del distrito de Abancay, 2024?

2.1.2.2 Problemas específicos

¿Cuál es el estado superficial del pavimento rígido empleando la metodología del PCI de la avenida Prado Alto del distrito de Abancay, 2024?

¿Cuál es el tipo de intervención del pavimento rígido empleando la metodología del PCI que se requiere en la avenida Prado Alto del distrito de Abancay, 2024?

¿Cuál es el costo anual estimado del mantenimiento del pavimento rígido empleando la metodología del PCI de la avenida Prado Alto del distrito de Abancay, 2024?

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

Evaluar la condición del pavimento rígido empleando la metodología del Pavement Condition Index (PCI) en la avenida prado alto del distrito de Abancay, 2024

2.2.2 Objetivos específicos

Determinar el estado superficial del pavimento rígido empleando la metodología del PCI de la avenida Prado Alto del distrito de Abancay, 2024.

Determinar el tipo de intervención del pavimento rígido empleando la metodología del PCI que se requiere en la avenida Prado Alto del distrito de Abancay, 2024

Determinar el costo anual estimado del mantenimiento del pavimento rígido empleando la metodología del PCI de la avenida Prado Alto del distrito de Abancay, 2024

2.3 Justificación e Importancia

2.3.1 Justificación de la investigación

El motivo del trabajo de investigación es que el pavimento rígido de la vía presenta problemas visibles de deterioro manifestados desatendidos, como grietas transversales, grietas longitudinales, grietas en bloque, grietas de esquina, desintegración de agujeros, entre otros que afectan la serviciabilidad de la vía (calidad del pavimento) y de los usuarios de los vehículos que circulan sobre él. Asimismo, Ccasani y Ferro (2017) muestran en su estudio de investigación que el 90% del pavimento de la Avenida Prado Alto se ha deteriorado y la mayor parte de este daño corresponde al tipo de grieta longitudinal.

2.3.2 Importancia de la investigación

El para qué de la investigación en el aspecto práctico, es proporcionar información sobre la evaluación superficial del pavimento rígido con el propósito de guiar a las autoridades municipales, ingenieros civiles y contratistas en la implementación de procedimientos adecuados para realizar evaluaciones reales y apropiadas en otras carreteras o calles principales. Los resultados también pueden valer de base para otros investigadores que quieran desarrollar en profundidad el tema de investigación.

El para qué del trabajo de investigación en el aspecto metodológico, es proporcionar instrumentos para la recolección de información sometidas al proceso de validez y confiabilidad a través de la opinión de expertos. En la investigación se elaboró y utilizó instrumentos específicos tal como 1) El formato de exploración de la condición para carreteras con pavimento rígido; 2) El formato de propuesta de intervención vial según PCI. y el 3) Formato de costo anual de mantenimiento vial según PCI con intervención.

El para qué del trabajo de investigación en el aspecto social, es proporcionar resultados que ayuden a los municipios, gobiernos locales y constructoras a reflexionar, gestionar y tomar decisiones de manera efectiva para brindar soluciones a las situaciones de deterioro existentes. Por tanto, los beneficiarios serán los usuarios de vehículos que podrán disfrutar de un viaje seguro (evitar niveles de accidentes automovilísticos), cómodo (comodidad para la circulación vehicular) y económico (disminuirán sus gastos por mantenimiento en vehículos).

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

La condición del pavimento rígido, evaluada mediante la metodología del Pavement Condition Index (PCI), se encuentra en un estado funcional determinado en la avenida prado alto del distrito de Abancay, 2024

2.4.2 Hipótesis específicas

Existe un estado superficial del pavimento rígido que puede determinarse, empleando la metodología del PCI, en la avenida Prado Alto del distrito de Abancay, 2024.

Existe un tipo de intervención de mantenimiento para el pavimento rígido que puede determinarse, empleando la metodología del PCI, en la avenida Prado Alto del distrito de Abancay, 2024.

Existe un costo anual estimable de mantenimiento del pavimento rígido según las intervenciones determinadas, empleando la metodología del PCI, en la avenida Prado Alto del distrito de Abancay, 2024.

2.5 Variables

Para realizar la operacionalización de las variables, se utilizó la variable independiente denominada 'metodología del PCI', la cual se basa en un procedimiento estandarizado según la norma ASTM D6433 y proporciona información e instrucciones confiables. De manera similar, se abordó la variable dependiente 'evaluación del pavimento rígido' que es un proceso técnico y sistemático que diagnostica la condición del pavimento mediante el índice de condición del pavimento, para calificar su estado, definir la intervención requerida y estimar los costos de mantenimiento asociados.

2.5.1 Operacionalización de variables

Tabla 01

Operacionalización de la variable dependiente

VARIABLES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	VALOR	INSTRUMENTO			
DEPENDIENTE: Evaluación del pavimento rígido	Evaluación del pavimento rígido es el proceso técnico mediante el cual se inspecciona, analiza y valora el estado estructural y funcional de un pavimento de concreto hidráulico, con el fin de determinar su nivel de servicio, identificar daños o deterioros existentes y establecer las acciones de mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción necesarias para garantizar su seguridad, durabilidad y desempeño. (Fundora, 2019).	Estado superficial del pavimento rígido	Clasificación del estado según PCI	85-100	Excelente	Formato 1: Formato de exploración de la condición para carreteras con pavimento rígido.			
				70-85	Muy bueno				
				55-70	Bueno				
				40-55	Regular				
				25-40	Malo				
				10-25	Muy mala				
				0-10	Colapsado				
				Tipo de intervención del pavimento rígido	Tipo de actividad recomendada		85-100	Mantenimiento preventivo o mínimo	Formato 2: Formato de propuesta de intervención vial según PCI
							70-85	Mantenimiento correctivo menor (rutinario)	
	55-70	Mantenimiento correctivo mayor o intensivo (periódico)							
	40-55	No se propone actividad de mantenimiento alguna							
	25-40	Rehabilitación menor (Refuerzo estructural)							
	0-25	Rehabilitación mayor o Reconstrucción							
	Costo anual estimado del mantenimiento del pavimento rígido	Monto anual invertido en mantenimiento vial en el tramo	85-100	\$ 15/m2	Formato 3: Formato de costo anual de mantenimiento vial según PCI con intervención.				
			70-85	\$ 25/m2					
			55-70	\$ 35/m2					
			40-55	\$ 50/m2					
			25-40	\$ 120/m2					
0-25			\$ 160/m2						

Nota. La tabla presenta la operacionalización de la variable dependiente según el PCI, basada en la Norma ASTM D6433-03.

Tabla 02

Operacionalización de la variable independiente

VARIABLES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	VALOR	INSTRUMENTO
INDEPENDIENTE: metodología del PCI	La metodología del PCI es un procedimiento normado por la ASTM D6433-03 que contiene información e instrucción confiable (inventario de deterioro, nivel de severidad y valores deducidos,) con ciertos detalles de manera más precisa de efectuar una evaluación real y apropiada de los pavimentos para determinar el estado de la misma a través de las observaciones de campo (Gutierrez,2018).	Tipo de deterioro	Clasificación del tipo de deterioro	Grietas longitudinales	Formato 1: Formato de exploración de la condición para carreteras con pavimento rígido.
				Grietas transversales y/o diagonales	
				Grieta de esquina	
				Grieta de durabilidad	
				Losa dividida o grieta en bloque	
				Deterioro del sello de la junta	
				Descascaramiento de junta	
				Grieta de retracción	
				Descascaramiento de esquina	
				Pulimento de agregados	
				Popout	
				Blowup-bucklink	
				Escala	
				Desnivel carril / berma	
Hundimiento (punzonamiento)					
Bombeo					
Parche pequeño					
Parche grande					
Cruce de vía férrea					
Bajo					
Medio					
Alto					
Curvas de valores deducidos	Valor numérico de afectación derivado del deterioro	Nº losas (Total)	Densidad		

Nota. La tabla describe la operacionalización de la variable independiente mediante la metodología PCI, según la Norma ASTM D6433.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de Investigación

3.1.1 A nivel internacional

De acuerdo al trabajo de investigación de Pérez (2021) la investigación tuvo como objetivo realizar una inspección detallada de las fallas exhibidas con el fin de evaluar cómo estas afectan la movilidad en el tramo en cuestión y seguridad vial, en el pavimento rígido en la avenida Victoria entre las calles 37 sur y calle 27 sur en Bogotá, Colombia. Se usó una metodología con un enfoque descriptivo con un diseño no experimental. El resultado indicó que 10.5 % en la carretera requiere reconstrucción, un 31.6 % necesita mantenimiento periódico y un 57.9 % presenta un nivel de deterioro que demanda trabajos de rehabilitación. Por ello, se propuso una intervención integral a lo largo de todo el tramo. Las fallas más frecuentes identificadas fueron grietas de esquina, daños en los sellos de junta y grietas lineales. En conclusión, empleando metodología del PCI, estas patologías favorecen el ingreso de agua, la cual arrastra los materiales finos de la capa granular de soporte, provocando vacíos que aumentan la probabilidad de colapso de las losas, originando así escalonamientos y desprendimientos.

En el trabajo realizado por Leyton (2023) cuyo objetivo fue evaluar el estado actual de las vías urbanas en el Cantón Ambato, Ecuador. Considerando diferentes tipos de superficie como el pavimento rígido, flexible y articulado. La metodología de la investigación se enmarcó dentro de una perspectiva aplicada y descriptiva, con diseño no experimental. El resultado indicó que, en relación con las vías con pavimento rígido, se identificó que la falla más común fue el desgaste superficial, el cual afectaba aproximadamente al 48 % de las superficies evaluadas. Como parte del trabajo de campo, se realizó una georreferenciación detallada utilizando un dispositivo GPSMAP Garmin 64s, con un margen de error de ± 3 metros. En conclusión, se permitió ubicar 60 vías y registrar 272 puntos con coordenadas geográficas UTM (sistema WG84, zona 17s), los cuales corresponden a diversos elementos:

aceras incompletas, fallas en pavimentos rígidos, flexibles y articulados, así como problemas en la subrasante y los empedrados.

Según el estudio de Cárdenas (2023) el objetivo fue examinar las condiciones físicas de las vías en el cantón de Ambato, Ecuador. Identificando el tipo y nivel de deterioro presente para posteriormente generar una base técnica que respalde futuras intervenciones viales. La metodología aplicada es descriptiva. Los resultados indicaron que, durante la evaluación del pavimento rígido, se identificaron 26 fallas distintas, distribuidas de forma precisa. Entre ellas destacaron: 8 casos de descascaramiento, 3 de desgaste superficial, 1 fisuramiento aislado, 1 agrietamiento en bloque, 5 grietas longitudinales, 3 áreas con desintegración, 3 fallas selladas y 2 saltaduras de juntas. En conclusión, esta variedad de daños revela no solo el paso del tiempo, sino también el impacto que genera el uso continuo de la infraestructura urbana. Como parte del aporte técnico del estudio, se generó una base de datos detallada utilizando el software ArcGIS. Este recurso no solo recoge información esencial como el nombre de cada vía, tipo de pavimento, naturaleza de las fallas y sus dimensiones, sino que también incluye el grado de afectación y una fotografía in situ que permite visualizar claramente el tipo de daño.

En el trabajo realizado por Torres (2023) el propósito de su estudio tuvo como objetivo evaluar el deterioro que ha venido teniendo el pavimento de la vía Loja-Saraguro entre los años 2018 – 2022 desde la abscisa 37+000 a 47+000 en Loja, Ecuador. La metodología es aplicada. Los resultados indicaron que la falla más frecuente en el tramo fue la grieta lineal, presente en un 36.69 % de las losas. Le siguieron el pulimento de agregados, con 19.53 %, y los parches grandes, que representaron el 15.38 % del total. Estas fallas indican un proceso de desgaste progresivo que afecta tanto la estructura como la comodidad del usuario. En conclusión, aplicando la metodología PCI, se adquirió un valor promedio de 89.59 en la sección evaluada, lo cual refleja un estado excelente del pavimento. El valor más

alto fue registrado en la unidad de inspección 20, también calificada como excelente. Por otro lado, el valor más bajo se encontró en la unidad adicional 1A, donde el PCI fue de 64.10, debido al desplazamiento del talud que generó la falla de un muro y el colapso de la berma, afectando a seis losas por una falla severa de desnivel entre carril y berma. En conjunto, se identificaron tres categorías de estado del pavimento: excelente (91.43 % del tramo), muy bueno (5.71 %) y bueno (2.86 %).

También Espinoza (2023) cuyo objetivo fue analizar las causas del deterioro en pavimentos rígidos, utilizando la metodología PCI para evaluar el estado actual de la vía Bolívar Maderos Vargas en Machala, Ecuador. Con ello, proponer acciones de mantenimiento adecuadas. La metodología fue de tipo descriptivo y se basó en la observación directa en campo como técnica principal para recolectar información, permitiendo identificar con precisión las fallas actuales en la superficie del pavimento. Los resultados tras realizar un análisis detallado del pavimento rígido, se identificaron fallas específicas como escala, fallas en el sello de juntas, pulimento de agregados y agujeros, todas ellas típicas del desgaste superficial y estructural de este tipo de vía. A través de la revisión bibliográfica se respaldaron los conceptos técnicos relacionados con pavimentos rígidos. En conclusión, se abordaron temas como la estructura de este tipo de vía, las causas de los deterioros más comunes y la aplicación de la metodología PCI para su evaluación, confirmando así la importancia del mantenimiento preventivo y periódico en carreteras y avenidas urbanas.

3.1.2. A nivel nacional

De acuerdo con Ramírez y Oroz (2024) el propósito de su estudio tuvo como objetivo diseñar un plan que permita identificar y atender de forma oportuna las zonas más deterioradas del pavimento urbano limeño, utilizando como base la evaluación superficial de pavimentos rígidos y flexibles. Se aplicó una metodología descriptiva con un diseño no experimental. Los resultados indicaron que el análisis de las unidades de muestra permitió

detectar 56 sectores que requerían trabajos de rehabilitación y 7 que necesitaban reconstrucción completa. Estas áreas, caracterizadas por tener un PCI muy bajo, fueron clasificadas como sectores en condición “pobre”, “muy pobre” y “seria”. Esta información resultó clave para priorizar las zonas más críticas y orientar las acciones de mantenimiento con enfoque en la seguridad vial y la funcionalidad de la vía. En conclusión, se logró construir un inventario detallado de fallas a lo largo de la Av. María Reiche, registrando y clasificando 130 unidades de pavimento flexible y las 8 de pavimento rígido ya mencionadas. Gracias a este trabajo, fue posible identificar con claridad los distintos niveles de deterioro, desde tramos que aún se encuentran en estado aceptable, hasta otros que muestran un deterioro severo.

En la investigación desarrollada por Cruz y Vaca (2021) el objetivo fue evaluar el estado del pavimento rígido en Contumazá, Cajamarca, para plantear una propuesta de intervención técnica adecuada a las condiciones observadas. La metodología es de tipo aplicada con corte transversal, enmarcada dentro del nivel descriptivo, lo que permitió obtener una visión detallada y puntual del problema. Los resultados indicaron tras evaluar las ocho calles analizadas, se determinó que siete de ellas se encuentran en un estado muy bueno, con valores PCI entre 85 y 70, por lo que solo requieren mantenimiento preventivo. Sin embargo, una calle el pasaje Trinidad presentó un estado muy malo, lo que justifica una reconstrucción total. En conclusión, la evaluación reveló una realidad diversa donde se encontraron tramos en excelente condición, otros bastante deteriorados e incluso calles sin pavimentar. Frente a ello, se propuso una solución técnica consistente en una losa de hidráulica (concreto) de 18 cm de grosor, apoyada sobre un soporte granular de 15 cm, y complementada con una capa de material de reemplazo de 0.55 m para mejorar el terreno natural.

De acuerdo con Leandro (2024) el objetivo fue evaluar el estado actual del pavimento rígido de la mencionada avenida Juan Velasco Alvarado, distrito Pillco Marca - Huanuco, aplicando la metodología PCI como herramienta técnica para determinar su condición funcional. La metodología empleada para el estudio, se optó por un enfoque descriptivo, con un diseño no experimental, que permitió observar y analizar las características del pavimento sin intervenir directamente en él. Los resultados indicaron que a largo del tramo, se identificaron diversos tipos de fallas en el pavimento rígido. Entre ellas, destacaron la grieta de durabilidad, la grieta de esquina, el pulimiento de agregados, el parcheo pequeño, las grietas lineales, el sello de juntas, la retracción y fallas asociadas al cruce de vía férrea. En total, se registraron 271 fallas en las 14 unidades evaluadas, siendo las más recurrentes el pulimiento de agregados, el sello de juntas y las grietas lineales. En conclusión, los hallazgos reflejados en la tabla resumen (Tabla 10) mostraron una variación en el Índice de Condición del Pavimento (PCI) a lo largo de los tramos. Por ejemplo, la UM1 obtuvo un PCI de 92 (estado excelente), mientras que las unidades UM5 y UM9 mostraron valores de 80.5 y 76.6 respectivamente (estado muy bueno). El promedio general entre las 14 unidades fue de 87.29, calificando al pavimento como excelente, aunque se advierte que, con el paso del tiempo, este nivel se deteriorará, por lo que se sugiere implementar un plan de mantenimiento periódico.

El trabajo realizado por Huete y Huamán (2021) el propósito de su estudio tuvo como objetivo investigar el estado del pavimento rígido del Jirón Caraz cuerdas 7 a 9 Huaraz, Ancash, utilizando como herramienta técnica la metodología PCI, con el fin de identificar las fallas actuales y proponer soluciones pertinentes. La metodología de la investigación se enmarcó dentro de una perspectiva aplicada y descriptiva, siguiendo un diseño no experimental, transversal y cuantitativo, lo cual permitió observar directamente el estado superficial del pavimento sin modificar las condiciones del entorno. La muestra se trabajó con la totalidad de los 136 paños de pavimento rígido. El instrumento para recopilar la información,

se utilizaron fichas de observación, que facilitaron el registro detallado de cada tipo de deterioro presente en las losas. Los resultados indicaron que la evaluación por cuadradas mostró una diversidad en las condiciones. La cuadra 7 presentó un estado regular, con un PCI de 53, siendo las fallas más frecuentes la rotura de esquina (28.57%), el descascaramiento de esquina (19.05%) y el parcheo pequeño (16.6%). La cuadra 8 obtuvo un estado bueno, con un PCI de 61, en donde las fallas predominantes fue la rotura de esquina (20.48%), las grietas lineales (14.46%) y el pulimiento de agregados (20.48%). Finalmente, la cuadra 9 también se clasificó en estado bueno, con un PCI de 56, predominando el pulimiento de agregados (26.60%), grietas lineales (19.15%) y la rotura de esquina (14.89%). En conclusión, el Jr. Caraz fue clasificado con un estado bueno, alcanzando un PCI promedio de 56.67, lo que indica una condición regular del pavimento rígido.

De acuerdo con Lizana y Vargas (2024) el estudio sostuvo como objetivo importante evaluar el estado de conservación del pavimento rígido en la calle Huamantanga, Cajamarca. Aplicando la metodología PCI como herramienta para diagnosticar su condición real y orientar futuras acciones de mantenimiento. La metodología, se utilizó un enfoque descriptivo, combinando tanto elementos cualitativos como cuantitativos, lo cual permitió no solo observar el estado físico del pavimento, sino también cuantificar la magnitud de sus deterioros. La muestra el análisis se centró en 20 unidades de muestra, que abarcaron un total de 400 losas distribuidas a lo largo del tramo evaluado. El instrumento se usaron fichas técnicas, que permitieron registrar de manera sistemática los distintos tipos de fallas presentes en las losas. Los resultados indicaron, tras aplicar la metodología PCI, se estableció que el estado promedio del pavimento en el tramo evaluado es preocupante: 25.68, lo que ubica a la calle Huamantanga, en sus cuadradas 9 a la 12 y de la 14 a la 20, en una condición "Mala", según la escala de clasificación del PCI. En conclusión, entre los tipos de fallas más frecuentes se encuentran: el deterioro sello de juntas con 21.80%, el pulimiento de los agregados con

16.13%, el parcheo grande con 15.69% y el descascaramiento en juntas con 14.88%. Por el contrario, las fallas menos comunes fueron el desconchamiento con 1.53%, el desnivel entre carril y berma con 1.01%, el parche pequeño con 0.54% y el bombeo con 0.11%. En total, se registraron 1,835 deterioros a lo largo de las 11 cuadras analizadas.

3.1.3. A nivel regional y local

En el trabajo realizado por Farfán (2023) el objetivo del estudio fue analizar y identificar los factores que afectan la serviciabilidad del pavimento ubicado en la prolongación Cusco, en la ciudad de Abancay, durante el año 2022. La metodología en la investigación se condujo bajo un tipo aplicado, enfoque cuantitativo y con un nivel descriptivo. El diseño metodológico fue no experimental y de corte transversal, lo que permitió examinar la situación del pavimento sin intervenir en ella, observando su estado en un momento específico. La muestra en este caso, la muestra coincidió con la población, es decir, se evaluó la totalidad del pavimento de la prolongación Cusco, permitiendo así obtener una visión completa del problema. El instrumento para la recopilación de datos se emplearon diversos formatos técnicos: el formato PCI para el análisis del estado superficial del pavimento, el formato de conteo vehicular para evaluar la carga de tránsito, y el formato de granulometría, entre otros, que permitieron complementar el diagnóstico con información del tipo de suelo y comportamiento estructural. El resultado tras aplicar la metodología PCI para la evaluación funcional del pavimento, se obtuvo un valor promedio de 21.6, ubicándose dentro del rango de 25 a 10, lo que indica que el estado general del pavimento es “muy malo”. En conclusión, se refleja una condición crítica que requiere intervenciones urgentes para restaurar su funcionalidad y garantizar la seguridad vial del pavimento rígido.

De acuerdo con Atoccsa (2023) el estudio tuvo como objetivo determinar el PCI de la avenida Núñez, específicamente en el segmento comprendido en medio de las intersecciones con las avenidas Prado Alto y Tamburco Alto, en el distrito de Abancay. La

metodología se trató de una investigación aplicada, con un diseño no experimental es decir se observaron las condiciones del pavimento sin manipular variables recogiendo información tal como se presentaba en campo, y es de nivel descriptivo. La muestra estuvo constituida por el pavimento rígido de la avenida Núñez, enfocado exclusivamente en el sector entre Prado Alto y Tamburco Alto, lo que posibilitó delimitar visiblemente el área de estudio. El instrumento para el levantamiento de datos se utilizaron dos herramientas principales: el formato de exploración de condición para pavimentos y el formato de cálculo del costo anual de mantenimiento vial, ambos basados en los lineamientos de la metodología PCI. El resultado indicó, según en la tabla 14, el valor del PCI indica que el tramo inspeccionado se encuentra en estado “malo”, lo que refleja un nivel considerable de deterioro superficial que no debe pasarse por alto. En conclusión, de acuerdo con la información expuesta en la tabla 6, se recomienda llevar a cabo una intervención tipo rehabilitación menor, enfocada principalmente en atender de forma inmediata las fallas más severas antes de que comprometan aún más la estructura del pavimento. Finalmente, la tabla 23 muestra que la proyección del costo anual para el mantenimiento vial de este tramo asciende a S/ 216,464.35, calculado con base en los ratios de deterioro observados y el costo promedio por metro cuadrado intervenido.

3.2 Bases Teóricas

3.2.1 Pavimento rígido

De acuerdo con lo expuesto por Fundora (2019), los pavimentos rígidos se integran por una losa de concreto, la cual puede estar soportada o no por una subbase de suelo seleccionado o tratado. La función de esta subbase no es estructural, sino que está destinada a proporcionar un soporte uniforme a la losa y facilitar su construcción. En este tipo de pavimentación, la losa desempeña simultáneamente las funciones de capa base y de rodadura. Según Sotil (2014), afirma que en este tipo de pavimento rígido la losa actúa como

capa de base y de rodadura al mismo tiempo y las juntas y bordes constituyen sus puntos más débiles.

Figura 1

Estructura de los pavimentos rígidos



Nota. La figura muestra las capas estructurales del pavimento rígido como la losa de concreto, sub base y sub rasante. Elaborado por Varela (2002).

3.2.2 Metodología del Índice del Condición del Pavimento (PCI)

La metodología PCI es un procedimiento definido por la ASTM D6433 y contiene información e instrucciones confiables, así como cierta información para brindar una forma más precisa de realizar una evaluación verdadera y adecuada del pavimento para determinar su estado a través de observaciones de campo (Gutiérrez, 2018).

a) Tipos de deterioro y escala de severidad

Grieta longitudinales

Las grietas lineales de la losa dividen la losa en dos o tres partes a lo largo del eje del pavimento. Una grieta longitudinal en pavimento rígido es una fisura que se desarrolla paralela al eje de la vía dentro de la losa de concreto y que, por su naturaleza, no corresponde a una junta construida. Se reconoce por su trazo casi recto, con ocasionales ondulaciones, que acompaña la trayectoria del carril y puede aparecer continua o en segmentos sucesivos. Su presencia introduce una discontinuidad lineal que altera la uniformidad de la superficie de rodadura y la lectura geométrica del paño, pudiendo presentarse desde microfisuras apenas visibles hasta hendiduras apreciables a simple vista. En términos descriptivos, puede ubicarse en la huella de rueda o cerca del eje, y en casos avanzados alcanzar el espesor completo de la losa. (Gutiérrez, 2018).

Niveles de severidad• **Bajo (L):** Condiciones:

1.- Grietas no selladas de menos de 1,2 cm de ancho (incluido el sellador viejo u obsoleto) o grietas selladas de ancho cualquiera con saturación, en adecuado estado. No hay escala (Vázquez, 2002).

• **Medio (M):** Condiciones:

1.- Grietas no selladas de entre 1,2 cm y 5,1 cm de ancho. (Gutiérrez, 2018).

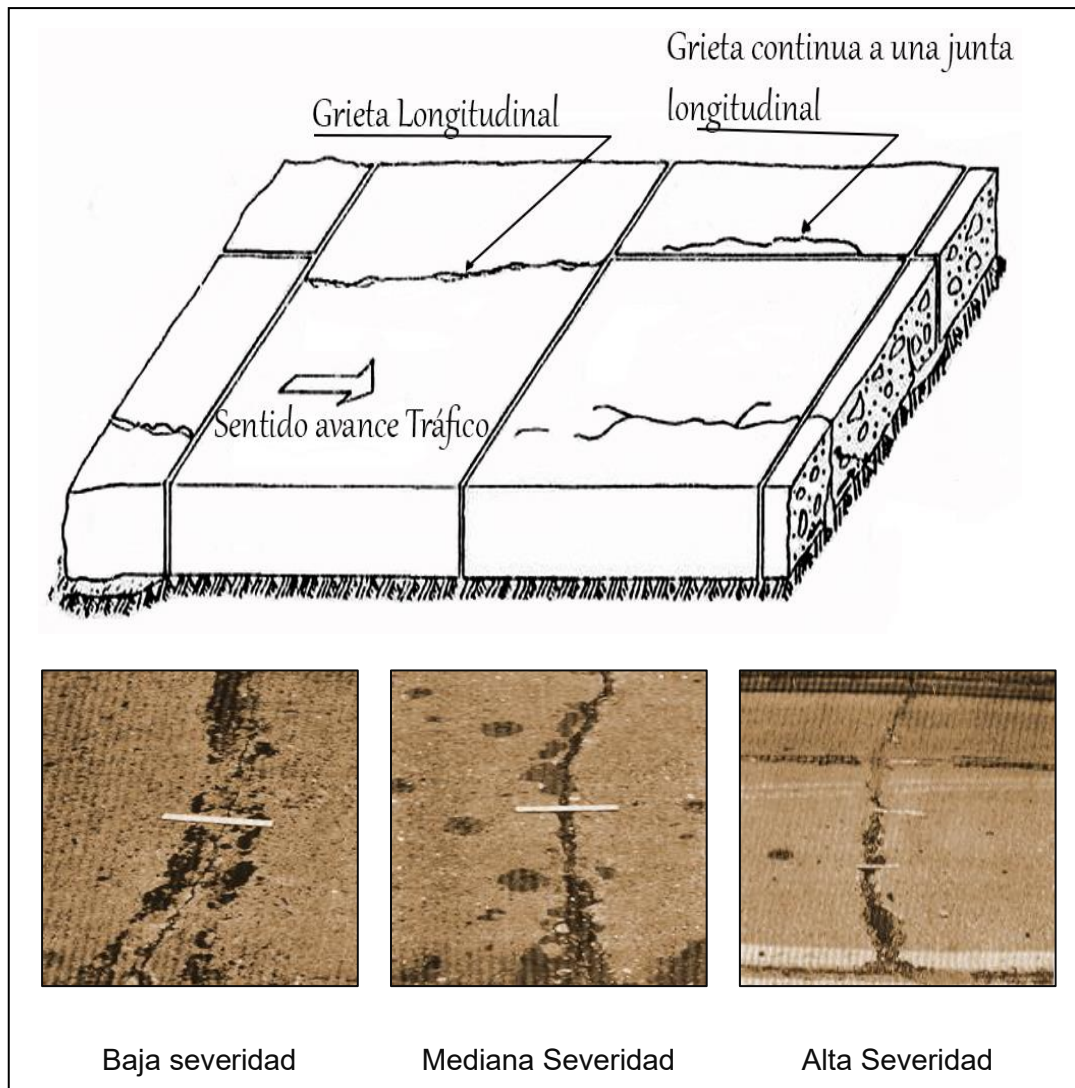
2.- Ancho de grieta sin sellar hasta 5,1 cm, escala (profundidad) inferior a 1cm (10 mm). (Vázquez, 2002).

3.- Si la grieta es sellada con cualquier anchura, con una escala (profundidad) inferior a 1 cm. (Gutiérrez, 2018).

• **Alto (H):** Condiciones:

1.- Grietas no selladas de ancho superior a 5,1 cm. (Vázquez, 2002).

2.- Las grietas con escala (profundidad) superiores a 1 cm y de ancho cualquiera que pueden o no sellarse. (Vázquez, 2002).

Figura 2*Vista isométrica de grieta longitudinal*

Nota. La figura ilustra la grieta longitudinal en pavimentos rígidos, mostrando ejemplos de baja, media y alta severidad según ASTM D6433-03 (2020).

Grietas transversales y/o diagonales

Es una grieta lineal que aparece casi en ángulo recto o diagonal a la dirección del eje del pavimento y divide la losa en 2 o 3 partes. Las grietas transversales y diagonales en pavimento rígido son fisuras que cruzan la losa formando un ángulo con el eje de la vía; se denominan transversales cuando el cruce es cercano a la perpendicular y diagonales cuando el trazo es claramente oblicuo (Vásquez, 2002). No corresponden a juntas previstas y se interpretan como fracturas del paño. Su desarrollo puede extenderse de borde a borde o

conectar un borde con una junta próxima, con líneas rectas o levemente curvadas según la rigidez y la geometría local. La abertura varía desde marcas finas hasta fisuras claramente perceptibles, y en ocasiones definen planos de espesor completo. Desde la inspección, se aprecian como quiebres bien definidos del perfil longitudinal que interrumpen la continuidad geométrica y alteran la regularidad de la rodadura.

Niveles de severidad

- **Bajo (L):** Condiciones:

- 1.- Grieta no sellada (incluyendo sellado obsoleto) con un ancho inferior a 1.2 cm o grieta sellada de cualquier ancho que contenga un material de relleno en condiciones adecuadas. No existe escala. (Gutiérrez, 2018).

- **Medio (M):** Condiciones:

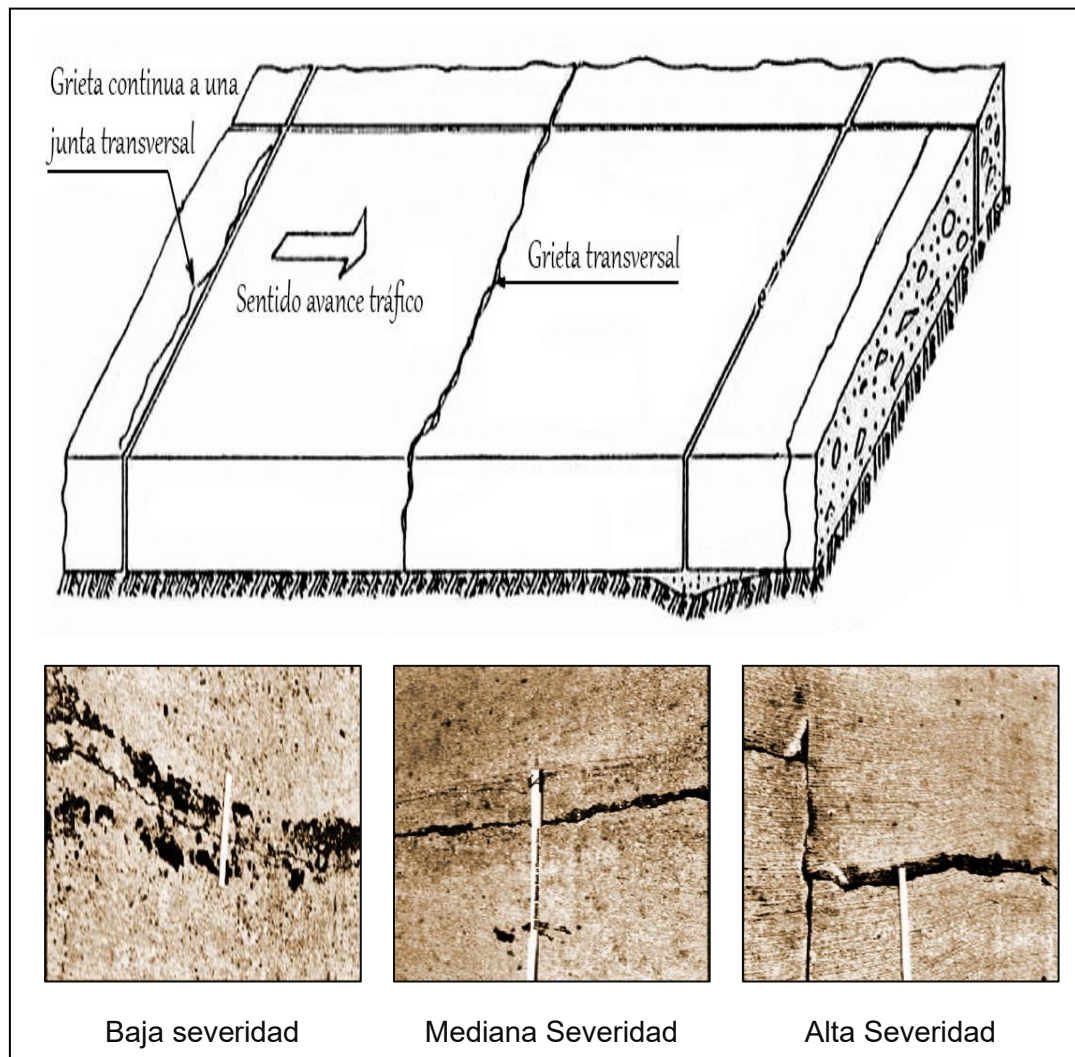
- 1.- Grietas no selladas de entre 1,2 cm y 5,1 cm de ancho. (Vázquez, 2002).
- 2.- Ancho de grieta sin sellar hasta 5,1 cm, escala inferior a 1 cm. (Vázquez, 2002).
- 3.- Si la grieta es sellada a cualquier anchura con escala (profundidad) menor que 1 cm. (Vázquez, 2002).

- **Alto (H):** Condiciones:

- 1.- Grietas no selladas de ancho superior a 5,1 cm. (Vázquez, 2002).
- 2.- Las grietas con escala (profundidad) superiores a 1 cm y de ancho cualquiera que pueden o no sellarse. (Gutiérrez, 2018).

Figura 3

Vista isométrica de grieta Transversal y/o diagonal



Nota. La figura muestra la grieta transversal o diagonal en pavimentos rígidos, con ejemplos visuales de baja, media y alta severidad según ASTM D6433-03 (2020).

Grieta de esquina

Cortar las juntas de una losa a menos del centro de la largura de la losa en los dos lados, con medición desde el esquinazo de la losa. Las grietas de esquina se esparcen verticalmente a lo largo de todo el grosor (espesor) de la losa. La grieta de esquina en pavimento rígido es una fisura que se origina en el vértice de la losa y progresa diagonalmente hacia el interior, delimitando un fragmento triangular próximo a las dos juntas que conforman la esquina (Vásquez, 2002). En planta se distingue por su trazo claro y se interna a una

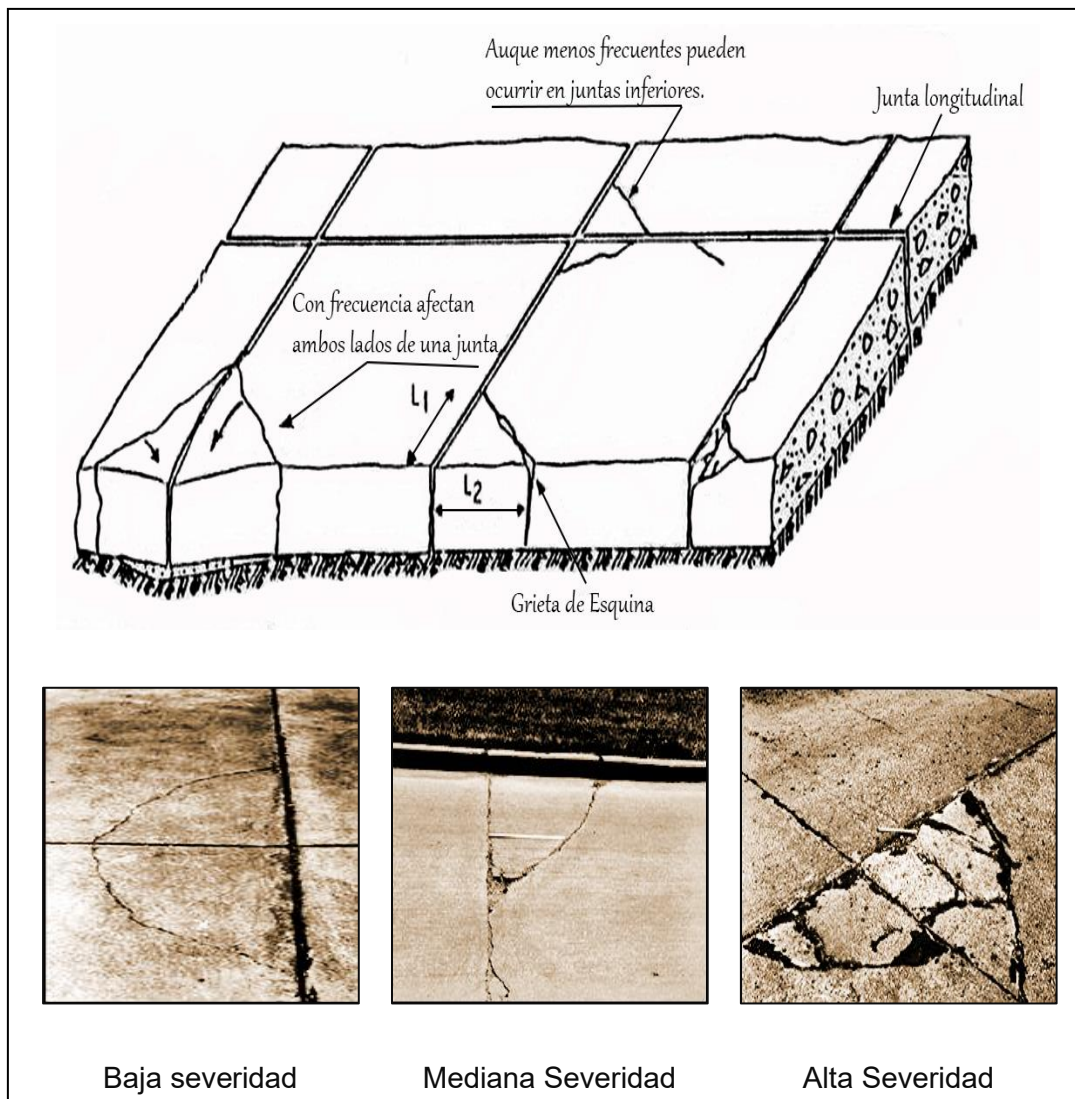
distancia apreciable, con abertura uniforme o variable. A nivel descriptivo, el fenómeno modifica la geometría del vértice, separando parcialmente la cuña triangular respecto del resto del paño, y suele considerarse estructural cuando alcanza el espesor completo. No debe confundirse con un descascaramiento superficial, pues aquí predomina una línea de fractura continua y reconocible.

Nivel de severidad

- **Bajo (L):** Condiciones:
 - 1.- Si el ancho es inferior a 1,3 cm. (Vázquez, 2002).
 - 2.- Rellena eficazmente cada grieta sin escala (Vázquez, 2002).
 - 3.- La grieta y el espacio entre las dos juntas puede encontrarse no fisurada o ligeramente fisurada. (Vázquez, 2002).

- **Medio (M):** Condiciones:
 - 1.- Si el ancho es superior a 1,3 cm pero inferior a 5 cm. (Vázquez, 2002).
 - 2.- Grieta sin relleno de anchura inferior a 5 cm con escala inferior a 1 cm. (Vázquez, 2002).
 - 3.- Todas las grietas rellenas y menos de 1 cm de escala (Vázquez, 2002).

- **Alto (H):** Condiciones:
 - 1.- Si los espacios (área) entre grietas y las dos juntas están muy fisuradas severamente. (Vázquez, 2002).
 - 2.- Pueden ser grietas sin rellenar con un ancho de más de 5 cm. (Gutiérrez, 2018).
 - 3.- Grietas rellenas o sin rellenar con escala (profundidad) superior a 1 cm. (Gutiérrez, 2018).

Figura 4*Vista isométrica de grieta de Esquina*

Nota. La figura representa la grieta de esquina en pavimentos rígidos, mostrando ejemplos visuales de baja, media y alta severidad según ASTM D6433-03 (2020).

Grieta de durabilidad

Desgaste que se muestra como una red de grietas paralelas cerca de una grieta lineal o cercanas a una junta. A medida que el concreto se satura alrededor de las grietas y juntas, a menudo se halla un amontonamiento de color oscuro cerca de las grietas de durabilidad (Vásquez, 2002). La grieta de durabilidad, es un patrón de craquelado fino que se manifiesta preferentemente junto a juntas, bordes y esquinas de las losas, configurando una

franja de fisuras muy próximas entre sí que progresa hacia el interior del paño. Visualmente, la zona afectada adopta un aspecto moteado u oscurecido y forma pequeños polígonos irregulares que recuerdan un mosaico adherido al perímetro. Las fisuras individuales son cortas, densas y de recorrido entrecortado, de modo que el observador aprecia una textura quebradiza y compacta en una banda de ancho variable. A diferencia de otros patrones, su localización perimetral persistente y la fineza de las grietas facilitan su identificación temprana.

Nivel de severidad

- **Bajo (L):** Condiciones:

1.- Si la grieta de durabilidad cubre menos del 15 % del espacio de la losa y la gran parte de las grietas están cerradas, es posible que algunas piezas hayan desprendido. (Vázquez, 2002).

- **Medio (M):** Condiciones:

1.- La durabilidad se define como cuando la grieta ocupan menos del 15% del espacio de la losa y muchas piezas pueden caerse o quitarse fácilmente. (Vázquez, 2002).

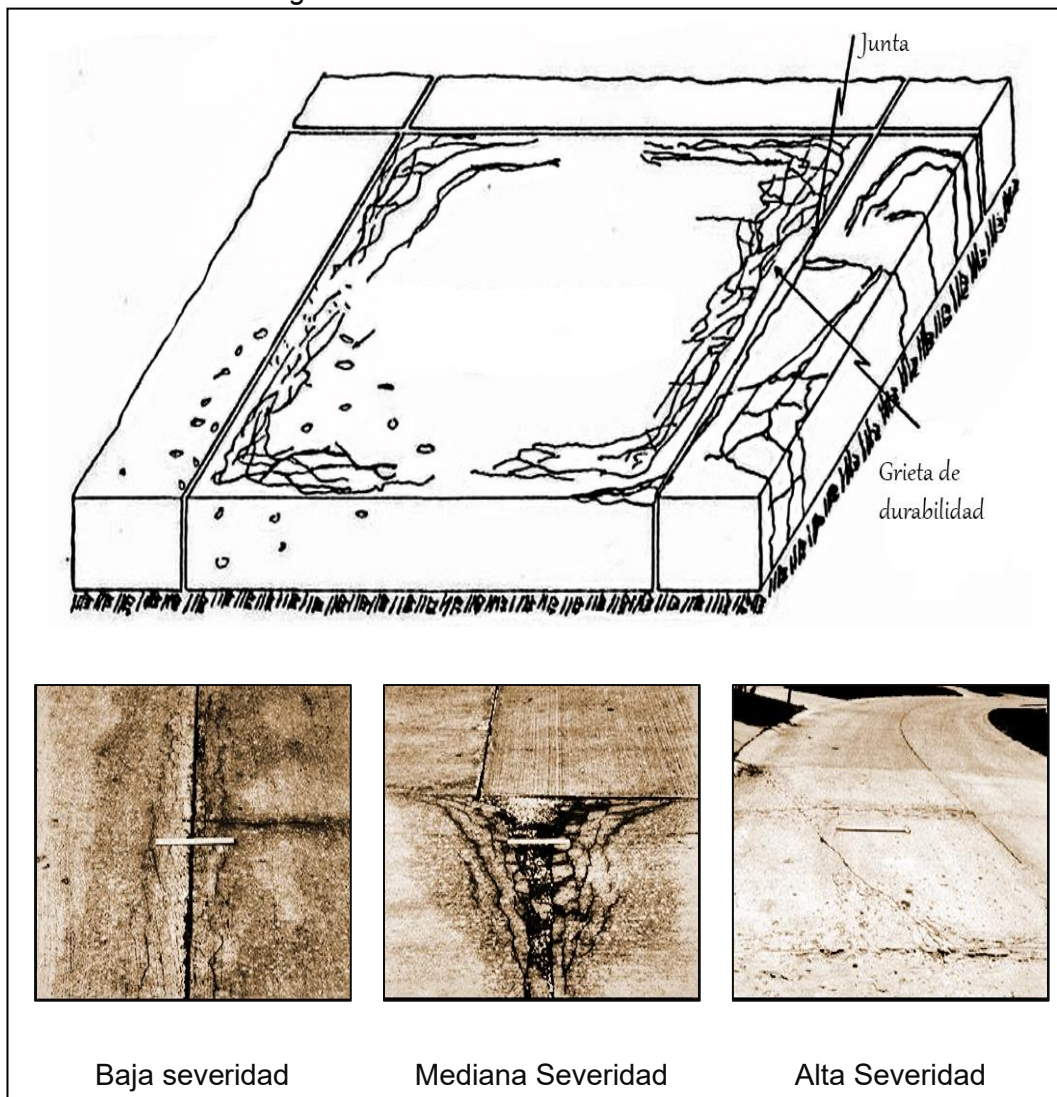
2.- La durabilidad se define como cuando la grieta cubre más del 15% del espacio de la losa y son cerradas las grietas en su mayoría, pero algunas partes están sueltas o se eliminan fácilmente. (Vázquez, 2002).

- **Alto (H):** Condiciones:

1.- Si las grietas de durabilidad abarcan más del 15% del espacio de la losa y la mayoría de las piezas se caen o se eliminan fácilmente. (Vázquez, 2002).

Figura 5

Vista isométrica de grieta de durabilidad “D”



Nota. La figura muestra la grieta de durabilidad tipo “D” en pavimentos rígidos, con ejemplos visuales de severidad creciente de acuerdo a ASTM D6433-03 (2020).

Grietas en bloque

Las grietas en bloque, constituyen una retícula superficial de fisuras que subdivide la losa de concreto en polígonos más o menos regulares visibles a simple vista. El patrón adopta mallas cuadrangulares, rectangulares o irregulares en función de la distribución de tensiones y, por lo común, se inicia en la capa superior sin alcanzar de inmediato gran profundidad. La superficie adquiere el aspecto de un mosaico continuo, con líneas que se cruzan y delimitan “bloques” de tamaño relativamente uniforme o de variación gradual. La

textura entre fisuras suele conservarse inicialmente íntegra, aunque la lectura geométrica queda dominada por el trazado repetitivo de la retícula.

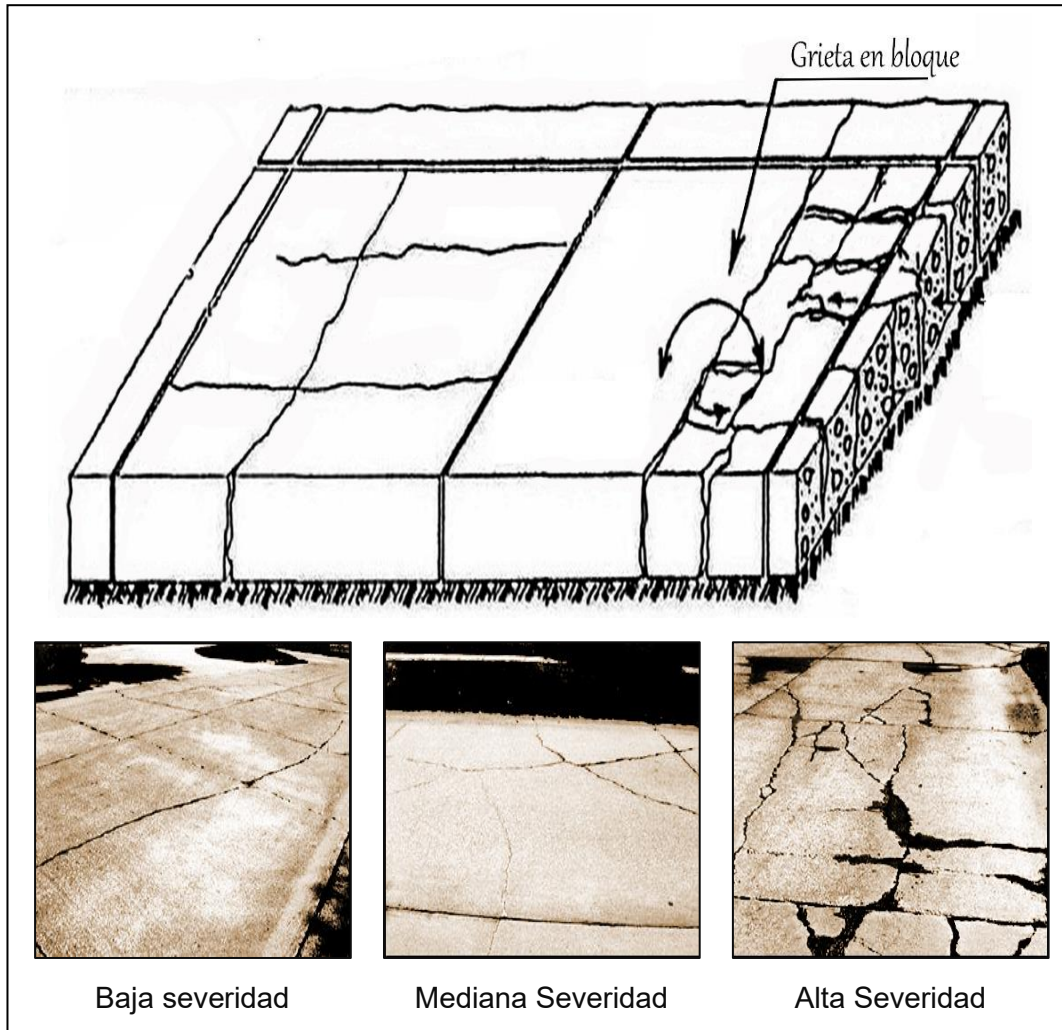
Las grietas en bloque aparecen cuando la losa se fractura formando una gran “malla” de fisuras que combina grietas transversales, diagonales y longitudinales, dividiendo el pavimento en cuatro o más partes. Se observan como un patrón entrecruzado que genera bloques casi rectangulares o poligonales. Su origen suele estar en las contracciones repetidas por cambios de temperatura, la retracción del concreto, el envejecimiento de los materiales o la pérdida de cohesión causada por mezclas de baja calidad, así como por deficiencias de diseño o construcción (Solminihaç, 2021). Con el tiempo, estas fisuras se conectan entre sí, permiten la entrada de agua y debilitan la losa, acelerando el deterioro estructural del pavimento.

Tabla 1

Niveles de severidad de grieta en bloque.

SEVERIDAD DE LA MAYORÍA DE LAS GRIETAS	NUMERO DE PEDAZOS EN LA LOSA AGRIETADA		
	4 a 5	6 a 8	8 a MÁS
Bajo (B)	L	L	M
Medio (M)	M	M	H
Alto (H)	M	M	H

Nota. La tabla presenta los niveles de severidad de grieta en bloque según el número de pedazos en la losa adaptada de ASTM D6433-03 (2020).

Figura 6*Vista isométrica de grieta en bloque*

Nota. La figura muestra la grieta en bloque en pavimentos rígidos, con ejemplos visuales correspondientes a baja, media y alta severidad según ASTM D6433-03 (2020).

Deterioro del sello de la junta

Alguna situación o condición que pueda causar que se acumule tierra o material incompresible o permita que entre agua en dichas juntas. La acumulación de material incompresible dificulta el movimiento de la losa, lo que puede provocar levantamiento/pandeo (Blowup/Buckling) u otros daños como descascaramiento de las juntas (Vásquez, 2002). El deterioro del sello de la junta describe la condición en que el material sellante dispuesto en el reservorio de la junta ha perdido continuidad y, por ello, su función de impedir la entrada de agua, finos y residuos, además de acompañar los movimientos normales de apertura y cierre.

Visualmente se reconoce por vacíos, cortes, fisuras, extrusión o ausencia parcial o total del sellante, dejando expuestas las caras de la junta y evidenciando geometría alterada del reservorio.

El deterioro del sello de la junta aparece cuando el sellante falla y permite que ingresen finos u otros materiales no compresibles en la junta, o cuando el agua se filtra a través de ella. Esa intrusión bloquea la libre dilatación y contracción de las losas, genera esfuerzos indeseados y termina provocando deformaciones como levantamientos o pandeo del pavimento. Con el avance del daño, también es común el desportillamiento y pérdida de material en los bordes de la junta. Suele estar asociado al envejecimiento del sellante, a una mala adherencia o a un mantenimiento insuficiente, lo que compromete la continuidad y la durabilidad del pavimento (Solminihac, 2021).

Nivel de severidad

- **Bajo (L):** Condiciones:

1.- Cuando el material de sellado de la sección a inspeccionar se encuentre en buen estado. Funciona bien y uno o más tipos de deterioro son leves. (Vázquez, 2002).

- **Medio (M):** Condiciones:

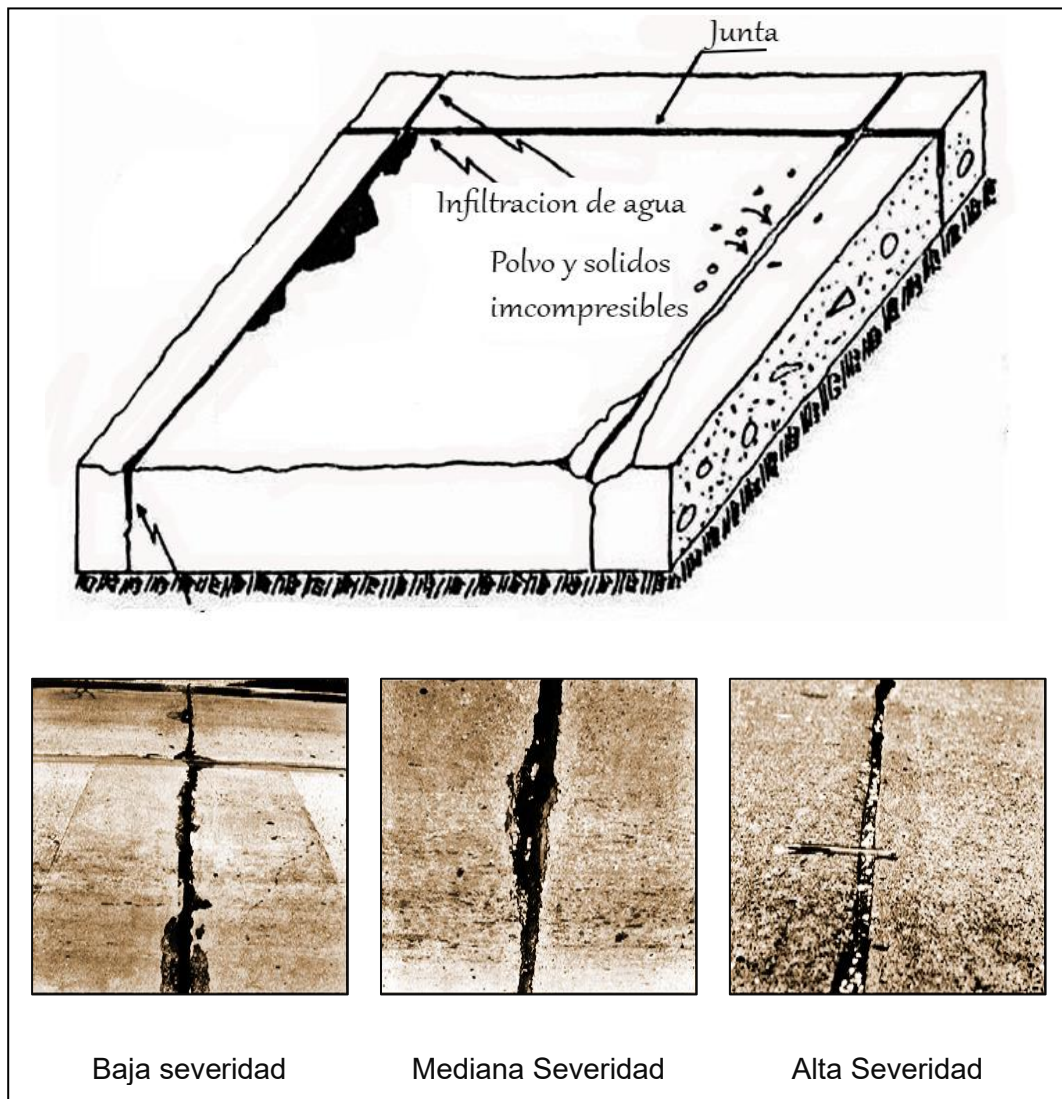
1.- Las grietas son de severidad moderada si el sellador está en estado regular en toda la sección o muestra de prueba, con uno o más tipos de deterioro de severidad moderada. Los selladores deben reemplazarse cada 2 años. (Vázquez, 2002).

- **Alto (H):** Condiciones:

1.- El agrietamiento severo ocurre cuando el sellador se encuentra en malas condiciones en toda el área de prueba o muestra, con uno o más tipos de daño severos. El sellante requiere remplazo inmediato (Vázquez, 2002).

Figura 7

Vista isométrica de deterioro del sello de la junta



Nota. La figura representa el deterioro del sello de la junta en pavimentos rígidos, mostrando ejemplos visuales de severidad progresiva en base a ASTM D6433-03 (2020).

Descascaramiento de junta

Daños en el borde de la losa a 60 cm de la junta. Generalmente, no atraviesa la losa perpendicularmente, sino que interseca la junta en ángulo. El descascaramiento también puede ir acompañada de agrietamiento. El descascaramiento de junta, es la pérdida de concreto en las aristas contiguas a una junta o a una grieta, perceptible como rebajes lineales o cavidades alargadas de poca a moderada profundidad que se extienden a lo largo de la

transición. Los bordes muestran contornos irregulares y aristas astilladas o achaflanadas, y el ancho visible suele superar la abertura original del corte, de modo que la junta aparece ensanchada (Vásquez, 2002). Puede presentarse en una sola cara o en ambas, conformando un canal superficial de mayor tamaño que altera la continuidad de la línea de rodadura. Este daño se caracteriza en campo por longitud del tramo afectado, anchura promedio del rebaje y profundidad aparente, además de la condición de los bordes. Aunque se trate de un fenómeno superficial, modifica la geometría del borde y la lectura visual de la junta, distinguiéndose de fisuras internas o de pérdidas generalizadas de mortero.

Tabla 2

Niveles de severidad del descascaramiento de junta.

PIEZAS O TROZOS DEL DESCASCARAMIENTO	ESCALA (PROFUNDIDAD) DEL DESCASCARAMIENTO	ANCHO DEL DESCASCARAMIENTO	LARGO DEL DESCASCARAMIENTO	
			< 60 CM	>60 CM
Firmes	-	< 10.2 cm	L	L
	-	> 10.2 cm	L	L
Pueden ser removidos	< 2.5 cm	< 10.2 cm	L	M
	< 2.5 cm	> 10.2 cm	L	M
Removidos	> 2.5 cm	< 10.2 cm	L	M
	> 2.5 cm	> 10.2 cm	M	H

Nota. La tabla presenta los niveles de severidad del descascaramiento de junta en pavimentos rígidos según criterios de medida adaptada de ASTM D6433-03 (2020).

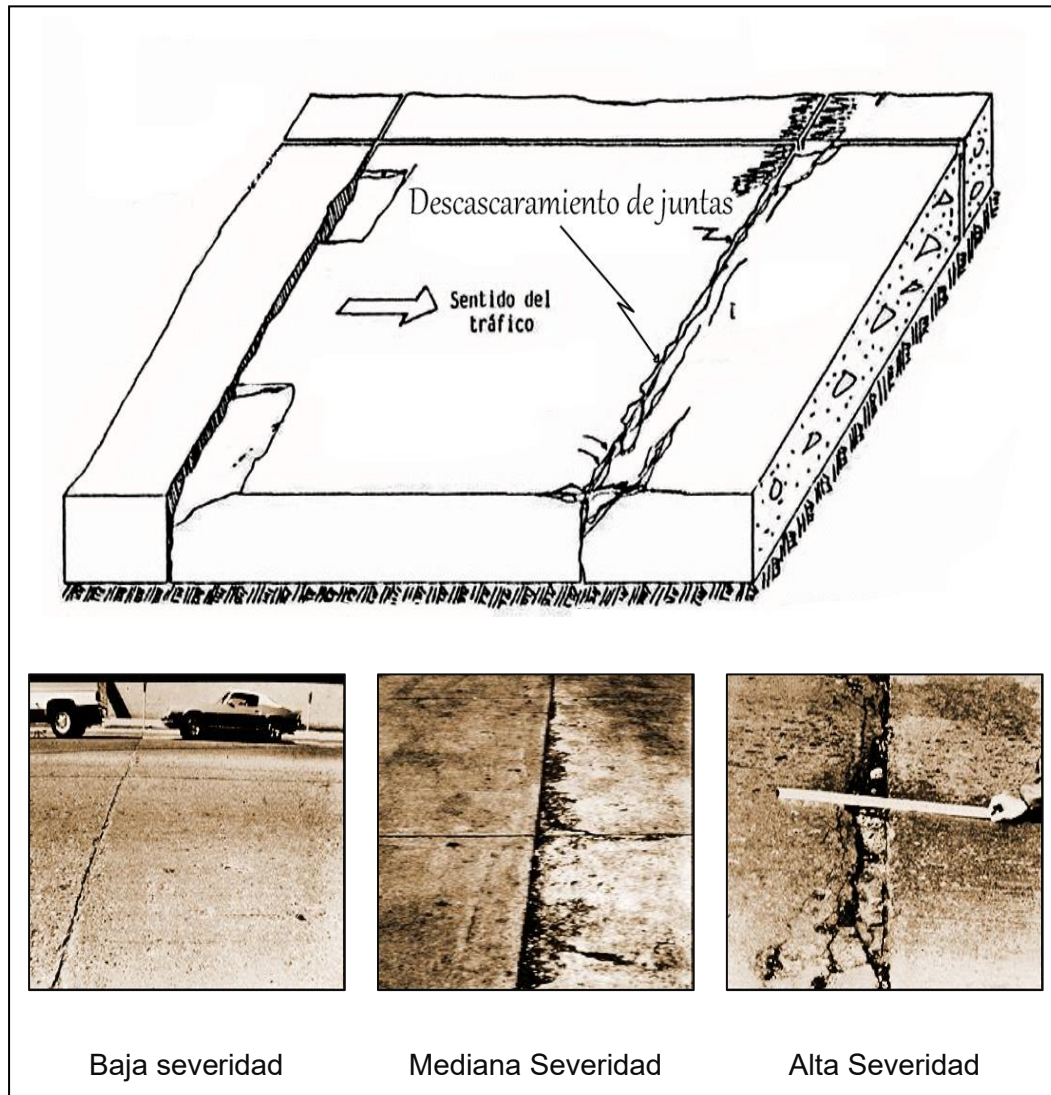
Evaluación

Si el descascaramiento ocurre en el margen (borde) de una losa, se considera una losa con descascaramiento de juntas. Si es en varios márgenes (bordes) de una misma losa, se calcula el borde con más severidad y se registra como una losa (Vásquez, 2002).

El descascaramiento de junta igualmente puede suceder a lo largo de los márgenes (bordes) de dos losas adyacentes. Si este es el suceso, cada losa se cuenta (contabiliza) con descascaramiento de junta (Vásquez, 2002).

Figura 8

Vista isométrica de descascaramiento de junta



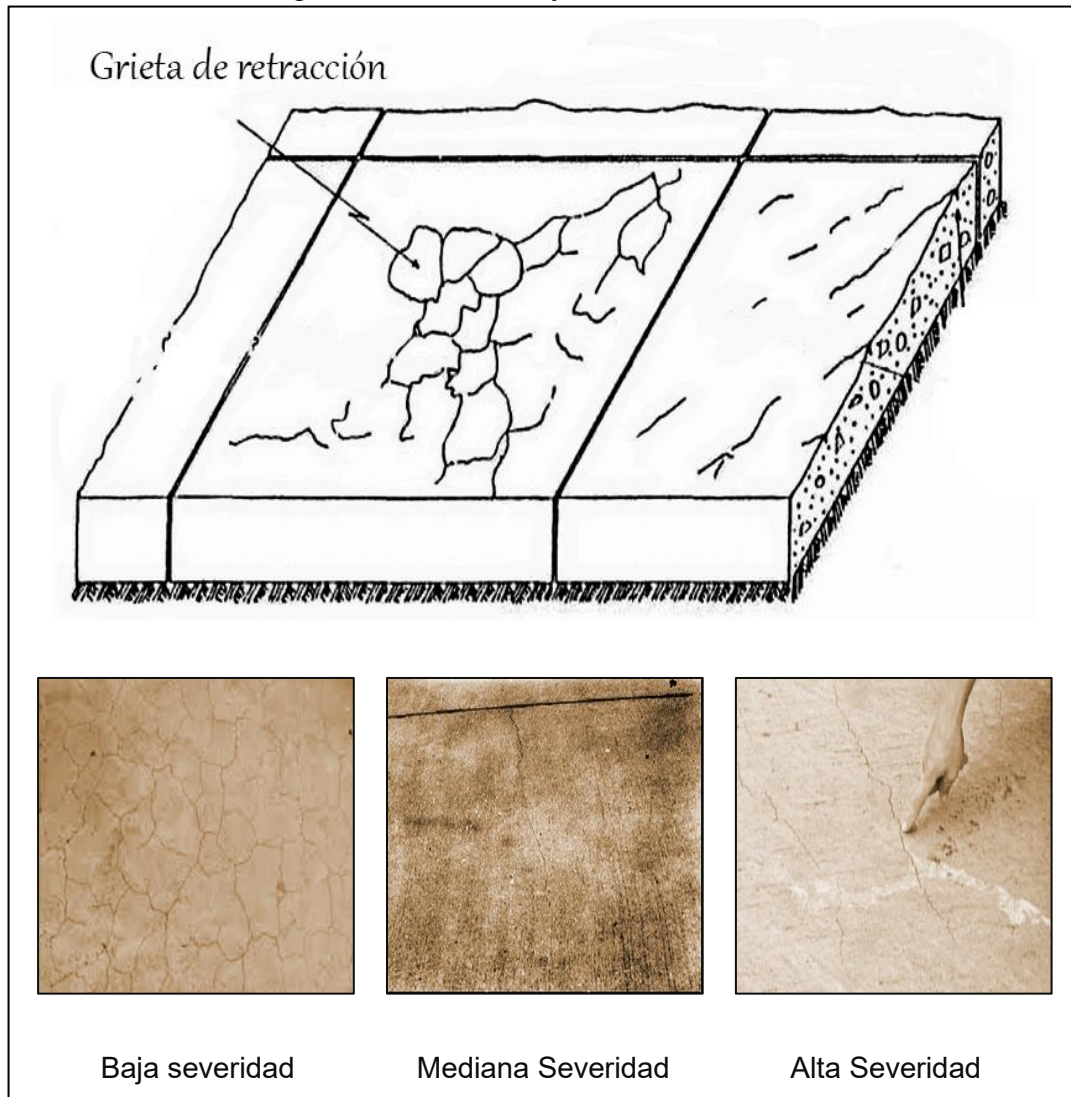
Nota. La figura muestra el descascaramiento de junta en pavimentos rígidos, con ejemplos visuales de baja, media y alta severidad según ASTM D6433-03 (2020).

Grieta de retracción y descamación

Son grietas capilares (del grosor de un cabello) que aparecen en la superficie del concreto fresco durante el proceso de fraguado y curado, suelen tener menos de 2 m de

longitud y no se extienden por toda la losa (Vásquez, 2002). La grieta de retracción y descamación describe una manifestación combinada en la superficie de la losa donde aparecen fisuras finas debidas a contracción del concreto junto con desprendimientos laminares de la capa de mortero, dejando agregados expuestos y una textura áspera e irregular. El patrón recuerda una piel cuarteada con pequeñas cascarillas, que se levantan o se han perdido, generando variaciones sutiles de relieve y brillo. Las fisuras individuales suelen ser cortas y conectarse entre sí, sin definir un plano profundo continuo, por lo que se considera un daño primariamente superficial. Para efectos de inventario, se describen el espesor perdido, el área comprometida, la continuidad del patrón y el contraste visual respecto de zonas intactas.

La grieta por retracción aparece cuando, tras el fraguado, el concreto pierde humedad y se contrae, generando fisuras finas e irregulares en la superficie. La descamación consiste en el desprendimiento de capas delgadas del recubrimiento superficial, dejando los agregados expuestos y reduciendo la durabilidad del pavimento. En sus etapas iniciales, ninguno de estos daños suele comprometer la capacidad estructural de la losa; sin embargo, sí debilitan la barrera protectora del concreto y facilitan la entrada de agua, lo que abre la puerta a deterioros mayores. (Vásquez, 2002). La frecuencia y el momento en que aparecen pueden controlarse con un curado adecuado, una buena selección de materiales (mezclas con baja contracción y selladores apropiados) y el control de las condiciones ambientales durante la colocación y el endurecimiento (temperatura, viento y radiación). Un proceso constructivo cuidadoso reduce significativamente su aparición y severidad. Nivel de severidad, no existe nivel de severidad, basta señalar que están presentes.

Figura 9*Vista isométrica de grieta de retracción y descamación*

Nota. La figura representa la grieta de retracción y descamación en pavimentos rígidos, mostrando ejemplos visuales de severidad variable según ASTM D6433-03 (2020).

Descascaramiento de esquina

El descascaramiento de esquina es una pérdida superficial de concreto localizada en la arista de una esquina de la losa, limitada por las dos juntas que convergen en el vértice, que se manifiesta como un rebaje de contorno generalmente triangular y profundidad parcial respecto al espesor. A diferencia de la grieta de esquina, no existe un plano de fractura diagonal que se interne en el paño; lo que se observa es una modificación del borde que

altera la geometría local del ángulo. Los bordes del rebaje presentan roturas, redondeos o microastillas, y la superficie interior conserva una textura rugosa coherente con un daño de borde (Vázquez, 2002).

El descascaramiento de esquina suele originarse por cargas repetitivas mal distribuidas, falta de apoyo adecuado en las esquinas o la infiltración de agua, que debilita el concreto y favorece el desprendimiento del material. Aunque al inicio puede parecer un daño menor, si no se interviene a tiempo puede evolucionar hacia fallas más serias, como la grieta de esquina o incluso el descascaramiento total de esa zona de la losa (Gutiérrez, 2018).

Tabla 3

Niveles de severidad de descascaramiento de esquina.

PROFUNDIDAD DEL DESCASCARAMIENTO	DIMENSIONES DE LOS LADOS DEL DESCASCARAMIENTO	
	21.7 CM X 21.7 CM a 30.5	MAYOR QUE 30.5 cm a
	CM X 30.5 CM	30.5 CM
Menor de 2.5 cm	L	L
>2.5 cm a 5.1 cm	L	M
Mayor de 5.1 cm	M	H

Nota. La tabla presenta los niveles de severidad del descascaramiento de esquina en pavimentos rígidos según profundidad y dimensiones de acuerdo al ASTM D6433-03 (2020).

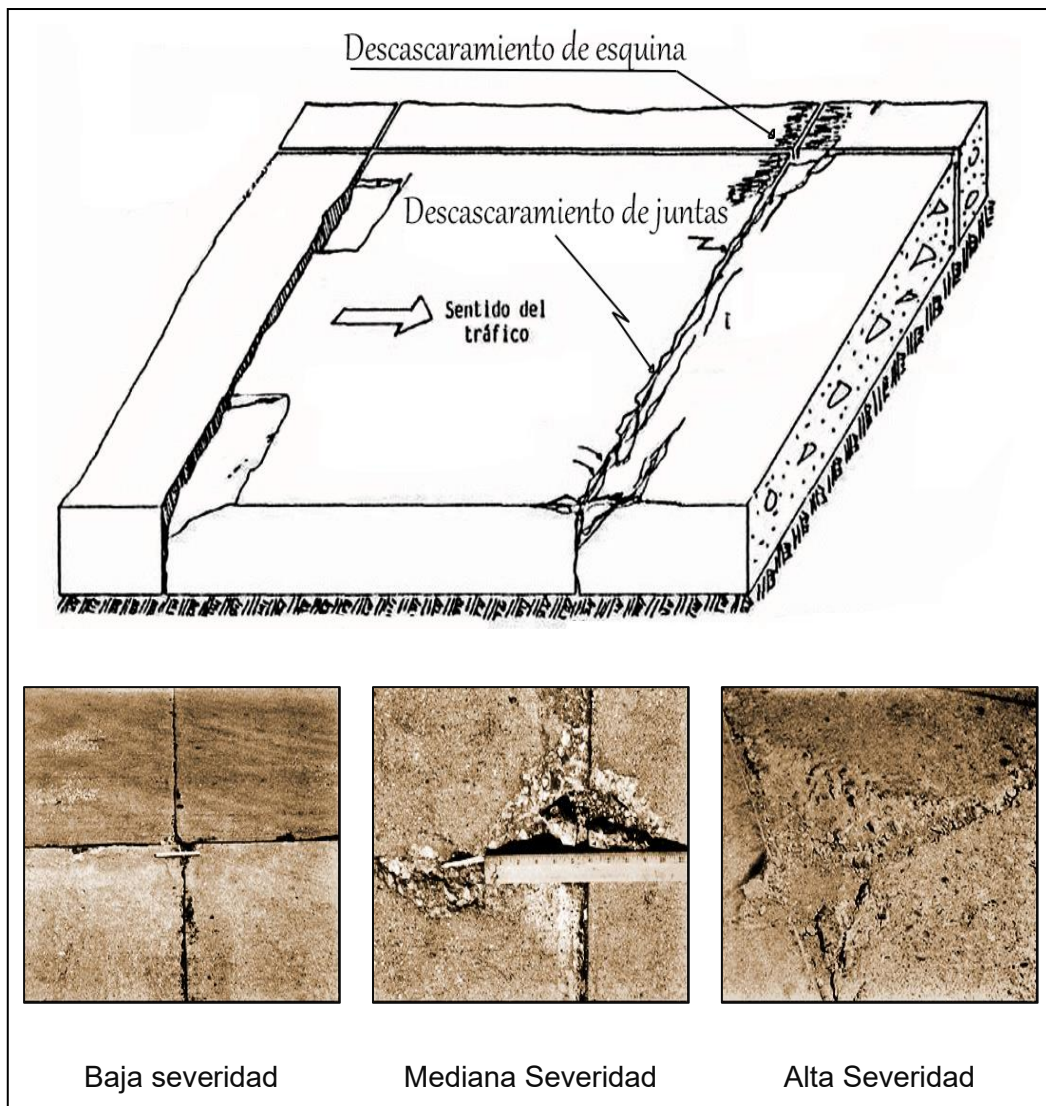
Como contar

Si aparece más de una esquina de la misma severidad en una losa, se cuenta como una sola losa.

Si ocurre más de un nivel de severidad, se considera que tiene el nivel de severidad más alto (Vázquez, 2002).

Figura 10

Vista isométrica de descascaramiento de esquina.



Nota. La figura muestra el descascaramiento de esquina en pavimentos rígidos, con ejemplos visuales correspondientes a baja, media y alta severidad según ASTM D6433-03 (2020).

Pulimento de superficie

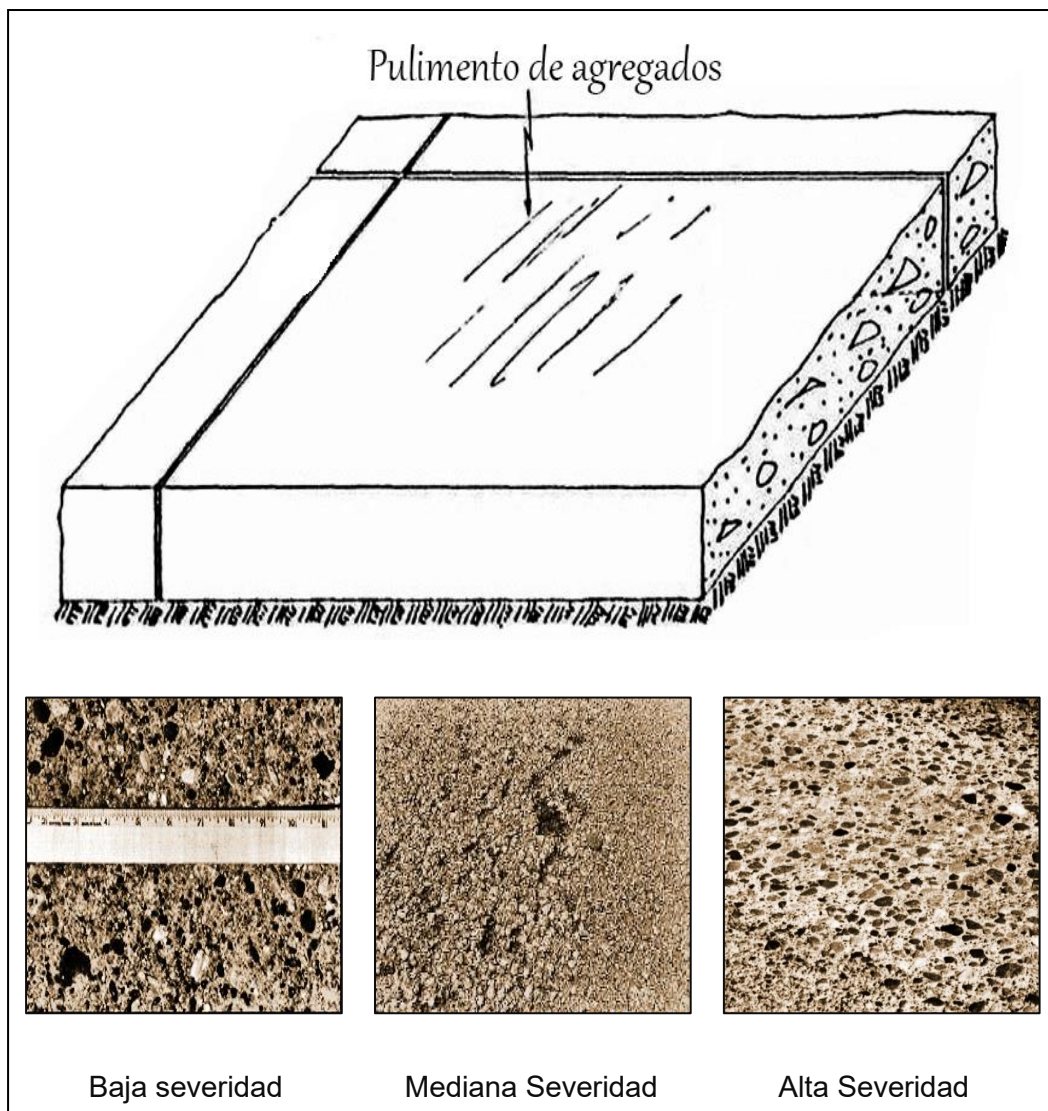
Este daño es producido por cargas repetitivas provenientes del tráfico de vehículos. Los agregados de superficie son suaves y resbaladizos (lisos), lo que reduce en gran medida el agarre de los neumáticos de los vehículos. El pulimento de superficie en pavimento rígido es la suavización progresiva de la microtextura del concreto en las huellas de rodadura, que confiere a la calzada un aspecto más liso y brillante. La macrotextura producida por rayado o

texturizado puede seguir siendo visible, pero su efectividad se reduce al disminuir el relieve microscópico que interactúa con el neumático. A simple vista, el fenómeno se aprecia por reflejos continuos y por una disminución del aspecto rugoso. El inventario lo caracteriza por extensión en planta, uniformidad del pulido y nivel de brillo observable en condiciones de luz apropiadas.

El pulimento es el alisado progresivo de la superficie del concreto que reduce notablemente la fricción y, por tanto, aumenta el riesgo de deslizamiento, sobre todo cuando la calzada está húmeda. Aunque no implica una falla estructural, sí constituye un problema serio de seguridad vial porque disminuye la adherencia entre el neumático y el pavimento. Suele originarse por el uso de agregados poco resistentes a la abrasión o por una dosificación inadecuada del concreto. La solución más habitual es retexturizar la superficie por ejemplo, mediante fresado o ranurado para recuperar niveles adecuados de fricción y mitigar la peligrosidad para el tránsito.

Niveles de severidad

No es necesario establecer niveles de severidad; basta con indicar la presencia de un pulido en la superficie. El nivel de pulido debe ser evidentemente discernible antes de que se registre en un inventario y se clasifique como un deterioro (Vásquez, 2002).

Figura 11*Vista isométrica de pulimento de superficie*

Nota. La figura representa el pulimento de agregados en pavimentos rígidos, mostrando texturas superficiales con distintos niveles de desgaste según ASTM D6433-03 (2020).

Desintegración, agujeros (popouts)

Pequeña parte del pavimento que se desprende de la superficie y forma un pequeño hueco. El tamaño varía de 2,5 cm a 10,2 cm de diámetro y de 1,3 cm a 5,1 cm de espesor (Vásquez, 2002). La desintegración con agujeros, o popouts, es un defecto superficial caracterizado por pequeños cráteres circulares o cónicos en la cara superior del pavimento

de concreto, usualmente de pocos centímetros de diámetro y profundidad reducida. Cada orificio tiene bordes definidos y, con frecuencia, deja a la vista agregados en el fondo, configurando una textura puntuada en el área afectada. Pueden presentarse en forma aislada, como puntos dispersos, o agrupados, generando zonas de mayor densidad. Este patrón no implica necesariamente continuidad a través del espesor de la losa y se reconoce por su escala fina, por la nitidez del contorno y por el contraste con la superficie circundante.

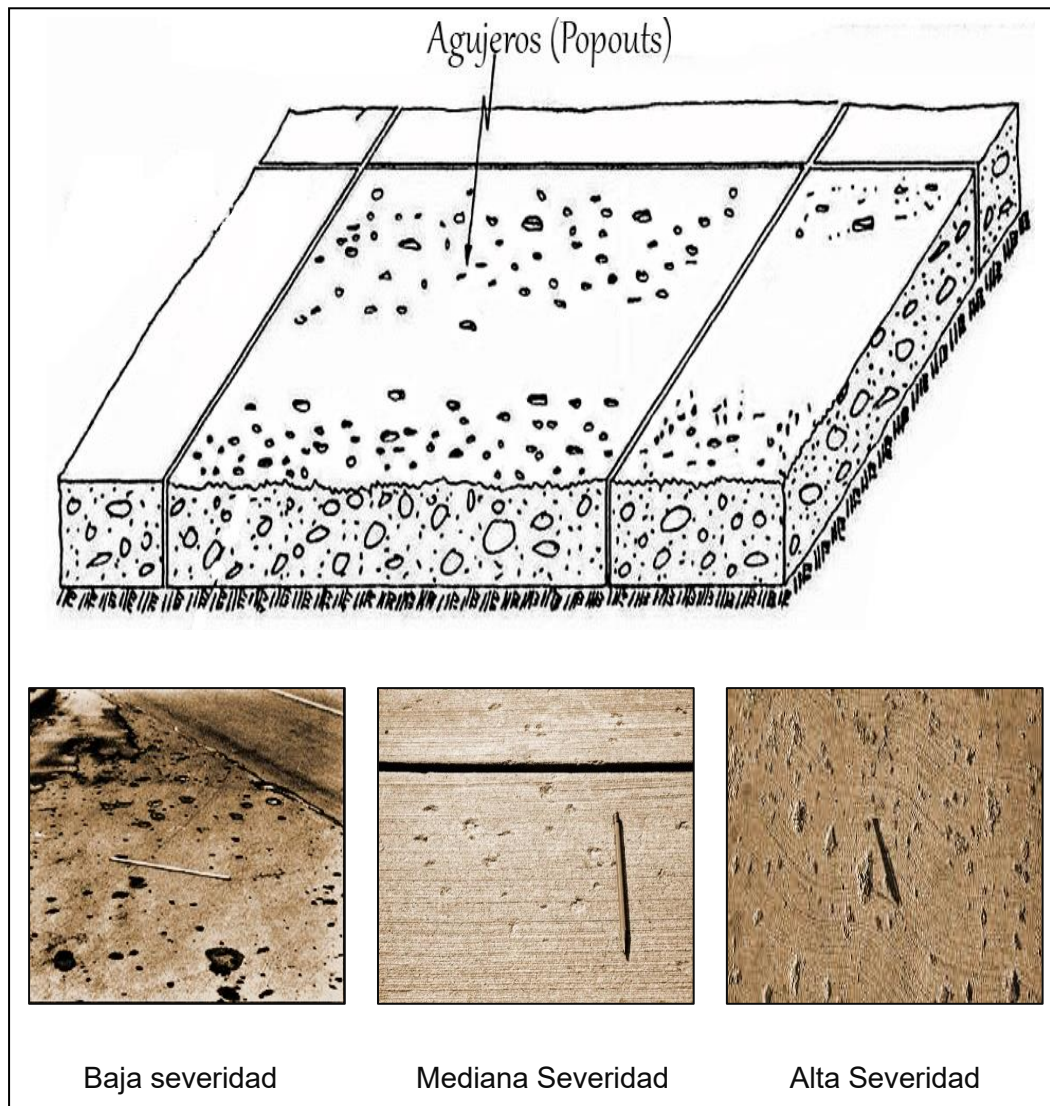
Las desintegraciones por agujeros son pequeñas cavidades, circulares o irregulares, que aparecen en la superficie del pavimento rígido, normalmente de pocos centímetros de diámetro y profundidad. Surgen cuando algunos agregados de la mezcla reactivos o de baja calidad se expanden o se desprenden por efecto del agua, los ciclos de congelamiento–deshielo o reacciones químicas internas, como la reacción álcali–sílice (Vásquez, 2002). Aunque este daño, por sí solo, no suele comprometer la capacidad funcional ni la resistencia estructural de la losa, sí afecta la apariencia, reduce la textura superficial y crea huecos donde se acumulan agua y suciedad, lo que puede favorecer la aparición y progresión de otros deterioros.

Nivel de severidad

La severidad no ha sido determinada. Aunque, el popout tiene que ser amplia para que se registre como deterioro. La densidad promedio en toda la superficie construida debe exceder aproximadamente los 3 m² (Vásquez, 2002).

Figura 12

Vista isométrica de desintegración, agujeros (popouts)



Nota. La figura ilustra la desintegración superficial del pavimento rígido, mostrando agujeros o popouts en distintos niveles de severidad de acuerdo a ASTM D6433-03 (2020).

Blowup - bucklink (levantamiento - pando)

Suele localizarse cerca de una junta o grietas transversales y consiste en un ascenso brusco de la superficie del pavimento que no es lo bastante ancho como para admitir la expansión de la losa, se acompaña de fisuración del concreto en esta zona y se presenta en climas cálidos. (Vázquez, 2002). El blowup o buckling, traducido como levantamiento o pando, se observa en pavimentos rígidos como una elevación súbita de la losa a lo largo de

una junta o de una grieta, generando una cresta transversal o abombamiento visible que interrumpe el perfil longitudinal. La superficie adopta una forma de “escalón” o “arruga” rígida continua, percibida como relieve abrupto por el usuario, y se distingue de pérdidas de material porque no supone necesariamente remoción del concreto. El rasgo central de esta definición es la geometría sobresaliente y concentrada en la línea de discontinuidad, apreciable a simple vista y en perfiles.

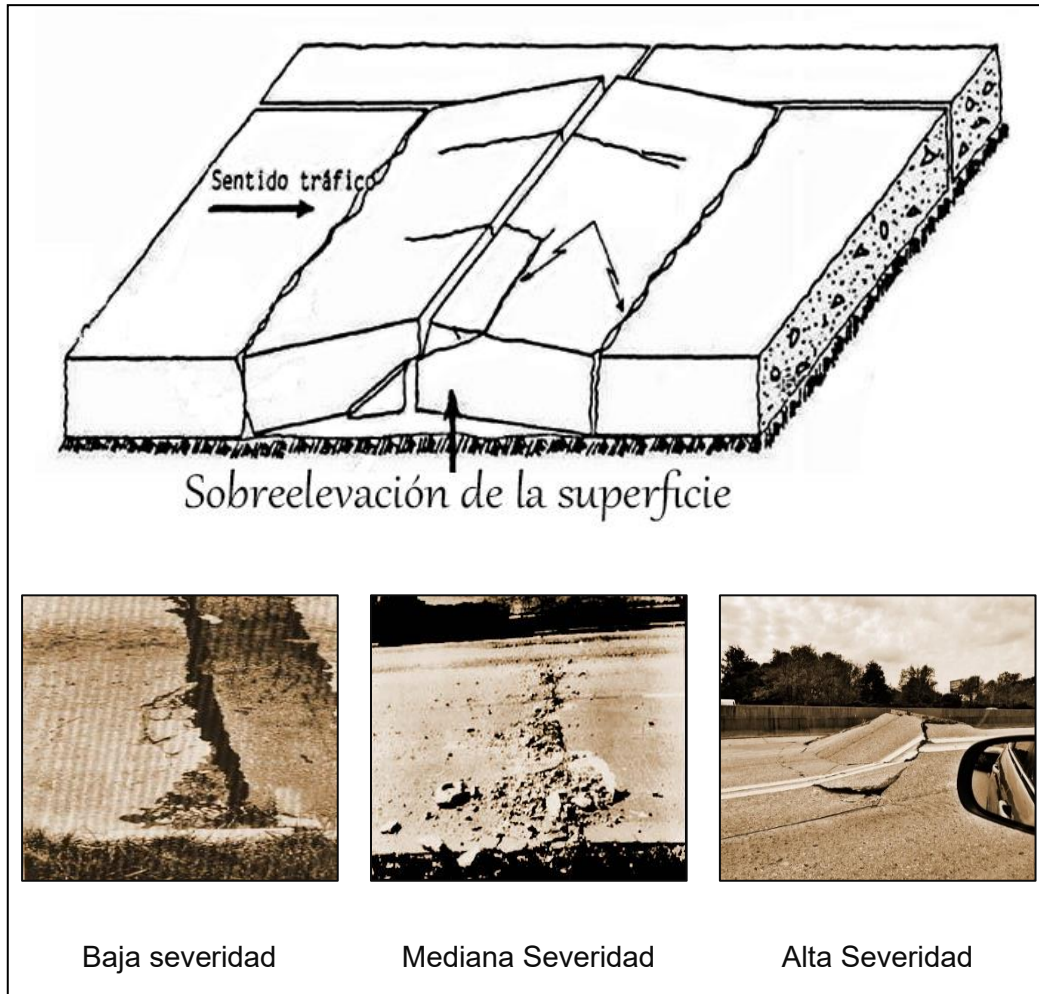
El blowup o buckling (levantamiento/pandeo del pavimento rígido) ocurre cuando una losa se eleva de forma súbita, casi siempre cerca de juntas o grietas transversales donde el espacio para la expansión térmica del concreto es insuficiente (Vásquez, 2002). En épocas calurosas, la dilatación acumulada empuja los bordes de las losas, generando fisuras y desplazamientos verticales. Este daño reduce la seguridad y comodidad de circulación y, si es severo, puede incluso interrumpir el tránsito. Se clasifica en baja, media y alta severidad; en el nivel alto se requiere intervención inmediata para recuperar la transitabilidad.

Como contar

Un blowup (Levantamiento) en una grieta, se cuenta (contabiliza) como una losa. Pero si se produce en una junta y daña a dos losas, se cuenta (contabiliza) para ambas losas. Si la severidad del blowup (Levantamiento) inutiliza el pavimento, éste debe ser reparado inmediatamente (Vásquez, 2002).

Figura 13

Vista isométrica de Blowup – Bucklink (Levantamiento – Pandeo)



Nota. La figura representa el fenómeno de levantamiento o pandeo del pavimento rígido, mostrando diferentes grados de deformación superficial según ASTM D6433-03 (2020).

Escala (Escalonamiento).

Es la desemejanza de nivel mediante la junta. Es la desigualdad de altura (Δh) entre dos losas contiguas a ambos lados de una junta o grieta, medida en el borde de salida en el sentido del tránsito (Vásquez, 2002). Aparece cuando falla la transferencia de carga y/o se pierde soporte: bombeo y erosión de la base, asentamientos diferenciales, alabeo térmico, interbloqueo de áridos insuficiente, drenaje deficiente y tránsito pesado cerca del borde. Sus efectos son golpe/vibración, mayor rugosidad, fisuras de esquina, punzonamiento y encharcamientos.

Niveles de severidad

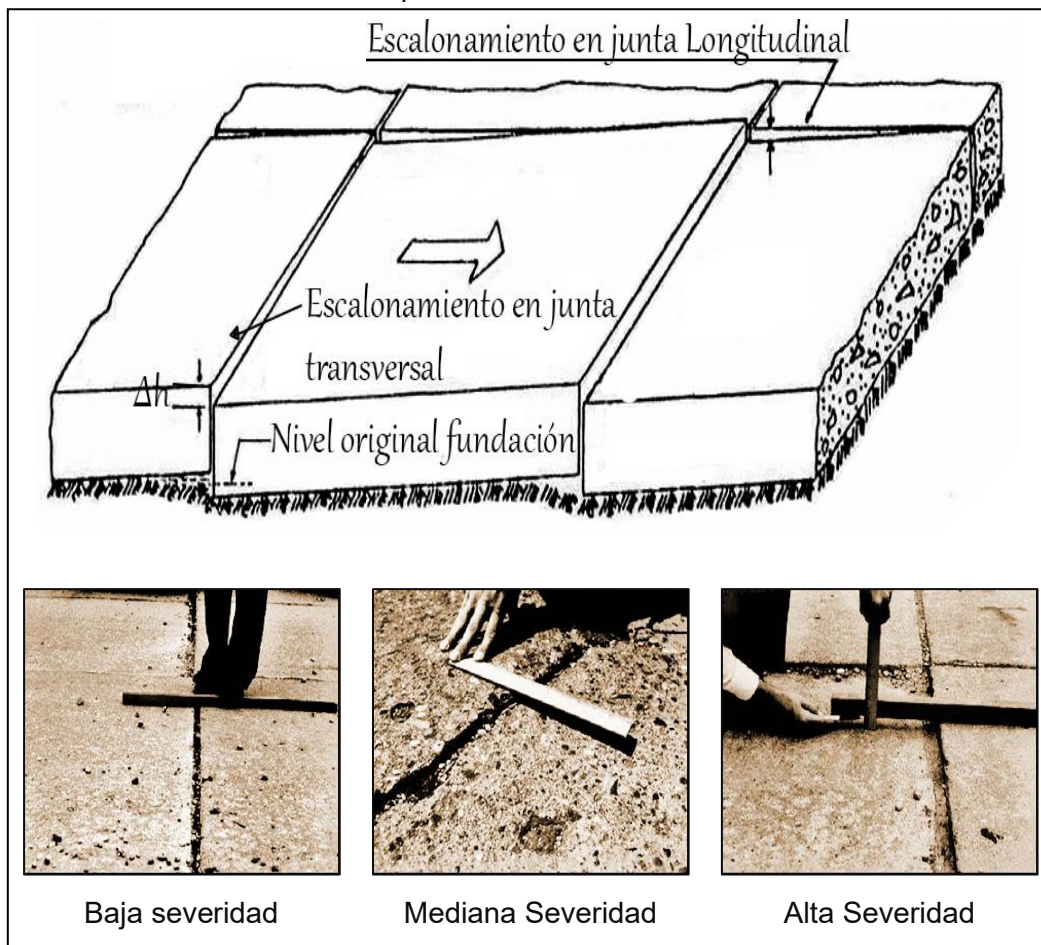
- ✓ **L:** Si la desigualdad de altura está entre 3 mm y 1 cm (Vásquez, 2002).
- ✓ **M:** Si la desigualdad de altura es entre 1cm y 1,9cm (Vásquez, 2002).
- ✓ **H:** Si la diferencia de altura es mayor a 1,9 cm (Vásquez, 2002).

Como contar

Se cuenta como una losa aquella escala a través de una junta. Se contabilizan únicamente las losas afectadas. No se cuentan como daño las escalas a través de una grieta, pero se evalúa para definir la severidad de las grietas (Vásquez, 2002).

Figura 14

Vista isométrica de deterioro por Escala



Nota. La figura representa el deterioro por escalonamiento en pavimentos rígidos, mostrando ejemplos visuales de baja, media y alta severidad según ASTM D6433-03 (2020).

Desnivel carril / berma

Es la desigualdad entre el asentamiento o erosión del margen (borde) del pavimento y la berma. Las diferencias de nivel pueden representar un riesgo para la seguridad. También puede ocurrir por una mayor absorción de humedad (Vásquez, 2002). El desnivel carril-berma es una condición geométrica en la que existe una diferencia de cota entre el borde del carril de concreto y la berma adyacente, perceptible como un escalón longitudinal continuo a lo largo del límite lateral. La discontinuidad puede manifestarse con la berma situada por debajo o por encima del nivel del carril, configurando una transición no uniforme entre superficies contiguas. No constituye, por definición, una rotura del concreto del carril; se trata de un desajuste de nivel entre elementos contiguos de la plataforma.

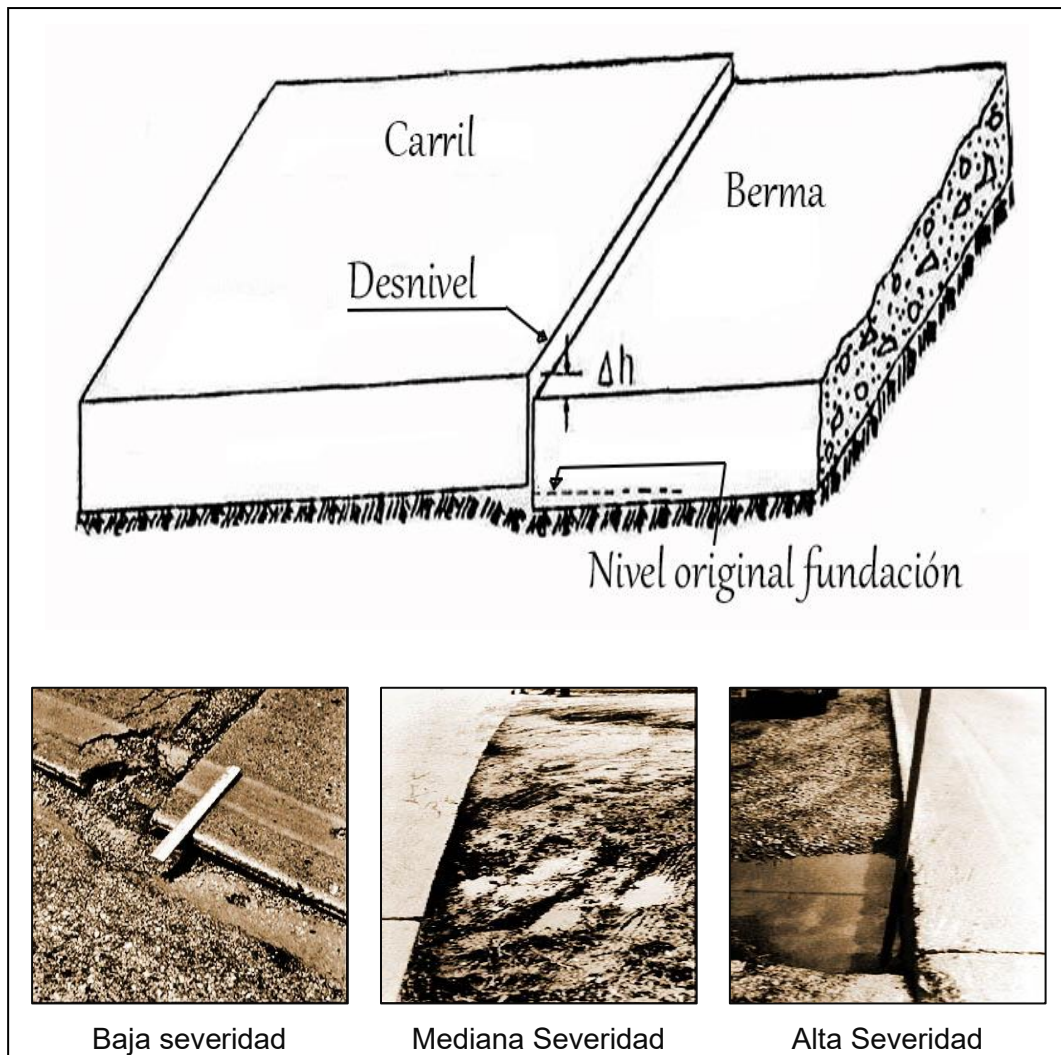
La desigualdad de niveles en el pavimento es un riesgo de seguridad: el vehículo puede desestabilizarse al cambiar de carril o al reincorporarse desde la berma, sobre todo en maniobras de emergencia. Un caso típico es el desnivel entre el carril y la berma, cuando la calzada queda notablemente más alta que el borde. Esto puede originarse por asentamientos diferenciales, erosión lateral, mala compactación del terreno o falta de mantenimiento en los márgenes. Además, las discontinuidades favorecen la infiltración y acumulación de agua, acelerando el daño del pavimento y reduciendo su vida útil. En conjunto, estos factores no solo comprometen la seguridad vial (golpes de llanta, pérdida de control, salidas de vía), sino que también incrementan el deterioro estructural, por lo que exigen correcciones oportunas de nivelación, drenaje y refuerzo del borde.

Nivel de severidad

- ✓ **L:** Cuando la diferencia entre la berma y el margen (borde) del pavimento es de 2.5 cm a 5 cm. (Vásquez, 2002).
- ✓ **M:** Si el desnivel es de 5 a 10 cm, la gravedad de la grieta es media. (Vásquez, 2002).
- ✓ **H:** Si el desnivel es mayor que 10 cm. (Vásquez, 2002).

Figura 15

Vista isométrica de deterioro de desnivel carril / berma



Nota. La figura ilustra el deterioro por desnivel entre carril y berma en pavimentos rígidos, mostrando distintos niveles de severidad según ASTM D6433-03 (2020).

Hundimiento (punzonamiento)

Áreas localizadas de bajada del pavimento acompañadas de fuertes grietas por hundimiento de las losas. Según Vásquez (2002) plantea que el hundimiento, también llamado punzonamiento en pavimentos rígidos, es una depresión localizada de la superficie que adopta forma de cuenco con borde suavemente definido, perceptible a la vista y al tacto, y que se presenta con frecuencia en proximidad de juntas o de esquinas. El contorno puede ser circular u ovalado y, en ocasiones, aparecen fisuras radiales o semicirculares asociadas

alrededor del punto más bajo. Desde la perspectiva descriptiva, se trata de una alteración puntual de la planicidad que concentra la irregularidad en un sector reducido, sin que necesariamente se extienda a todo el paño.

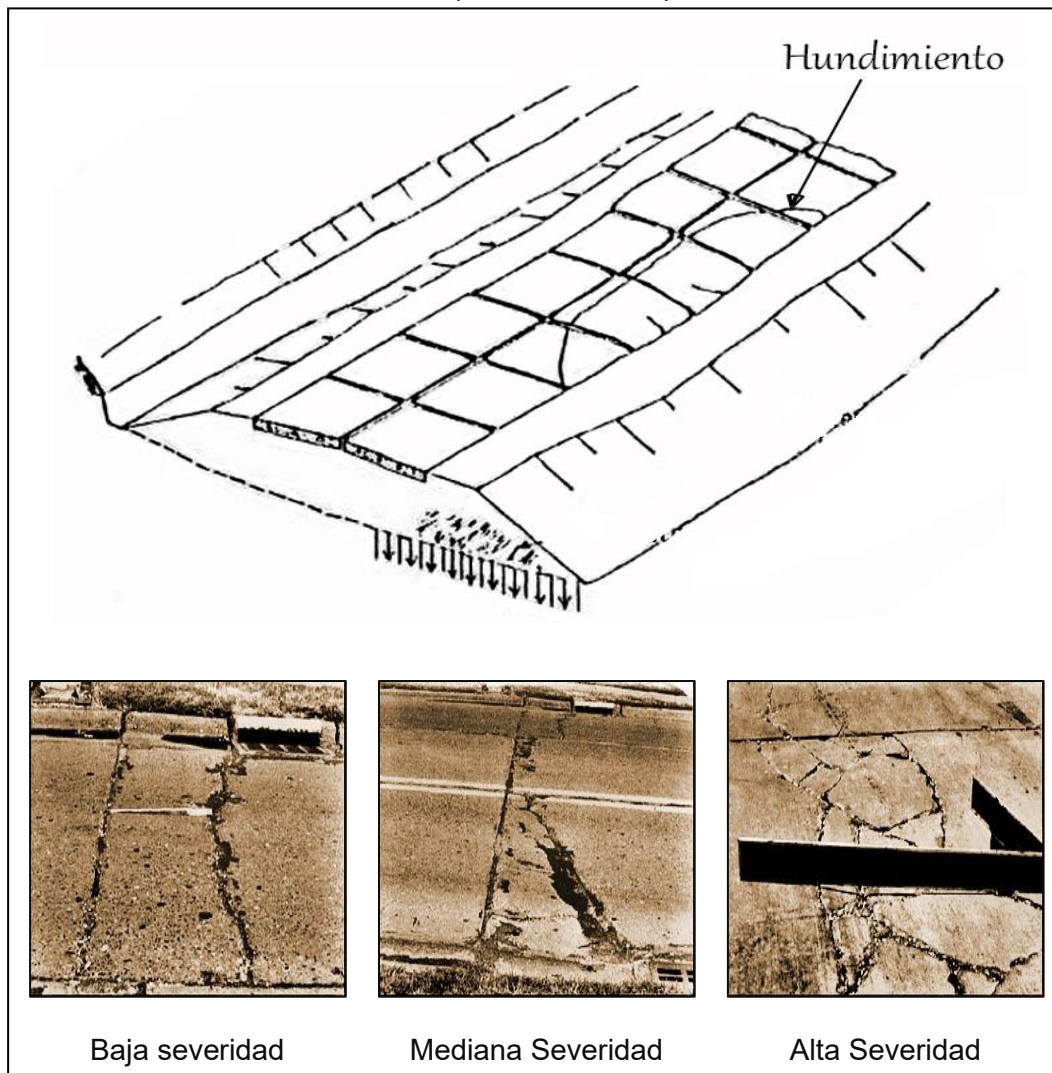
El hundimiento también llamado punzonamiento es un daño localizado que se ve como pequeñas depresiones en la superficie del pavimento rígido, usualmente sobre una losa. Aparece cuando las cargas de los vehículos se acercan o superan la capacidad de soporte de la subrasante, o cuando la losa pierde apoyo por vacíos o asentamientos diferenciales. Estas irregularidades afectan la comodidad y seguridad de conducción: generan vibraciones, fatiga al volante y pueden formar espejos de agua, lo que aumenta el riesgo de deslizamiento. Si la deformación progresa, puede comprometer la integridad estructural del pavimento. Por eso es clave detectar y atender los primeros indicios: corregir niveles, restituir el soporte perdido y mejorar el drenaje para reducir su severidad y extender la vida útil de la vía. (Vásquez, 2002).

Tabla 4

Niveles de severidad de hundimiento

SEVERIDAD DE LA MAYORÍA DE LAS GRIETAS	NÚMERO DE PIEZAS (PEDAZOS)		
	2 a 3	4 a 5	MÁS DE 5
Bajo (L)	L	L	M
Medio (M)	L	M	H
Alto (H)	M	H	H

Nota. La tabla presenta los niveles de severidad del hundimiento en pavimentos rígidos, según cantidad de piezas o pedazos adaptada de ASTM D6433-03 (2020).

Figura 16*Vista isométrica de hundimiento (Punzonamiento)*

Nota. La figura muestra el hundimiento o punzonamiento en pavimentos rígidos, con ejemplos visuales de baja, media y alta severidad según ASTM D6433-03 (2020).

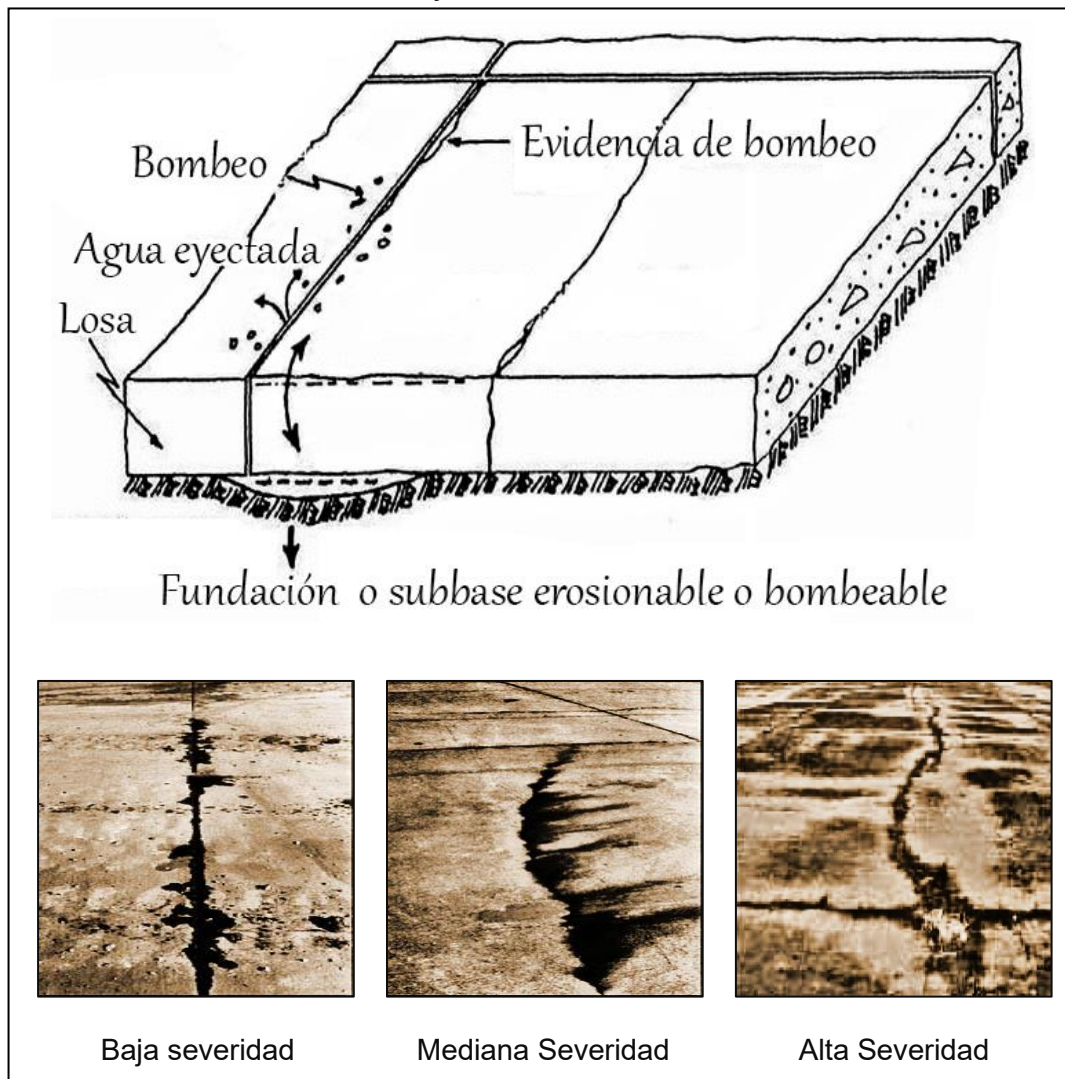
Exudación y bombeo

La liberación de material de la cimentación de la losa por medio de las juntas o grietas. La exudación y el bombeo constituyen una manifestación visible de salida de agua y finos desde el interior del paquete del pavimento hacia la superficie a través de juntas, grietas o bordes, bajo el efecto del paso de las ruedas. Se observan como manchas húmedas persistentes, hilos de lodo, pequeños chorros o halos oscuros que aparecen y, a menudo, se repiten con la circulación vehicular (Vásquez, 2002). A diferencia de una fisura o de una

pérdida de concreto, el rasgo central es el flujo de fluidos y partículas finas a lo largo de la discontinuidad. Los niveles de severidad no están determinados, basta demostrar que existe (Vásquez, 2002).

Figura 17

Vista isométrica de exudación y bombeo



Nota. La figura representa la exudación y bombeo en pavimentos rígidos, evidenciando expulsión de agua y material erosionado según ASTM D6433-03 (2020).

Parche pequeño deteriorado (menor de 45 cm²)

Esta es una zona donde la capa original ha sido removida y reemplazada con material de relleno. Un parche pequeño deteriorado es una reparación de área reducida, no

mayor a cuarenta y cinco centímetros cuadrados, previamente ejecutada dentro del pavimento rígido y que actualmente evidencia fallas en su integridad. Se identifica porque el material colocado presenta fisuras, desadherencias, descamación o desgranamiento, y porque los bordes muestran irregularidades, microastillas o un leve escalón respecto del concreto circundante. La textura y el color difieren del entorno, lo que facilita su localización durante la inspección.

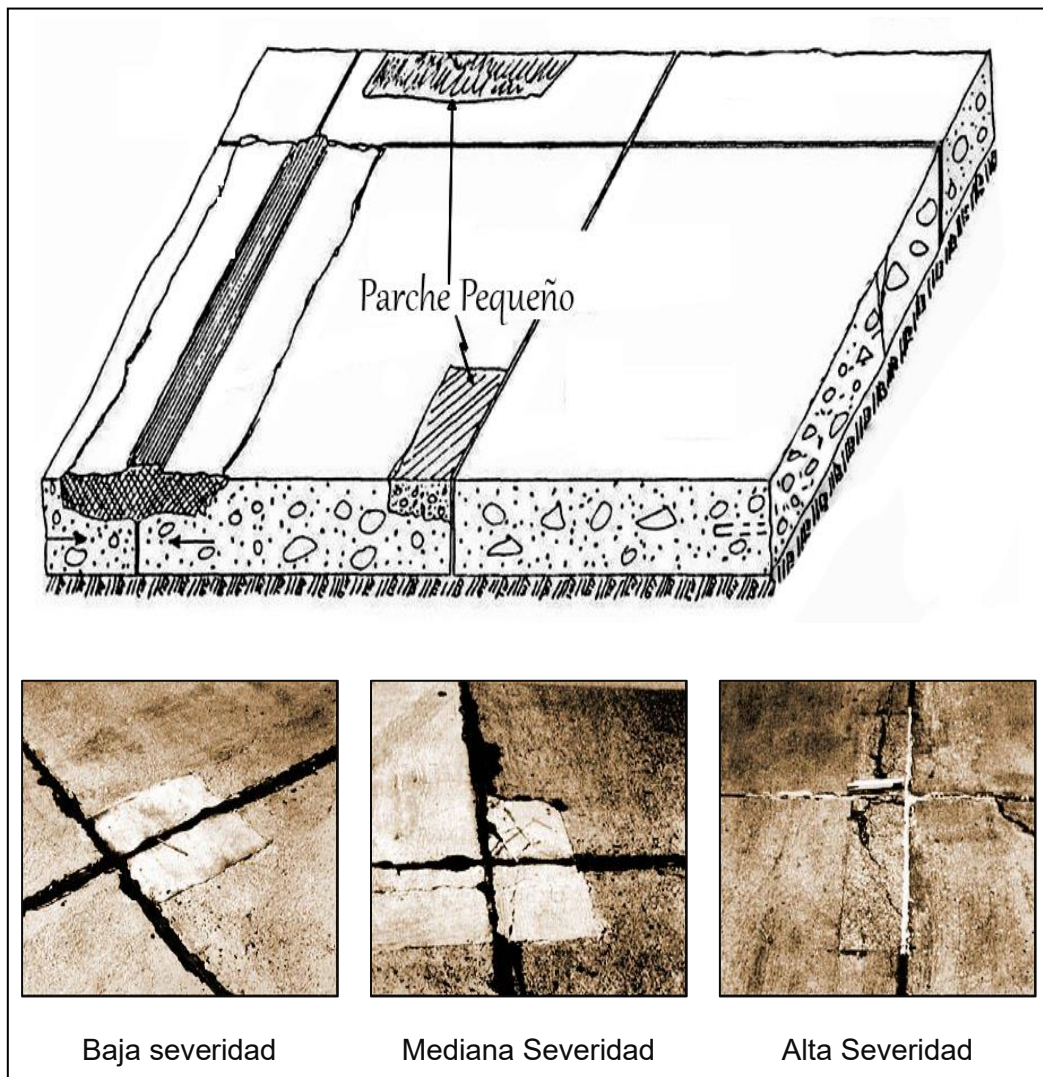
El parche pequeño deteriorado (área menor de 45 cm²) es una reparación localizada donde se retiró el pavimento original y se rellenó con otro material, pero que con el tiempo ha perdido desempeño. Suele fallar por mala ejecución, materiales inadecuados o condiciones ambientales adversas durante la colocación, dando lugar a desprendimientos, fisuras o falta de adherencia con la losa, lo que deja una superficie irregular que afecta la comodidad y la seguridad de circulación. Aunque su tamaño sea reducido, su presencia no es deseable: puede ser señal de problemas estructurales bajo la losa o de reparaciones previas deficientes. Detectarlo y monitorear su evolución a tiempo permite programar una intervención puntual para restaurar la adherencia y la nivelación antes de que el área dañada se expanda.

Nivel de severidad

- ✓ **L:** Si el parche es bueno, hay poco o nada de daño (Vásquez, 2002).
- ✓ **M:** Si el parche está regularmente dañado. El material del parche se puede quitar con mucha fuerza (Vásquez, 2002).
- ✓ **H:** Si el parche está muy dañado. Se debe reponer la zona afectada (Vásquez, 2002).

Figura 18

Vista isométrica de parche pequeño deteriorado (menor de 45 cm²)



Nota. La figura muestra un parche pequeño deteriorado en pavimentos rígidos, con ejemplos visuales correspondientes a baja, media y alta severidad según ASTM D6433-03 (2020).

Parche grande deteriorado (mayor de 45 cm²)

Esta es una zona donde el pavimento originario ha sido removido y reemplazada con material nuevo. Un parche grande deteriorado es una reparación cuya área supera cuarenta y cinco centímetros cuadrados y que presenta defectos evidentes en una extensión apreciable del paño de rodadura. Se reconoce porque exhibe fisuras, pérdida de material, desadherencia o diferencias de nivel notorias respecto del concreto original, y porque sus límites de corte y

uniones son claramente visibles en planta. La textura y el color contrastantes refuerzan su identificación (Vásquez, 2002). En términos descriptivos, se trata de una zona definida, con contorno geométrico o irregular, que se comporta como un “cuerpo” distinto al entorno inmediato.

El parche grande deteriorado (área mayor de 45 cm²) es una reparación donde se retiró el pavimento original y se lo reemplazó con otro material, pero que hoy muestra fallas claras: fisuras, desprendimientos, pérdida de material o desniveles respecto de la losa existente. Además de afectar la funcionalidad y la apariencia de la vía, puede comprometer la integridad estructural del sector reparado.

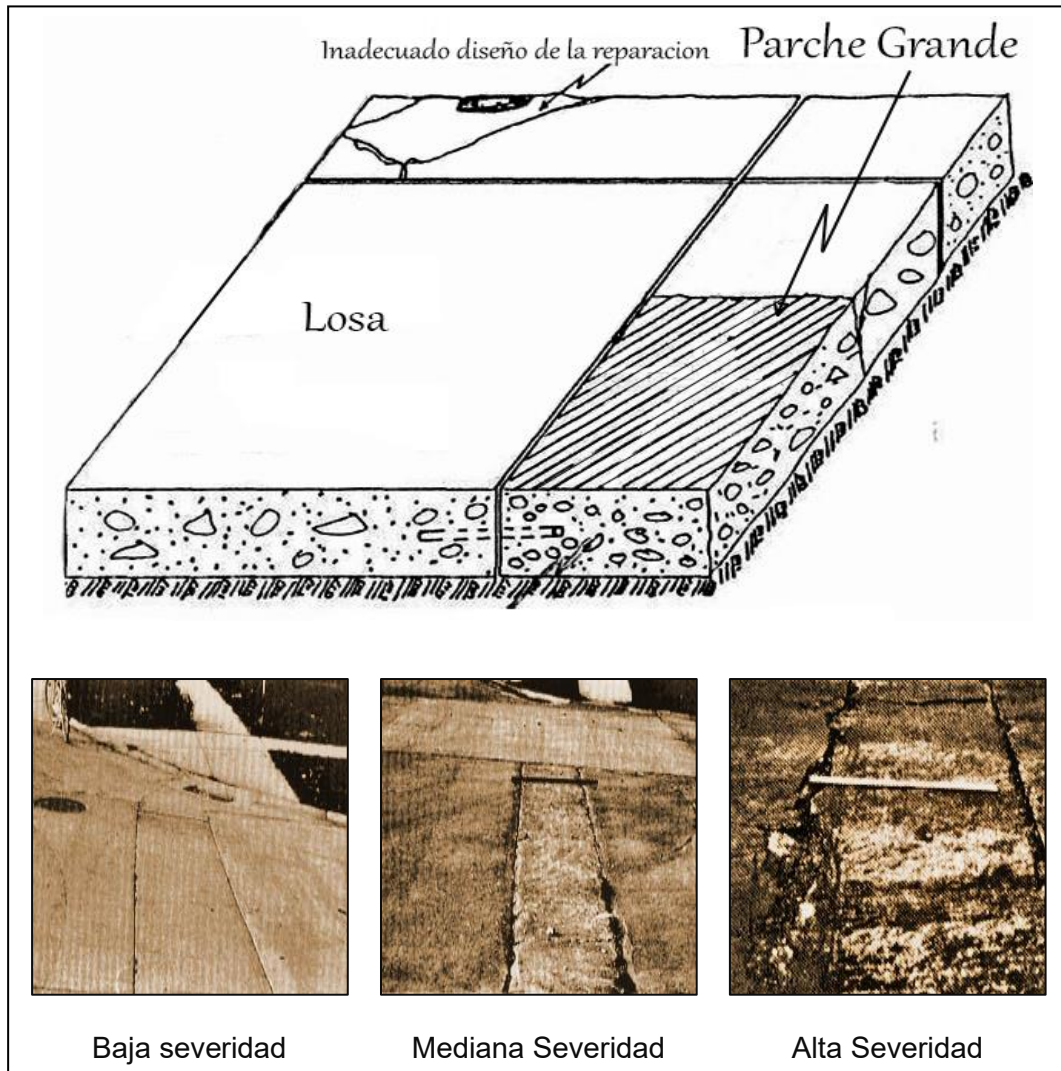
Este tipo de daño facilita la infiltración de agua y transmite cargas dinámicas de forma inadecuada por la mala distribución de esfuerzos. Suele deberse a sistemas constructivos deficientes, materiales inadecuados o una preparación insuficiente de la superficie antes de parchear. Por ello, es clave identificar y evaluar estos parches a tiempo para definir estrategias de rehabilitación más duraderas y eficaces (mejor preparación de base, materiales adecuados y control de calidad en la colocación).

Nivel de severidad

- ✓ **L:** Si el parche tiene poco o nada de daño, está funcionando correctamente (Vásquez, 2002).
- ✓ **M:** El parche está ligeramente dañado o tiene los bordes ligeramente descascarado. El material del parche se puede quitar con mucha fuerza (Vásquez, 2002).
- ✓ **H:** Si el parche está bastante dañado. Se debe reponer la zona afectada (Vásquez, 2002).

Figura 19

Vista isométrica de parche grande deteriorado (mayor de 45 cm²)



Nota. La figura representa un parche grande deteriorado en pavimentos rígidos, mostrando ejemplos correspondientes a baja, media y alta severidad según ASTM D6433-03 (2020).

Cruce de vía férrea

Se identifica por depresiones o protuberancias alrededor del carril. El cruce de vía férrea es el tramo de la calzada de concreto en el que la plataforma vial interseca rieles ferroviarios, incorporando elementos específicos como paneles, insertos y losas de aproximación para asegurar la transición entre ambos sistemas. A diferencia del resto del pavimento, constituye una zona singular con discontinuidades geométricas en planta y perfil que deben alinearse y nivelarse conforme a las exigencias del conjunto vial ferroviario

(Vásquez, 2002). La presencia visible de rieles y componentes asociados, así como la configuración material del entorno inmediato, facilitan su reconocimiento.

Figura 20

Cruce de vía férrea y Nivel de severidad

 <p>Baja severidad</p>	<p>L: La Grieta es de baja severidad, si el cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad.</p>
 <p>Mediana Severidad</p>	<p>M: La Grieta es de mediana severidad, si el cruce de la vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media.</p>
 <p>Alta Severidad</p>	<p>H: La Grieta es de alta severidad, si el cruce de la vía férrea produce calidad de tránsito de alta severidad (Vásquez, 2002).</p>

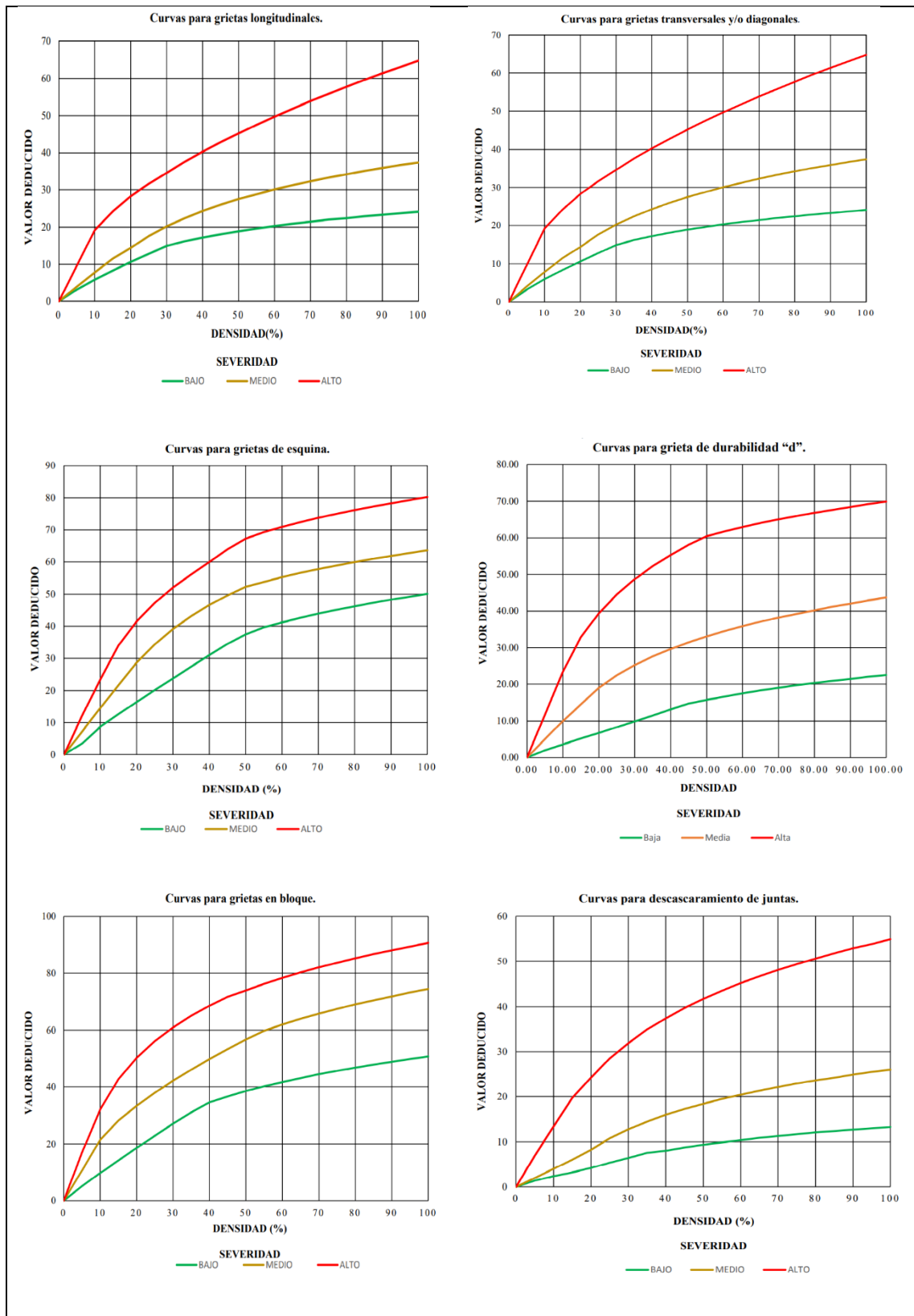
Nota. La figura muestra los niveles de severidad en grietas ubicadas en cruces de vía férrea, según criterios de tránsito según Vásquez (2002).

b) Curvas de valores deducidos

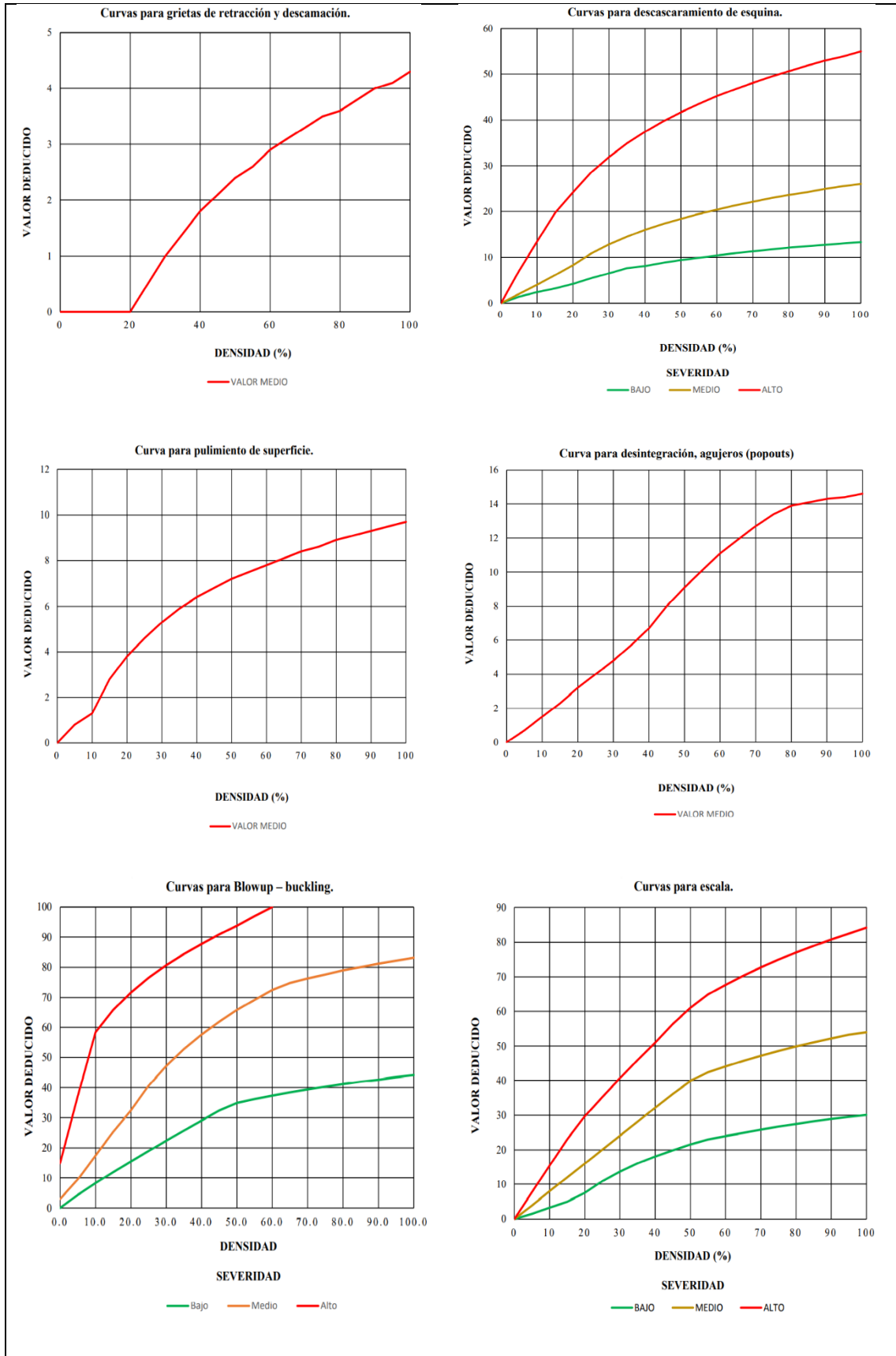
La metodología del PCI presenta nomogramas que mediante la tabulación se obtiene el valor deducido. Este valor deducido se obtiene primeramente fijando el valor de la densidad, luego proyectando verticalmente en el sentido del eje de las abscisas, interceptamos en una curva de severidad que corresponda para luego proyectar en el sentido del eje de las ordenadas y así obtenemos el valor deducido del deterioro correspondiente.

Figura 21

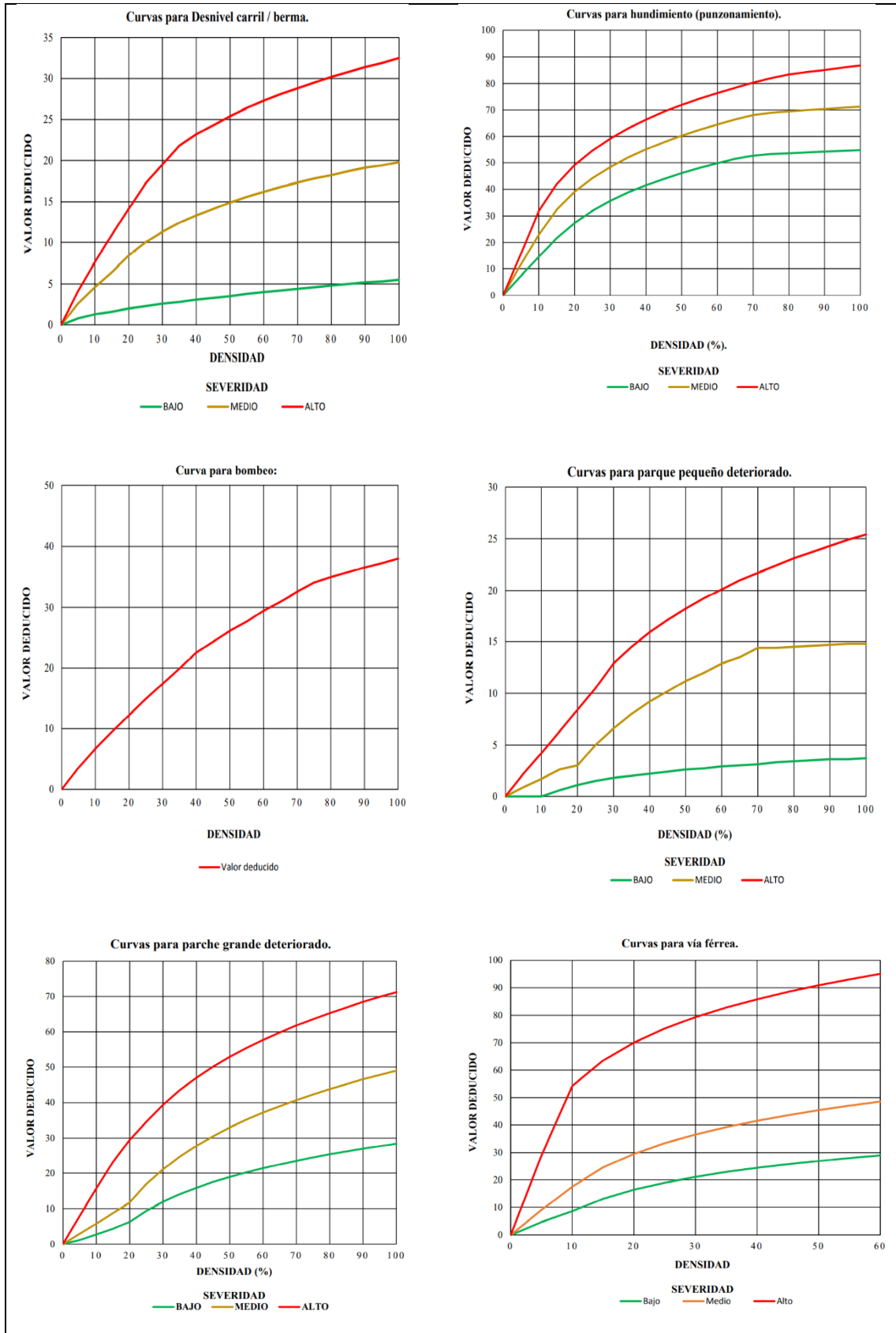
Curvas de valores deducidos



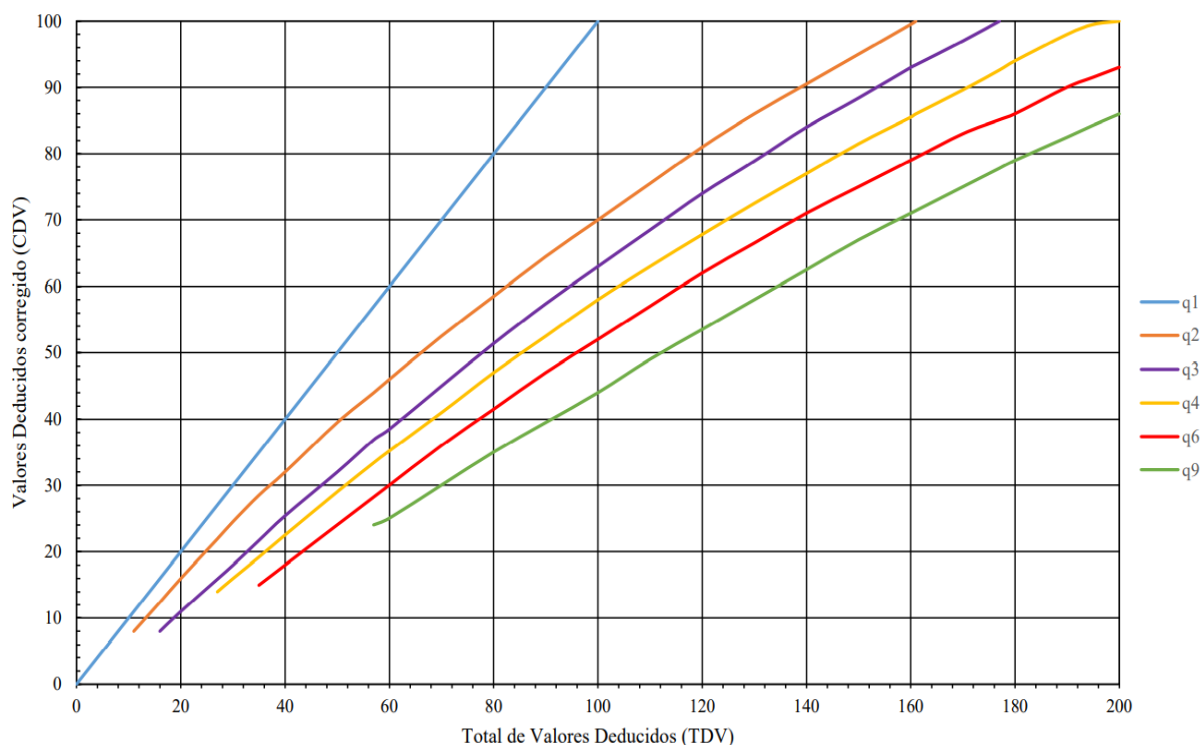
Nota. La figura presenta las curvas de valores deducidos en función de la densidad y la severidad para distintos tipos de deterioro del pavimento. Adaptado de ASTM International D6433-03 (2020).



Nota. La figura presenta las curvas de valores deducidos en función de la densidad y la severidad para distintos tipos de deterioro del pavimento. Adaptado de ASTM International D6433-03 (2020).



Nota. La figura presenta las curvas de valores deducidos en función de la densidad y la severidad para distintos tipos de deterioro del pavimento. Adaptado de ASTM International D6433-03 (2020).

Figura 22*Curva de corrección de valores deducidos*

Nota. La figura muestra la curva de corrección de valores deducidos en función del Total de Valores Deducidos (TDV) y los Valores Deducidos corregidos (CDV). Adaptado de ASTM International D6433 (2020).

3.2.3. Evaluación del pavimento rígido

Al realizar una evaluación de la superficie del pavimento, el objetivo es determinar el estado superficial del pavimento utilizando un índice de condición del pavimento para luego brindar soluciones por medio de actividades de mantenimiento vial optimizando los costos anuales, generando así grandes ahorros (Fundora, 2019).

a) Índice de condición del pavimento (PCI) y clasificación del estado del pavimento

Es una jerarquía numérica de la condición del pavimento rígido que toma valores de 0 a 100, donde 0 es la condición peor posible y 100 es la condición mejor posible (ASTM D6433, 2020). Asimismo, el PCI se puede clasificar cualitativamente en función de su jerarquía numérica.

La Tabla 5 clasifica el estado del pavimento rígido según el valor del PCI, dividiéndolo en siete rangos que van desde "Excelente" (85–100) hasta "Colapsado" (0–10), cada uno con un código y color representativo. Esta clasificación, basada en la norma ASTM D6433-03, permite identificar el nivel de deterioro del pavimento y orientar el tipo de intervención vial necesaria, desde mantenimiento preventivo hasta la reconstrucción.

Tabla 5

Rango y clasificación del estado del pavimento rígido

RANGO	CLASIFICACIÓN	CÓDIGO
85-100	excelente	A
70-85	muy bueno	B
55-70	bueno	C
40-55	regular	D
25-40	malo	E
10-25	muy malo	F
0-10	colapsado	F

Nota. La tabla presenta el rango y clasificación del estado del pavimento rígido según el índice PCI y su codificación según ASTM D6433-03 (2020).

Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

La primera fase corresponde a las tareas de campo utilizando el diagrama de pavimento contenida en el formato 1 (Ver anexo 2), el cual se desarrolla según la metodología PCI acreditado en la norma ASTM-D6433-03.

Unidad de muestreo

La unidad de muestreo (tramo) del pavimento rígido está determinada por un promedio de 20+-8 losas.

Determinación de las unidades de muestreo para evaluación

Se usa las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1

Número total de unidades de muestreo (tramo) en la sección del pavimento. ASTM D6433-03 (2020).

$$N = \frac{\text{NÚMERO DE LOSAS DE LA SECCIÓN}}{\text{LOSAS POR UNIDAD DE MUESTREO}}$$

Donde:

N = Número total de unidades de muestreo.

Ecuación 2

Número mínimo de unidades de muestreo (tramo) a evaluar. ASTM D6433-03 (2020).

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

Donde:

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

σ = Desviación estándar del PCI entre las unidades.

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

N = Número total de unidades de muestreo.

Selección de las unidades de muestreo (tramo) para inspección

Se usa la ecuación siguiente:

Ecuación 3

Intervalo de muestreo ASTM D6433-03 (2020).

$$i = \frac{N}{n}$$

Donde:

i = Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior.

N = Número total de unidades de muestreo disponible.

n = número mínimo de unidades para evaluar.

Cálculo del PCI de las unidades de muestreo (tramos)

La segunda fase corresponde a las tareas de gabinete utilizando las tablas implícitas en el formato 1 (Ver anexo 3), el cual se desarrolla según la metodología PCI acreditado en la norma ASTM-D6433-03

Etapa 1: *Calculo de valores deducidos.*

Para el cálculo de valores deducidos se contabiliza los deterioros según el tipo y severidad, apoyado por el diagrama del pavimento que esta implícita en el formato 1. Ahora bien, podemos hallar la densidad, de manera que usando el nomograma de deterioros y tabulaciones podemos calcular el “valor deducido” de cada deterioro.

Etapa 2: *Calculo del número máximo admisible de valores deducidos (mi).*

Determine el Número máximo admisible de valores deducidos (m_i) utilizando la ecuación:

Ecuación 4

Número máximo admisible de valores deducidos. ASTM D6433-03 (2020).

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - VDA)$$

Donde:

m_i = Número máximo admisible de valores deducidos.

VDA = Valor deducido más alto.

Etapa 3: *Calculo del valor deducido corregido más alto (VDCA).*

- Establecer el número de valores deducidos para cada “q”, que son mayores que 2.
- Totalizar todos los valores deducidos individuales así pues determine el “total de valor deducido“

- Establecer el valor deducido corregido (VDC) empleando nomogramas de la curva de corrección de valores deducidos.
- Establecer el valor deducido corregido más alto (VDCA).

Etapa 4: *Calculo del PCI*

El PCI es la resta de 100 menos el valor deducido corregido más alto (VDCA).

b) Tipo de mantenimiento vial

El mantenimiento vial es una serie de actividades de ingeniería preventiva, correctiva menor, correctiva mayor, rehabilitación y reconstrucción que deben realizar las autoridades responsables de la gestión vial (municipios y/o autoridades locales) para proteger las carreteras y mantenerlas en óptimas condiciones operacionales (Solomón, 2003).

❖ Mantenimiento Preventivo o mínimo

Esto es consistente con una estrategia de planificación dirigida a retrasar la aparición del deterioro y mantener o mejorar la capacidad de servicio sin aumentar significativamente la capacidad estructural del pavimento (Solminihac, 2019). Generalmente es adecuado para pavimentos que se encuentran en buen estado y aún tienen una larga vida útil. Las actividades asociadas con esta estrategia incluyen. Según Sotil (2014), los pavimentos se encuentran en muy buen estado; no se requieren acciones inmediatas de mantenimiento correctivo; en ocasiones se pueden requerir mínimas acciones de mantenimiento preventivo.

❖ Mantenimiento correctivo menor (Rutinario)

Se refiere a actividades de mantenimiento rutinario que garantizan la accesibilidad en niveles adecuados. Estas actividades incluyen la limpieza de canaletas longitudinales, el mantenimiento de líneas delimitadoras, el parchado, el sellado de grietas y el recapado en determinadas zonas (Solminihac, 2019). Estas suelen realizarse mediante administración

directa y según Sotil (2014), los pavimentos se encuentran en buen estado, pero presentan daños incipientes que requieren mantenimiento correctivo inmediato y/o de corto plazo.

❖ **Mantenimiento correctivo mayor o intensivo (Periódico)**

Corresponde a las actividades de mantenimiento realizadas en respuesta al deterioro que afecta la vida de servicio y la seguridad del pavimento o amenaza su integridad (Solminihac, 2019). Es de naturaleza reactiva y su función es mejorar el mantenimiento a un nivel aceptable en caso de desgaste inesperado. Considere el tratamiento de baches, el parcheo, la corrección de la separación de las juntas de las bermas y del pavimento, la reparación de las juntas y el reemplazo de losas de espesor total según sea apropiado para el sitio. Según Sotil (2014), los pavimentos se encuentran en condiciones cuestionables o regular, presentan deficiencias evidentes y requieren mantenimiento correctivo frecuente y posiblemente una rehabilitación a mediano plazo.

❖ **Rehabilitación menor (Refuerzo estructural)**

Esto corresponde a mejoras no estructurales encaminadas a frenar el envejecimiento. Según Sotil (2014), afirma que los pavimentos se encuentran en mal estado y presentan defectos en proceso de generación que necesitan ser rehabilitados en el corto plazo para evitar la propagación de daños permanentes

❖ **Rehabilitación mayor**

El pavimento se encuentra en muy malas condiciones con daños graves que requerirán rehabilitaciones importantes mayores en el corto plazo. Se trata de mejoras estructurales, que a menudo consiste en recapado estructural (Solminihac, 2019). Además, según Sotil (2014), el pavimento está en muy malas condiciones, tiene graves defectos que requiere rehabilitaciones importantes mayores, a corto plazo, es probable que el porcentaje de reconstrucción sea alta.

❖ **Reconstrucción**

Cuando un pavimento queda estructuralmente obsoleto, se considera la posibilidad de reemplazar completamente el pavimento, cambiando así por completo sus propiedades (Solminihac, 2019). Esto también se puede hacer mediante el reciclaje, utilizando materiales de pavimento existentes como materia prima para pavimento nuevos. Según Sotil (2014), el pavimento está en muy malas condiciones, tiene graves defectos y requiere rehabilitaciones importantes, siendo probable que el porcentaje de reconstrucción sea alto en el corto plazo.

La Tabla 6 establece las recomendaciones de intervención vial según el valor del PCI, desde mantenimiento preventivo o mínimo (PCI 85–100) hasta la reconstrucción (PCI 0–10). Cada rango está asociado a un tipo de acción, lo que permite planificar de manera técnica y eficiente el mantenimiento del pavimento. Esta clasificación es esencial para determinar las intervenciones requeridas en la Av. Prado Alto según el grado de deterioro observado.

Tabla 6

Rango y recomendación de intervención vial

RANGO	CLASIFICACIÓN
85-100	Mantenimiento preventivo o mínimo
70-85	Mantenimiento correctivo menor (Rutinario)
55-70	Mantenimiento correctivo mayor o intensivo (Periódico)
40-55	No se propone actividad de mantenimiento alguna
25-40	Rehabilitación menor (refuerzo estructural)
10-25	Rehabilitación mayor
0-10	Reconstrucción

Nota. La tabla presenta los rangos y recomendaciones de intervención vial del pavimento rígido según criterios técnicos establecidos por Sotil (2014).

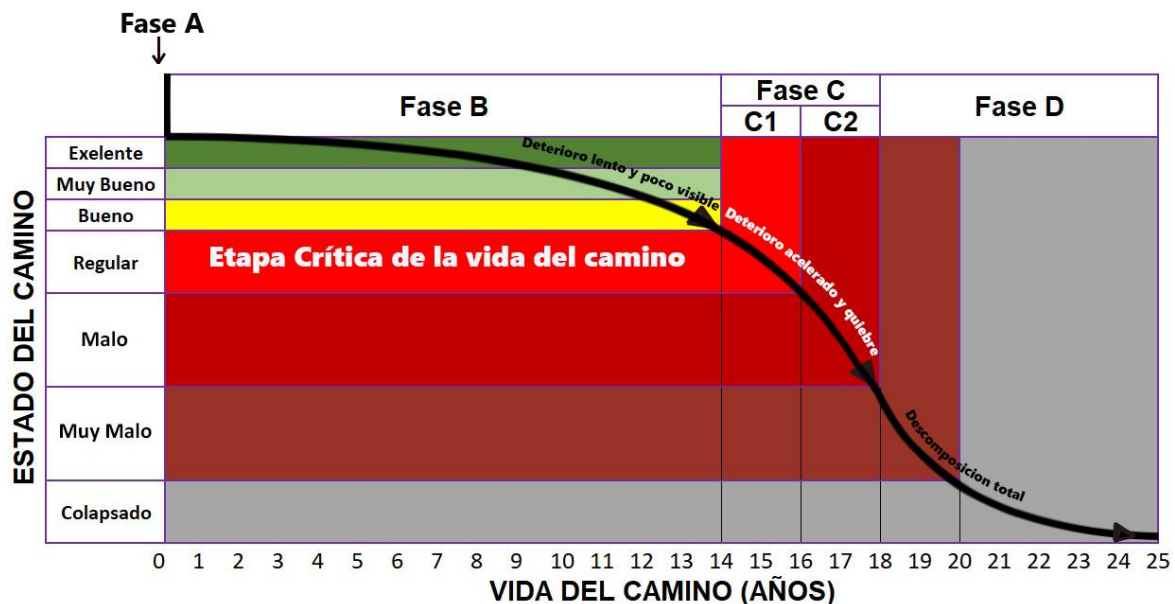
Fase de deterioro del pavimento a través del tiempo

El ciclo comienza con una vía nueva o recientemente reparada que estará en óptimas condiciones de operación. Sin las adecuadas actividades de mantenimiento, la vía entrará en un proceso de deterioro acelerado (Salomón, 2003), como lo muestra la figura 23 la fase de deterioro del pavimento a través del tiempo.

La Figura 23 muestra las fases de deterioro del pavimento a lo largo del tiempo, desde un estado “Excelente” hasta “Colapsado”. Destaca la etapa crítica (Fase C), donde el deterioro se acelera y requiere intervención oportuna para evitar altos costos de rehabilitación. La gráfica evidencia la relevancia del mantenimiento preventivo en fases tempranas para alargar la vida útil del pavimento y optimizar recursos.

Figura 23

Fases de deterioro del pavimento a través del tiempo



Nota. La figura muestra las fases de deterioro del pavimento rígido a lo largo del tiempo, según comportamiento funcional y estructural según Sotil (2014).

Comparación de curvas de deterioro del pavimento en el ciclo de vida fatal y deseable

Sin embargo, si las autoridades viales han implementado un sistema de mantenimiento preventivo y/o mantenimiento correctivo menor (Mantenimiento rutinario), este deterioro tiende a ser más lento y con el tiempo prolongará la necesidad de un mantenimiento correctivo mayor (Mantenimiento Periódico), es decir, la reposición de la capa de concreto del pavimento de la vía (Solomon, 2003). Si este tipo de conservación se desarrolla de manera sostenible, ya no será necesario rehabilitar o reconstruir completamente los pavimentos. Sin un mantenimiento rutinario, el estado del pavimento de muy bueno a regular puede durar unos 2 o 3 años (Salomón, 2003). Sin embargo, si se realiza un mantenimiento rutinario, este plazo puede ampliarse en 4 o 5 años.

La Figura 24 compara dos escenarios posibles en la vida útil de un pavimento: uno que podríamos llamar "fatal" y otro "deseable". Ambos muestran cómo se comporta el pavimento con el paso de los años, pero la gran diferencia está en la aplicación oportuna del mantenimiento.

En la figura, el eje vertical indica el estado del camino, desde "Excelente" hasta "Colapsado", mientras que el eje horizontal marca los años de vida útil. Aquí entran en juego dos curvas:

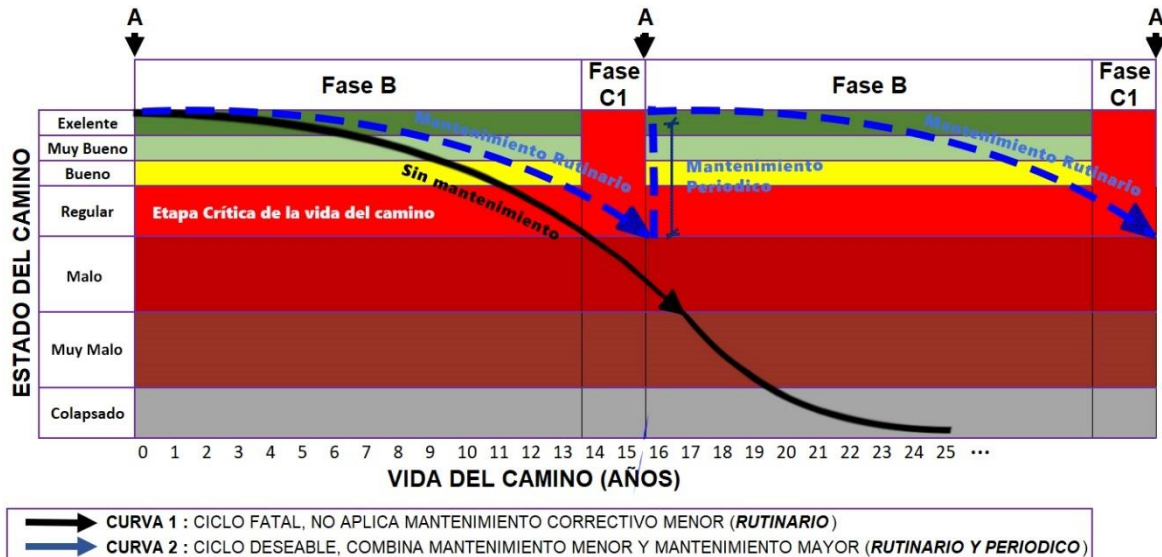
- ❖ La Curva 1, de color negro representa un ciclo fatal, donde no se aplica mantenimiento correctivo menor (rutinario). Al principio parece estable, pero luego cae abruptamente, cruzando por la "etapa crítica de la vida del camino" sin ningún tipo de intervención. El resultado es predecible: el pavimento colapsa antes de lo esperado. Este escenario suele implicar altos costos y menor durabilidad.

- ❖ La Curva 2, de color azul punteada muestra un ciclo deseable, donde se aplican acciones combinadas de mantenimiento menor y mayor (rutinario y periódico). ¿Qué ocurre aquí? El deterioro se ralentiza visiblemente. El pavimento se mantiene en condiciones aceptables durante más tiempo, superando incluso los 20 años antes de entrar a una fase crítica. Es un camino más largo, más económico a largo plazo y más eficiente para la gestión vial.

Esta figura 24 deja un mensaje muy claro: el mantenimiento oportuno no solo prolonga la vida del pavimento, también reduce el costo de la intervención superficial y/o estructural.

Figura 24

Comparación de curvas de deterioro del pavimento en ciclo de vida fatal y deseable



Nota. La figura compara las curvas de deterioro del pavimento rígido considerando ciclos de vida fatal y deseable según Solminihac et al., (2019).

c) Costo anual de mantenimiento vial

Curva del costo anual de mantenimiento frente a la evolución del PCI

La Figura 25 muestra esquemáticamente la degradación del pavimento a diferentes tiempos de vida y costos de mantenimiento. Sin embargo, este proceso debe ser evaluado a nivel municipal o local. Para compensar esta limitación se utilizarán valores unitarios aproximados según la Figura 25 y/o Tabla 7 (Gaspar, 2018).

La Figura nos muestra de forma clara y contundente cómo evoluciona el costo anual del mantenimiento de un pavimento rígido en relación con el estado del camino (PCI) y el tiempo de vida útil. Esta gráfica nos recuerda una verdad incómoda pero crucial: mientras más se posterga el mantenimiento, más caro se vuelve.

Al inicio, cuando el pavimento está en estado “Excelente” o “Muy Bueno”, los costos de conservación son bastante bajos alrededor de \$15/m² a \$25/m². Son los momentos ideales para hacer mantenimiento preventivo o rutinario, con inversiones mínimas pero efectivas.

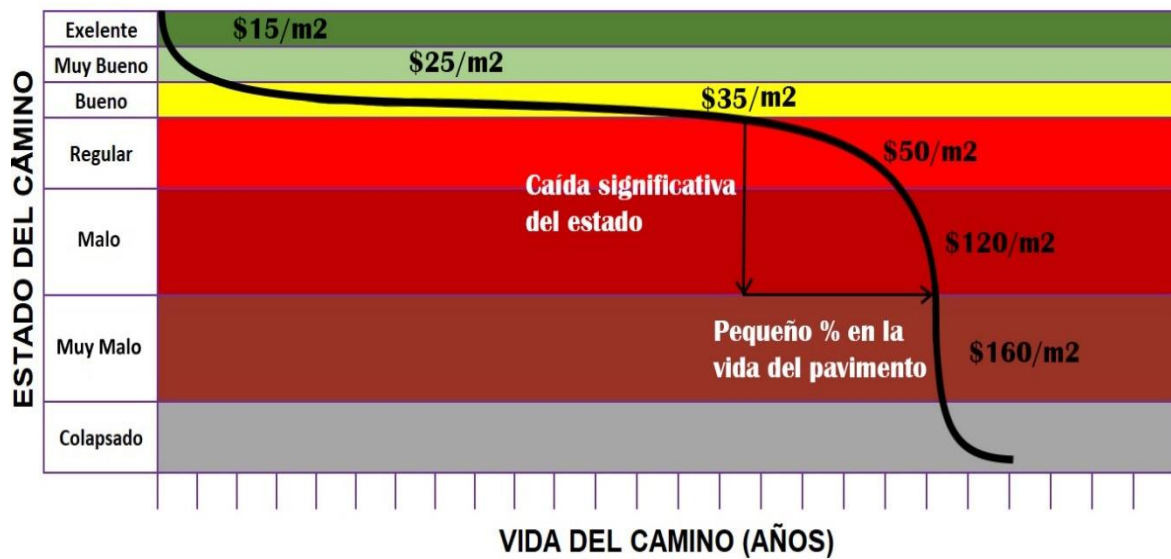
Sin embargo, a medida que el tiempo avanza y el pavimento entra en condiciones “Regulares” o “Malas”, la curva cambia drásticamente. Se produce una caída significativa en el estado del pavimento, mientras que los costos se disparan a \$50/m², \$120/m² e incluso \$160/m² cuando ya está en estado “Muy Malo” o cercano al colapso.

Lo más crítico de esta figura es que el tramo más costoso ocurre en un porcentaje muy pequeño de la vida útil total del pavimento. Es decir, si no se actúa con anticipación, el gasto (costo) se concentra en los últimos años y es muchísimo mayor.

Este comportamiento de la curva del costo anual subraya la importancia de aplicar mantenimiento oportuno.

Figura 25

Curva del costo anual de mantenimiento frente a la evolución del PCI



Nota. La figura representa la relación entre el costo anual de mantenimiento vial y la evolución del PCI (Fundora, 2019; Sotil, 2014).

Tabla 7

Costo de mantenimiento sugerido

ESTADO (PCI)	COSTO (\$/m ²)
A	15
B	25
C	35
D	50
E	120
F	160

Nota. La tabla muestra los costos sugeridos de mantenimiento vial según el estado del pavimento rígido y el valor PCI según Sotil (2014).

Cálculo del costo anual de mantenimiento según PCI

“Esto incluye aplicaciones basadas en ratios de deterioro progresivo para predecir el deterioro de las unidades de muestreo analizadas. Para ello se evaluarán dos modelos” (Gaspar, 2018, p.71).

❖ Modelo sin intervención vial

Suponiendo que los municipios individuales no realicen ninguna actividad de mantenimiento o protección vial en su red por insuficiencia presupuestaria, falta de toma de decisiones o interés en este espacio, los pavimentos se irán deteriorando paulatinamente (Gaspar, 2018, p. 71).

En la Tabla 8, se muestra los ratios de deterioro o también llamado porcentaje de referencia del nivel de deterioro para predecir las futuras condiciones del pavimento y evaluar el deterioro futuro (Gaspar, 2018). Es necesario resaltar que los ratios de deterioro es para predecir el estado de las carreteras futuras puesto que se necesita información, informes o datos sobre el estado de las carreteras, que no están disponibles en los municipios y/o gobiernos locales, consultoras, agencias de carreteras.

En tanto, se deben ajustar los ratios de deterioro para que el sistema pueda predecir mejor las condiciones del pavimento (Gaspar, 2018). Tenga en cuenta que este ajuste de ratios de deterioro no es el tema de esta tesis.

La tabla 8 muestra cómo se proyecta que evolucione el estado del pavimento con el tiempo, según su condición actual. Estos "ratios de deterioro" indican la probabilidad de que una vía en cierta condición pase a otra peor en el futuro, expresada en porcentaje.

❖ Condición A (óptima):

- Se espera que el 90 % de los pavimentos permanezca en A.
- Un 10 % pasará a la condición B, lo que sugiere un deterioro leve en una pequeña porción.

❖ Condición B:

- El 80 % se mantendrá en B.
- El 20 % deteriorará a C, lo cual indica una mayor tendencia al desgaste si no se interviene.

❖ Condición C:

- Solo el 50 % se mantendría en ese estado.
- El otro 50 % pasaría a D, lo que implica un deterioro más acelerado.

❖ Condición D:

- Un 70 % sigue en D.
- Un 30 % ya estaría en camino hacia la condición E, lo que refleja un desgaste importante.

❖ Condición E (crítica):

- El 80 % permanece en E, mientras que el 20 % avanza al peor estado (F), lo que evidencia un pavimento muy vulnerable.

❖ Condición F (fallo estructural):

- El 100 % se mantiene en F, indicando que ya no hay posibilidad de recuperación sin una intervención mayor o reconstrucción.

Tabla 8*Ratios de deterioro referenciales*

ACTUAL CONDICIÓN	FUTURO	
	CONDICIÓN	PORCENTAJE
A	A	90.00%
	B	10.00%
B	B	80.00%
	C	20.00%
C	C	50.00%
	D	50.00%
D	D	70.00%
	E	30.00%
E	E	80.00%
	F	20.00%
F	F	100.00%

Nota. La tabla presenta los ratios porcentuales de deterioro referencial del pavimento rígido en función de su condición actual según Sotil (2014).

En la Tabla 9 se muestra el horizonte de evaluación proporcionado por el sistema de Invierte Peru (Gaspar, 2018), la cual presenta indicadores del periodo de beneficio, de manera que para carreteras pavimentadas ya sean flexibles o rígidas, deben evaluarse durante un período de 20 años.

Tabla 9*Horizonte de Evaluación a considerar según el sistema Invierte Perú*

TIPO DE PROYECTO DE INVERSIÓN PÚBLICA (PIP)	PERIODO DE BENEFICIOS
Carreteras con tratamiento superficial	15 años
Carreteras a nivel de afirmado y sin afirmar	10 años
Carreteras a nivel de pavimentos con solución básica	10 años
Carreteras pavimentadas (flexible y rígido)	20 años
Puentes aislados	20 años

Nota. La tabla muestra los periodos de evaluación recomendados para distintos proyectos de inversión pública según el sistema Invierte Perú (2024).

Luego de evaluar el estado de la vía, se calcula en dólares con base en los costos de mantenimiento según la Tabla 7, donde el monto obtenido es la inversión requerida para restaurar completamente el deterioro del pavimento, llamado costo anual de mantenimiento (CAM).

Ecuación 5.

Cálculo del costo Anual de Mantenimiento. ASTM D6433-03 (2020).

$$CAM = (\%i) \times (A \text{ total}) \times (Cmnto)$$

Donde:

CAM = Costo anual de mantenimiento.

%i = Porcentaje de distribución por nivel de condición.

A total = Área total del tramo en análisis.

Cmnto = Costo de mantenimiento por nivel de condición.

❖ **Modelo con intervención vial**

Este suceso evalúa la circunstancia el cual se emplea acciones correctivas a pavimentos en condición "F" (PCI<25), que comprende pavimentos muy malos y colapsados. Según Gaspar (2018), "las acciones se expresan como un porcentaje de los costos anuales de mantenimiento conseguido en la evaluación del primer año del primer modelo sin intervención vial" (p. 72). Este tipo de porcentaje se utiliza anualmente y de forma sincronizada con el deterioro del pavimento.

También vale la pena señalar que el porcentaje asignado anualmente se puede cambiar para lograr mejores resultados en función de los recursos financieros del municipio (Gaspar, 2018).

3.3 Definición de términos

❖ Metodología del PCI

La metodología PCI es un procedimiento estandarizado por la ASTM D6433-03 que contiene información confiable e instrucciones con detalles específicos para permitir una evaluación más precisa, verdadera y apropiada del pavimento para determinar su condición del pavimento a través de observaciones de campo. Por otro lado, es fácil de implementar y no requiere de equipamiento especial (Gutiérrez, 2018).

La metodología conocida como PCI, que se traduce a Pavement Condition Index en inglés, se caracteriza por ser un enfoque técnico y sistemático diseñado específicamente para llevar a cabo una evaluación exhaustiva del estado superficial de los pavimentos. Este proceso se realiza a través de la identificación cuidadosa, la cuantificación precisa y la clasificación detallada de los diversos tipos de deterioro que pueden estar presentes en la superficie del pavimento. Este procedimiento, que está regulado por la norma ASTM D6433-03, establece de manera precisa y detallada criterios específicos que son utilizados para evaluar la gravedad y la magnitud de los daños presentes. De esta manera, se asegura que los resultados obtenidos sean objetivos, consistentes y que puedan ser comparados de forma efectiva entre diferentes situaciones.

La aplicación se fundamenta de manera primordial en la ejecución de inspecciones visuales que son llevadas a cabo directamente en el campo, lo que a su vez simplifica el proceso de recopilación de datos que son considerados como altamente confiables. Asimismo, el Plan de Conservación Integral (PCI) desempeña un papel esencial en el proceso de toma de decisiones relacionado con la gestión y conservación de las vías, ya que permite optimizar la priorización de las intervenciones necesarias para el mantenimiento adecuado de esta infraestructura.

❖ **Evaluación del estado superficial**

El propósito de la evaluación del pavimento es calificar la condición superficial del pavimento para identificar defectos o deficiencias del pavimento y brindar soluciones de mantenimiento y optimizar los costos de mantenimiento, ahorrando así grandes costos (Fundora, 2019).

La evaluación del estado superficial del pavimento representa un proceso técnico esencial que tiene como objetivo primordial el análisis y la determinación del nivel de servicio así como la funcionalidad de la vía de tránsito. Este procedimiento es crucial para comprender cómo se encuentra el pavimento y qué condiciones presenta para su uso adecuado. A través de la realización de esta evaluación, se lleva a cabo una identificación metódica y detallada de los defectos que son observables a simple vista. Estos defectos incluyen, entre otros, fisuras, desprendimientos, deformaciones y desgastes. Todos estos problemas tienen un impacto negativo en el desempeño estructural de la infraestructura y, además, representan un riesgo para la seguridad de los usuarios durante el tránsito.

De igual manera, esta herramienta proporciona la posibilidad de evaluar el nivel de desgaste que ha sufrido el pavimento a lo largo del tiempo, lo que a su vez facilita la identificación y selección de estrategias de mantenimiento que sean tanto oportunas como eficaces. De esta manera, la evaluación desempeña un papel fundamental en la mejora y optimización de la distribución de los recursos financieros disponibles, al mismo tiempo que ayuda a prevenir problemas más serios que podrían surgir en el futuro y a extender la duración de la vida útil de la infraestructura destinada a las vías de transporte.

❖ Deterioro de pavimentos

En general, el deterioro del pavimento se entenderá como una serie de manifestaciones en la superficie del pavimento que hacen que el movimiento de los vehículos sea menos seguro y cómodo y resultan en mayores costos operativos (Solminihaç, 2005).

El deterioro de los pavimentos puede ser descrito como un conjunto de daños que se desarrollan de manera gradual a lo largo del tiempo en la superficie de las calles y caminos. Este proceso de deterioro se origina a causa de una variedad de factores, que incluyen el peso y la frecuencia del tránsito vehicular que circula sobre ellos, las diversas condiciones climáticas a las que están expuestos, la calidad y resistencia de los materiales utilizados en su construcción, así como la ausencia de un mantenimiento preventivo y oportuno que permitiría prolongar su vida útil y funcionalidad. Las manifestaciones que se presentan en este contexto abarcan una serie de problemas tales como la aparición de fisuras, la formación de baches, los desprendimientos, las deformaciones y la pérdida de la textura superficial. Todos estos aspectos tienen como consecuencia una disminución significativa tanto en la capacidad funcional como estructural de la vía en cuestión.

Como resultado de esta situación, se ve comprometida no solo la seguridad en las vías, sino también el nivel de confort que experimentan los usuarios, así como la eficacia del sistema de transporte en general. Por otra parte, el deterioro progresivo de las carreteras y superficies pavimentadas tiende a aumentar considerablemente los costos asociados tanto con la operación de los vehículos como con el mantenimiento de dichas estructuras. Esto subraya la importancia de implementar intervenciones técnicas adecuadas y eficaces que sean necesarias para asegurar la preservación de la vida útil del pavimento a lo largo del tiempo.

❖ **Ratio**

Se utiliza como sinónimo de razón (proporción), en el sentido del cociente de los números o de cantidades comparables (Gutiérrez, 2018). El término "ratio" se utiliza para describir y expresar de manera precisa la relación que existe entre dos magnitudes que son comparables entre sí. Esta expresión permite establecer una proporción que es no solo clara sino también cuantificable, facilitando así el entendimiento de cómo se relacionan estas dos variables en el contexto que se esté analizando. Desde el punto de vista matemático, se describe como el resultado que se obtiene al realizar la operación de división entre una cantidad y otra cantidad, lo cual simplifica y ayuda en el proceso de llevar a cabo un análisis comparativo de diferentes variables que se encuentran dentro de un mismo contexto o situación.

En el ámbito de los estudios técnicos y científicos, el ratio se presenta como una herramienta sumamente esencial que permite no solo interpretar de manera más efectiva los resultados obtenidos, sino también evaluar con precisión los rendimientos alcanzados y establecer indicadores claros que reflejen el desempeño general del sujeto de análisis. La utilización de esta herramienta resulta en una simplificación de información que de otro modo podría considerarse compleja, lo que a su vez facilita el proceso de tomar decisiones que son tanto objetivas como bien fundamentadas. De igual manera, este ratio juega un papel fundamental en la estandarización de las mediciones, lo que permite que se puedan realizar comparaciones de manera consistente entre diferentes escenarios, períodos de tiempo o sistemas que han sido analizados. Esta estandarización es esencial para obtener resultados comparables y fiables en diversos contextos.

❖ **PIP**

Los proyectos de inversión pública son intervenciones temporales para implementar actividades económicas o sociales que son financiadas total o parcialmente con fondos

públicos. Por ejemplo, construcción de centros educativos, puertos, aeropuertos, hospitales, polideportivos, comisarías, proyectos de represas, etc (Fundora, 2019). Los Proyectos de Inversión Pública, comúnmente abreviados como PIP, son concebidos como herramientas fundamentales para la planificación y la gestión en diversas áreas de desarrollo. Su principal objetivo es crear y promover beneficios tanto sociales como económicos para la población. Esto se logra mediante un manejo eficaz y responsable de los recursos que el Estado pone a disposición, asegurando así que estos recursos se utilicen de la mejor manera posible para el bienestar de la comunidad. Las intervenciones que se están llevando a cabo poseen un carácter transitorio, es decir, no son permanentes, y se realizan con la finalidad de establecer, perfeccionar o ampliar la oferta de bienes y servicios que son de carácter público.

Los Programas de Inversión Pública, también conocidos como PIP, tienen como objetivo principal abordar y satisfacer las necesidades más urgentes y fundamentales de la población, tales como el acceso a una educación de calidad, la provisión de servicios de salud adecuada, la mejora del sistema de transporte, el incremento de la seguridad pública y el fortalecimiento de las infraestructuras de saneamiento. Estas acciones no solo buscan resolver problemas inmediatos, sino que también contribuyen de manera significativa al desarrollo sostenible de la sociedad y a la disminución de las disparidades sociales existentes. De igual manera, tanto la elaboración como la implementación de este proyecto exigen la realización de exhaustivos estudios en los ámbitos técnico, económico y social, con el fin de asegurar no solo su viabilidad, sino también su rentabilidad en términos sociales. Además, es crucial que se encuentre en consonancia con las políticas públicas vigentes y los planes de desarrollo tanto a nivel nacional como local.

❖ **Clasificación de fallas en pavimento rígido según su incidencia en las losas**

En el Anexo 10 se presenta la tabla de clasificación de fallas en pavimento rígido, según su incidencia en las losas.

➤ **Fallas estructurales:**

Comprenden daños severos que comprometen la resistencia y estabilidad del pavimento. Ejemplos: grietas longitudinales, grietas en bloque, hundimiento, desnivel carril/berma (Gutiérrez, 2018). Las fallas que se presentan en la estructura de pavimentos, las cuales pueden considerarse como problemas o deterioros de una severidad notable, tienen un impacto directo y significativo en la capacidad de soporte y en el comportamiento mecánico de la infraestructura vial, afectando así su funcionalidad y seguridad. Las fallas que estamos observando se generan, en su mayoría, debido al paso constante de vehículos que transportan cargas especialmente pesadas, así como a problemas relacionados con deficiencias en el diseño estructural de las infraestructuras.

También juegan un papel importante la baja calidad de los materiales utilizados en su construcción o la falta de una compactación adecuada del terreno. Entre las diversas manifestaciones que suelen observarse con mayor frecuencia en esta materia, se destacan las grietas que aparecen de manera longitudinal, así como aquellas que se presentan en forma de bloques. Además, también son notorios los hundimientos que pueden ocurrir y los desniveles que se generan entre el carril y la berma adyacente. Este tipo de daños en las infraestructuras viales tiene un impacto considerable en la seguridad y el confort de los usuarios mientras transitan, lo que a menudo demanda la realización de trabajos de mantenimiento correctivo o de rehabilitación estructural. Estas intervenciones son esenciales para reestablecer la funcionalidad del pavimento y, además, para prolongar su vida útil, asegurando así un tránsito más seguro y agradable para todos.

➤ **Fallas superficiales:**

Afectan la capa externa de la losa, deteriorando su apariencia y disminuyendo el confort de uso que experimentan los usuarios de los vehículos, sin comprometer directamente su estructura. Ejemplos: pulimento de superficie, descamación, desintegración por popouts

(Fundora, 2019). Las imperfecciones visibles en la superficie del pavimento son daños que aparecen en la capa externa de las losas. Estos daños están fundamentalmente ligados a la degradación gradual producida por el paso constante de vehículos, la influencia del clima en las condiciones del material y la calidad del tratamiento aplicado en la superficie del pavimento. Es importante señalar que estas irregularidades o fallas en el pavimento no tienen un impacto inmediato y directo en la capacidad estructural del mismo, es decir, no comprometen de forma urgente su integridad física.

Sin embargo, a pesar de esto, sí tienen un efecto negativo considerable en la comodidad de los usuarios que transitan por esa superficie, así como en su seguridad general al utilizarla. Entre las diversas manifestaciones que se presentan con mayor frecuencia, podemos identificar el pulido de la superficie, que se refiere al proceso de alisamiento y pérdida de textura; la descamación, que consiste en la formación de capas delgadas que se desprenden del material; y la desintegración provocada por los popouts, que son pequeñas explosiones de la superficie que causan la ruptura del pavimento. Todas estas situaciones contribuyen significativamente a reducir la adherencia entre los neumáticos de los vehículos y la superficie pavimentada. A pesar de que frecuentemente se les considera como problemas de menor gravedad, es fundamental llevar a cabo un mantenimiento adecuado y oportuno para prevenir que estos inconvenientes se desarrollen y se conviertan en deterioros más serios y dañinos.

➤ **Fallas de junta:**

Asociadas al desgaste o separación de las uniones entre losas. Ejemplo: descascamiento de juntas (Solminihac, 2005). Las fallas que ocurren en las juntas de los pavimentos rígidos hacen referencia a los daños y desgastes que se manifiestan específicamente en las áreas donde se unen las losas de concreto. Estas juntas desempeñan un papel crucial, ya que están diseñadas para facilitar el movimiento causado tanto por las

variaciones de temperatura como por las cargas que ejercen los vehículos que transitan sobre ellos.

Generalmente, estas fallas tienden a surgir debido a una inadecuada calidad en el sellado, lo que permite la infiltración de agua, así como la acumulación de materiales finos, además de la repetición de cargas pesadas que afectan la estructura. El fenómeno conocido como descascaramiento de juntas se presenta con una alta frecuencia y se convierte en una de las manifestaciones más comunes que afectan negativamente la uniformidad de la superficie del pavimento. Este tipo particular de daño tiene el efecto de disminuir tanto el nivel de confort como la seguridad durante la circulación de vehículos. Además, si no se realiza una atención adecuada y oportuna, existe el riesgo de que se facilite la entrada de agentes agresivos al interior de la estructura, lo cual podría acelerar el proceso de deterioro estructural de la losa de manera considerable.

➤ **Fallas por reparación o servicio público:**

Derivan de intervenciones o parches mal ejecutados tras obras o mantenimientos. Ejemplos: parches grandes o pequeños deteriorados (Gutiérrez, 2018). Las fallas que se presentan debido a labores de reparación o a la ejecución de servicios públicos son aquellos deterioros que surgen como resultado de intervenciones anteriores llevadas a cabo en la superficie del pavimento. Estas intervenciones están, en su mayoría, relacionadas con actividades de mantenimiento, así como con la instalación o la reparación de servicios esenciales. Las fallas que se observan en estas situaciones ocurren cuando los parches utilizados no satisfacen los criterios técnicos necesarios en términos de diseño, selección de materiales o el proceso de compactación.

Esto, a su vez, da lugar a la aparición de variaciones en los niveles del suelo, así como a la formación de fisuras y al desprendimiento de algunas partes. Los parches, ya sean

grandes o pequeños, que se encuentran en un estado deteriorado tienen un impacto negativo en la uniformidad de la superficie del pavimento, así como en el confort de las personas que lo transitan. Además, este tipo de deterioro contribuye a reducir de manera significativa la vida útil del pavimento en cuestión. De igual manera, estas deficiencias en la estructura contribuyen a que el agua se infiltre más fácilmente, lo cual a su vez acelera considerablemente el proceso de deterioro de la misma. Esto hace que resulte absolutamente necesario llevar a cabo un control exhaustivo y riguroso durante la ejecución de cualquier tipo de reparaciones, con el fin de asegurar tanto la durabilidad a largo plazo como la funcionalidad efectiva de la vía.

❖ **Grieta longitudinal**

Una grieta longitudinal en pavimento rígido es una fisura que se desarrolla paralela al eje de la vía dentro de la losa de concreto, causada generalmente por deficiencias en el diseño/ejecución de la junta longitudinal, retracción y gradientes térmicos (alabeo), insuficiente espesor o soporte de la subrasante, y repetición de cargas. Puede iniciarse por esfuerzos de tracción que superan la resistencia del concreto o por reflexión de discontinuidades internas, y su progresión facilita la infiltración de agua, el bombeo, el escalonamiento y la pérdida de capacidad estructural (Vázquez, 2002).

Además, se considera uno de los tipos de grietas más valorados, ya que se forma en una dirección que es paralela al eje de la vía férrea. Normalmente, esta grieta se encuentra a lo largo de las juntas de las baldosas de la vía y también se desarrolla entre las líneas donde las ruedas de los trenes hacen contacto. Entre los diversos inconvenientes más significativos que pueden surgir a raíz de la aparición de este tipo de fisuras en la superficie, destacan la posibilidad de que el agua pueda infiltrarse a través de ellas, así como la entrada de materiales finos que pueden ser arrastrados por el agua. Estas circunstancias no solo contribuyen a un deterioro acelerado y progresivo del pavimento, sino que también plantean

un grave riesgo para la integridad estructural de la superficie pavimentada. La gravedad asociada a este tipo específico de fisura puede ser clasificada en tres categorías diferentes: leve, moderada o severa. Esta clasificación se realiza tomando en cuenta varios criterios, como el ancho, la longitud y el grado de desintegración de la fisura. Los diferentes tipos de grietas que se pueden encontrar son un aspecto crucial que influye en las condiciones necesarias para elegir el tipo adecuado de mantenimiento que se debe aplicar a las fisuras.

❖ **Grieta transversal y/o diagonal**

Las grietas que se forman de manera transversal y/o diagonal ocurren casi en una posición perpendicular con respecto a la dirección del eje del pavimento. Alternativamente, estas grietas pueden aparecer en un ángulo oblicuo respecto a dicho eje, lo que resulta en la división de la losa en dos o tres secciones distintas. La grieta que puede ser considerada transversal y/o diagonal se refiere a un tipo específico de deterioro que se presenta a través de la aparición de fisuras que atraviesan la losa de concreto. Estas fisuras pueden formarse de diversas maneras: pueden ser perpendiculares al eje de la vía, dispuestas de manera transversal, o incluso pueden aparecer en un ángulo oblicuo, lo que indica distintos patrones de daño en la superficie de la losa. Es posible que el origen de los primeros problemas se deba a una serie de factores, entre los que se incluyen las variaciones abruptas de la temperatura, los movimientos de tracción que afectan a los concretos que se encuentran incrustados en la vía, así como también a las deficiencias que pueden haber surgido en el diseño o a una distribución inadecuada de las juntas durante el proceso de construcción.

La manifestación de las líneas transversales podría interpretarse como una consecuencia de la incapacidad del pavimento para acomodar adecuadamente los movimientos térmicos. Asimismo, las formaciones diagonales podrían estar relacionadas con las deformaciones de esfuerzo que surgen debido a un comportamiento estructural deficiente. De todas formas, una vez que ocurre el deterioro en la estructura, el desarrollo

posterior de los mismos elementos se convierte en una vía de ingreso no solo de humedad, sino también de diversos materiales extraños. Esto debilita aún más la losa afectada y provoca que se activen los desencadenantes de los métodos previamente mencionados, como el bombeo ineficaz o el desprendimiento de bordes que puede resultar perjudicial. Los aspectos más importantes que se deben considerar al clasificar la gravedad de este fenómeno incluyen su ancho, el grado de desplazamiento que presenta, así como el nivel de deterioro que ha sufrido el material que lo rodea.

❖ **Grieta de esquina**

Una grieta de esquina en pavimento rígido es una fisura que nace en una esquina de la losa y se propaga en diagonal hacia el interior, delimitando un fragmento triangular próximo a los bordes y, por lo general, de espesor completo. Se produce por altas tensiones en la esquina cuando la rueda carga muy cerca del borde, combinadas con pérdida de soporte (bombeo/erosión de la base, drenaje deficiente), alabeo térmico y retracción; también la favorecen deficiente transferencia de carga o juntas mal ejecutadas (Vázquez, 2002).

La expresión grieta de esquina se refiere específicamente a un tipo de fisura que se origina en la esquina de una losa, la cual se propaga a lo largo de un área que es equivalente o inferior a la mitad de la longitud de sus lados, medida desde el mismo punto de esa esquina (Solminihaç, 2021). Esta grieta se extiende a través de la losa, atravesando completamente su espesor de manera perpendicular. La grieta que se forma en las esquinas de los pavimentos es un tipo específico de deterioro que se manifiesta en las superficies rígidas de estos. Este fenómeno ocurre cuando se desarrollan fisuras que impactan la estructura del contorno de una de las losas, las cuales están definidas y separadas por la junta longitudinal y la junta transversal. Las grietas que se observan en la estructura tienen su origen en la aplicación de esfuerzos concentrados, los cuales son causados por la carga repetitiva que actúa sobre los bordes de la losa. En otras palabras, estas grietas se forman cuando la losa

carece de un soporte adecuado en las esquinas, o en situaciones donde el suelo subyacente ha experimentado un asentamiento o desprendimiento, lo que resulta en la creación de agujeros en la losa.

Estas grietas que observamos en la superficie pueden indicar la presencia de un problema serio en la estructura, y es importante mencionar que, si no se manejan adecuadamente y se les presta la atención necesaria, es muy probable que con el tiempo se agranden aún más. Las tres características más relevantes y esenciales que deben ser tomadas en cuenta para realizar una adecuada categorización del deterioro que presentan las grietas en las esquinas son, en primer lugar, el tamaño de la grieta misma, en segundo lugar, tanto las dimensiones como el desplazamiento de los fragmentos o astillas que se hayan desprendido, y finalmente, la existencia de material suelto que pueda interferir en la evaluación del daño. Estos tres factores son fundamentales y juegan un papel crucial para determinar la intervención que se debe llevar a cabo. En otras palabras, es importante evaluar si el deterioro observado justifica la implementación de un mantenimiento correctivo, o si, por el contrario, es necesario proceder con un mantenimiento orientado a la rehabilitación estructural de la instalación.

❖ **Grieta de durabilidad**

La grieta de durabilidad se presenta como un conjunto de múltiples grietas que son paralelas entre sí, organizadas de tal manera que se asemejan a una malla. Estas grietas suelen formarse en las proximidades de una grieta principal o de una unión, y su aparición indica posibles problemas en la estructura. Es bastante habitual que en las áreas mencionadas, como resultado de la elevada saturación del concreto, se pueda notar una formación de un material de color oscuro que se agrupa alrededor de las fisuras y grietas, lo cual es una clara señal de que existe un problema relacionado con la durabilidad del material (Solminihaç, 2021). Las grietas que corresponden a la categoría de durabilidad tipo D

representan una forma específica de deterioro que se puede observar en las losas que conforman el pavimento rígido. Este tipo de deterioro está profundamente afectado por diversos factores, entre los cuales destacan tanto la calidad del concreto utilizado en la construcción como también las rigurosas condiciones ambientales que pueden presentarse en el entorno donde se encuentra dicho pavimento.

Las grietas y deterioros que se presentan en el concreto son consecuencia de una serie de factores que incluyen la reacción entre los álcalis y la sílice, ciclos repetidos de congelación y descongelación, una consolidación inadecuada del concreto, así como el uso de agregados de baja calidad. Estos factores contribuyen a la descomposición gradual de la estructura, especialmente en las áreas adyacentes a los bordes de la losa, y son más evidentes alrededor de las juntas transversales que se encuentran en el concreto. A pesar de que se trata de un error que parece ser superficial y no estructural, si no se toma en cuenta y se resuelve adecuadamente, existe la posibilidad de que el agua, junto con los materiales finos, logre infiltrarse en el interior de la losa. Este proceso de filtración, de no ser corregido, puede provocar un debilitamiento gradual de la losa a lo largo del tiempo. Por consiguiente, es de suma importancia que se realice una identificación oportuna de cualquier problema, así como que se lleven a cabo medidas de enmascaramiento mediante el sellado adecuado o el reemplazo completo de toda la sección que se ha visto afectada. Estas acciones son esenciales para extender la durabilidad de la losa y, al mismo tiempo, prevenir que el daño progrese hacia niveles más severos.

❖ **Grieta en bloque**

Las grietas que aparecen en bloques son un fenómeno que se manifiesta como el fracturamiento de una losa, adoptando una forma de malla amplia. Este proceso implica la mezcla de diferentes tipos de grietas, tales como transversales, diagonales y longitudinales, lo que resulta en la división de la losa en cuatro o más fragmentos o pedazos, tal como se

describe en el estudio de Solminihac realizado en el año 2021. La grieta en bloque representa una forma típica y frecuente de daño que ocurre por fisuración en la losa del pavimento, la cual se manifiesta visualmente a través de un patrón característico de fisuras que se cruzan entre sí. Este fenómeno da lugar a la división de la superficie del pavimento en áreas que adoptan formas que son casi rectangulares o poligonales, creando una apariencia notable en el material de la construcción. En la mayoría de los casos, el deterioro que se observa puede ser atribuido a varias razones, entre las cuales se incluyen las contracciones térmicas que ocurren de manera repetida, la retracción del concreto, el proceso de envejecimiento de los materiales utilizados, o incluso la pérdida de cohesión, la cual puede ser provocada por el uso de materiales de baja calidad.

Además, una deficiente calidad en el diseño o en la ejecución de la construcción del pavimento también puede contribuir significativamente a este problema. Conforme esta fisura se extiende y se entrelaza con otras, poco a poco comienza a debilitar la solidez y la integridad del concreto. Este proceso da lugar a la creación de huecos que permiten la infiltración de agua, así como otros tipos de daños que, a su vez, aceleran el deterioro y la descomposición estructural del material de concreto. La manera en que se distribuye la grieta en el bloque se establece tomando en consideración diversos factores, tales como las dimensiones específicas del bloque en cuestión, así como el ancho de la fisura presente y la cantidad de material que se desprende en relación con estas características. Bajo ciertas condiciones específicas, puede ser necesario implementar un tratamiento correctivo como parte de un esfuerzo por evitar un deterioro funcional adicional del pavimento, asegurando así su durabilidad y efectividad a largo plazo.

❖ **Deterioro del sello de la junta**

El deterioro del sello de la junta hace referencia a una situación específica en la cual se permite la acumulación no deseada de suelo u otros materiales que no son compresibles

en las juntas. Además, esta situación también facilita el proceso de filtración de agua que puede penetrar a través de estas juntas, lo que puede provocar daños adicionales. Esta acumulación de material en el área de las losas impide que estas se desplacen de manera libre y sin restricciones, lo que puede traer consigo una serie de problemas adicionales, tales como el levantamiento o la deformación de la superficie del pavimento. Además, existe la posibilidad de que se produzca el desprendimiento del material que se encuentra en los bordes de las juntas, lo que podría complicar aún más la situación (Solminihac, 2021). El desgaste y deterioro del sello que se encuentra en la junta es un tipo específico de fallo superficial que puede ocurrir en el material sellante que ha sido aplicado a las juntas de un pavimento de tipo rígido. Este tipo de deterioro afecta negativamente su funcionalidad, lo que puede llevar a la pérdida de su eficacia debido a diversas razones, tales como el endurecimiento del material, el desprendimiento del mismo, la aparición de desgarros, una disminución en la adherencia o incluso la extrusión del sellante.

La aparición de este tipo de defecto puede ser atribuida a una variedad de causas diferentes, entre las cuales se incluyen, pero no se limitan a, la influencia del tránsito constante de vehículos, la exposición prolongada a diversas condiciones climáticas, el proceso de envejecimiento natural del material plástico utilizado, así como una aplicación inadecuada o incorrecta durante la fase de construcción. Considerando que la función principal de este sistema es evitar que la humedad y los materiales sólidos se introduzcan en las juntas del pavimento, es importante señalar que este tipo de deterioro tiene un impacto negativo en la durabilidad general del pavimento. Esto sucede porque, al permitir que el agua se filtre, se generan problemas adicionales como el bombeo, la formación de llanos y el desarrollo de fisuras adicionales que, a largo plazo, comprometen la integridad de la superficie. La gravedad de la situación se determina considerando el porcentaje de la junta que ha sido afectada, así como la cantidad de material que se ha perdido. Este análisis, a su vez, posibilita tomar una decisión informada sobre si es más apropiado proceder con la

reparación de la junta o si, en cambio, es más conveniente optar por reemplazarla completamente.

❖ **Descascaramiento de junta**

El fenómeno conocido como "descascamiento de junta" se refiere a un tipo de daño específico que impacta negativamente los bordes de la losa. Este tipo de ruptura se presenta cuando la distancia entre la losa afectada y la junta es de menos de 60 centímetros. En términos generales, esta fractura no se extiende verticalmente a través de toda la losa, sino que, por el contrario, atraviesa la junta en un ángulo. En numerosas ocasiones, este tipo específico de daño se encuentra asociado con la existencia de grietas adicionales que pueden complicar aún más la situación (Solminihac, 2021). Un segundo tipo de deterioro que se puede observar en las estructuras pavimentadas es lo que se conoce como descascamiento de junta. Este tipo de daño se manifiesta a través de la pérdida y el desprendimiento de pequeñas secciones de concreto que ocurren a lo largo de las juntas del pavimento rígido. Este fenómeno es especialmente notable en las áreas que se encuentran en los extremos de dichas juntas. Esta condición patológica se origina a partir de la interacción de múltiples factores. Entre ellos se incluyen, por ejemplo, los errores o defectos que pueden ocurrir durante el proceso de construcción, especialmente en lo que respecta a la adecuada compactación del concreto.

Además, el uso de materiales que no son apropiados o que no cumplen con los estándares necesarios también contribuye a este problema. La fatiga generada debido a cargas que se repiten con el tiempo es otro elemento a considerar, así como la influencia de agentes debilitantes que pueden afectar la estructura, tales como la presencia de agua y diversas sustancias químicas. Además de la reducción estética que implica para la superficie del pavimento, este fenómeno también disminuye la eficacia de los selladores en las fisuras y uniones, lo cual resulta en una infiltración más significativa de materiales. Esta situación, a

su vez, contribuye a un aumento en el bombeo de agua y acelera el desarrollo de nuevas fisuras en la estructura. La evaluación de la lesividad se realiza teniendo en cuenta tanto el área de material que se ha perdido como la longitud que ha sido afectada por el daño. En cuanto al tratamiento más comúnmente utilizado para abordar este tipo de problemas, se lleva a cabo mediante un proceso que incluye el escarificado de la superficie dañada y su posterior relleno con morteros epóxicos o con materiales diseñados específicamente para la reparación.

❖ **Grieta de retracción y descamación**

Las grietas de retracción y descamación son fenómenos que se manifiestan como pequeñas fisuras similares en grosor a un cabello, las cuales aparecen en la superficie del concreto fresco durante el proceso de fraguado y curado. Estas grietas suelen tener una longitud que generalmente no supera los 2 metros y, además, no se extienden por toda la superficie de la losa de concreto, lo que las hace características en este tipo de situaciones. La aparición de grietas por retracción y el fenómeno de descamación son tipos de deterioro que se manifiestan en las superficies de las losas de concreto, especialmente durante las fases iniciales de su uso. Estos problemas están relacionados con la rápida pérdida de humedad del material o con una curación del concreto que no ha sido realizada de manera adecuada. La grieta de retracción se presenta como un fenómeno que tiene lugar cuando el concreto experimenta una contracción debido a la pérdida de humedad que ocurre después del proceso de fraguado. Este proceso provoca la aparición de fisuras delgadas y de forma irregular en la superficie del material. La descamación es un proceso que implica el desprendimiento de múltiples capas delgadas que se encuentran en la superficie del concreto.

Este fenómeno puede afectar negativamente la durabilidad del pavimento, ya que al hacerlo se exponen los agregados que componen el material a diversas condiciones ambientales, lo que puede llevar a un deterioro aún mayor por la acción de los

elementos. Ambos tipos de deterioros que se pueden observar normalmente no comprometen la integridad estructural de la losa en las etapas iniciales de su deterioro; no obstante, es importante destacar que, a medida que estos deterioros avanzan, pueden hacer que la losa sea susceptible a daños causados por la exposición al agua, ya que disminuyen la eficacia de la barrera superficial que actúa como protección. La cantidad de deterioros y el tiempo en que estos se manifiestan pueden ser gestionados y controlados de manera efectiva a través de la aplicación de un tratamiento adecuado, la elección de materiales que sean altamente resistentes y la regulación cuidadosa de las condiciones ambientales que rodean el proceso de construcción.

❖ **Descascaramiento de esquina**

El fenómeno conocido como descascaramiento de esquina se refiere a la fractura o ruptura que ocurre en los bordes de las losas, específicamente en la zona situada dentro de un radio de aproximadamente 60 centímetros de una esquina. Este tipo de deterioro, que es bastante habitual, tiende a descender y eventualmente puede llegar a cruzar la junta en un ángulo determinado, como se menciona en el estudio de Solminihac realizado en el año 2021. El descascaramiento de esquina se refiere a un tipo específico de deterioro que ocurre en la superficie de un pavimento rígido, y que afecta particularmente a una o varias de las esquinas de la losa. Este fenómeno se manifiesta mediante la pérdida de pequeños fragmentos de concreto en estas áreas afectadas, aunque, a diferencia de otros tipos de daño, no llega a desarrollar una grieta completa que atraviese toda la losa de pavimento. Este tipo de daño, que a menudo se observa en estructuras, generalmente está vinculado a una inadecuada distribución de cargas que se repiten de manera constante, a un soporte que resulta ser insuficiente en las esquinas de la estructura, o también puede ser consecuencia de la infiltración de agua.

Este último factor es especialmente crítico, ya que la presencia de agua debilita el concreto, lo que a su vez facilita el desprendimiento del material y contribuye a un deterioro significativo de la integridad estructural. Aunque es posible que este tipo de daño no represente una amenaza significativa en un primer momento, el fenómeno del descascaramiento en las esquinas puede avanzar y dar lugar a problemas mucho más graves, como el desarrollo de grietas en las esquinas o, incluso, al descascaramiento total de toda la sección afectada. La gravedad de este tipo de daño se evalúa tomando en consideración varios factores, que incluyen las dimensiones del descascaramiento, la extensión de la superficie que ha sido afectada, así como cualquier daño que pueda estar relacionado. Esta evaluación es fundamental para una detección temprana, ya que permite realizar las correcciones necesarias antes de que el problema se propague y cause daños más extensos.

❖ **Pulimento de superficie**

El proceso de pulimento de la superficie se refiere al desgaste que se genera en ella, y este deterioro es ocasionado por las cargas constantes y repetidas que resultan del paso de vehículos. Los materiales granulares que se encuentran en la superficie del área se transforman en una textura lisa y suave, lo que provoca una disminución significativa en la capacidad de adherencia de los neumáticos de los vehículos en contacto con esa superficie. En relación con el tema del deterioro de la superficie, es importante mencionar que el pulimento de la superficie se presenta como un fenómeno significativo. Este fenómeno ocurre cuando la capa superior de un pavimento rígido experimenta una pérdida de su textura original, y esta alteración se debe principalmente al tránsito vehicular. En particular, el paso repetido de vehículos pesados es un factor que contribuye de manera notable a este proceso de desgaste, provocando que la superficie se torne más lisa y menos rugosa con el tiempo. En términos más específicos, el proceso de pulido se refiere a la acción de alisar de manera

gradual y continua la superficie del concreto, lo cual resulta en una significativa reducción de la fricción.

Esta disminución de la fricción, a su vez, incrementa considerablemente el riesgo de deslizamiento, y este peligro es aún más pronunciado en situaciones donde hay humedad presente. A pesar de que el proceso de pulimento del pavimento no implica una pérdida estructural significativa en la integridad de la superficie, representa una situación preocupante y potencialmente peligrosa en términos de seguridad vial. Esto se debe a que tal pulimento reduce la adherencia entre los neumáticos de los vehículos y la calzada, lo que puede incrementar el riesgo de accidentes. La razón detrás de su aparición podría estar relacionada con la utilización de agregados que no son lo suficientemente resistentes a la abrasión, o bien con la incorrecta combinación de los componentes del concreto durante el proceso de mezcla. La acción correctiva más frecuentemente empleada para llevar a cabo el pulido de una superficie consiste en la texturización de dicha superficie, la cual se puede realizar a través de una variedad de métodos, tales como el fresado o el ranurado. El objetivo de estas técnicas es restablecer condiciones de fricción apropiadas, así como también eliminar los riesgos asociados con el tránsito, garantizando así una circulación más segura.

❖ **Desintegración, agujeros (popouts)**

La desintegración con agujeros (popouts) en pavimento rígido es un deterioro superficial donde se desprenden pequeños conos o escamas de concreto, dejando hoyos circulares que exponen el árido. Ocurre cuando hay agregados poco durables, relación a/c alta, aire incluido insuficiente, curado deficiente o uso de sales descongelantes; el tránsito acelera la pérdida de mortero. Aunque suele ser superficial, reduce la textura y fricción, facilita la infiltración de agua y finos y disminuye el PCI (Vázquez, 2002).

La desintegración se refiere al proceso en el cual se producen agujeros o popouts, los cuales son pequeñas alteraciones en el pavimento. Este fenómeno da lugar a que pequeños fragmentos de la superficie del pavimento se separen, generando así pequeños vacíos o huecos en la estructura. La variación en las dimensiones se presenta con diámetros que oscilan entre 2.5 centímetros y 10.2 centímetros, así como un grosor que puede medir desde 1.3 centímetros hasta 5.1 centímetros. El tercer tipo de deterioro en la superficie que ha sido descrito anteriormente recibe el nombre de desintegración por agujeros. Sin embargo, en la lengua inglesa, este fenómeno es más comúnmente conocido como "popouts". Las desintegraciones causadas por agujeros se manifiestan como pequeñas cavidades que pueden ser circulares o tener formas irregulares, las cuales se encuentran en la superficie de pavimentos de tipo rígido. En general, estas imperfecciones en el pavimento suelen medir apenas unos pocos centímetros tanto en diámetro como en profundidad.

Este tipo específico de daño en la estructura de concreto se produce debido a la expansión o el desprendimiento de ciertos agregados que son considerados reactivos o que tienen una calidad inferior. Estos agregados forman parte de la mezcla que se utiliza para hacer el concreto, y su deterioro es causado por diversas condiciones, tales como la presencia y acción del agua, los ciclos repetidos de congelamiento y deshielo, o incluso por reacciones químicas que ocurren dentro del propio material. Un ejemplo de estas reacciones internas es la conocida reacción álcalisilíce, comúnmente abreviada como RAS. Aunque no influye en la funcionalidad ni en la integridad estructural del pavimento, sí provoca un deterioro en su aspecto visual, reduce la calidad de la textura en su superficie y puede acumular agua o suciedad, lo que a su vez puede facilitar la aparición de otros tipos de daños.

❖ **Blowup - bucklink (levantamiento – pandeo)**

El fenómeno conocido como "Blowup" o "bucklink" (también denominado levantamiento o pandeo) se manifiesta como una elevación repentina y notable de la

superficie del pavimento. Este deterioro tiende a surgir en las proximidades de una junta o grieta transversal, la cual carece del espacio adecuado para permitir la expansión natural de la losa de pavimento. En consecuencia, la presión acumulada provoca un levantamiento inesperado, lo que puede generar problemas en la integridad y la seguridad de la superficie vial. Como consecuencia de diversas condiciones climáticas, el concreto en esa área tiende a romperse o fracturarse, y es importante destacar que este fenómeno se presenta con mayor regularidad especialmente durante las temporadas de altas temperaturas, donde el calor extremo juega un papel crucial en el deterioro del material. El fenómeno conocido como Blowup o Buckling, que también puede ser referido como el levantamiento o pandeo del pavimento rígido, se manifiesta cuando una losa de concreto se deforma de manera súbita, dirigiéndose hacia arriba. Este tipo de deformación ocurre principalmente en aquellas secciones de la losa que se encuentran cercanas a juntas o grietas que están orientadas en dirección transversal.

Estas fisuras o juntas no permiten el espacio adecuado que se necesita para facilitar la expansión térmica del concreto, lo cual provoca el levantamiento indeseado de la losa. Este tipo de deterioro se manifiesta de manera mecánica, especialmente durante las épocas de calor intenso, en las cuales la expansión térmica que se acumula ejerce una presión notable a lo largo de los bordes de las tablas. Esta presión provoca a su vez la aparición de fisuras y desplazamientos en dirección vertical. El fenómeno conocido como el Blowup no solo tiene un impacto negativo en la seguridad y la comodidad de los pasajeros que utilizan las vías afectadas, sino que también puede llegar a tener consecuencias más graves y hasta llegar a invalidar el tránsito. Esto ocurre si el Blowup se manifiesta de manera tan severa que es necesario llevar a cabo un proceso de lavado del pavimento para reparar los daños ocasionados. Se puede categorizar en tres niveles distintos: bajo, medio y alto. En este caso, la clasificación alta sugiere la necesidad de llevar a cabo una intervención urgente y rápida con el objetivo de restablecer la capacidad de tránsito sobre la superficie del pavimento.

❖ **Escala**

La escala se refiere a la variación o desigualdad existente entre diferentes niveles, la cual se manifiesta a través de la reunión o junta de individuos o elementos. En cuanto a los niveles de severidad clasificados como L, se establece que la Grieta presenta un nivel de baja severidad cuando la diferencia en la elevación del terreno es de entre 3 milímetros y 1 centímetro. M: En caso de que la diferencia de altura o elevación se encuentre entre 1 cm y 1.9 cm. H: En el caso de que la variación en la altura sea superior a 1.9 centímetros. (Solminihac, 2021, p.54).

❖ **Desnivel carril – berma**

El desnivel que se presenta entre el carril y la berma se refiere a la diferencia de altura que existe como resultado de la erosión que ha afectado la berma o de un posible asentamiento del terreno, en comparación con el nivel del borde de la acera o pavimento. La existencia de una desigualdad en los diferentes niveles puede constituir un riesgo significativo para la seguridad general. Asimismo, este fenómeno puede ser provocado por un incremento en la cantidad de agua que se filtra. Un tipo adicional de deterioro que puede observarse en las carreteras es el desnivel existente entre el carril de circulación y la berma que lo acompaña. Esta situación se presenta en aquellos casos en los que, por diversas razones que pueden variar, la superficie de la calzada, que fue diseñada específicamente para el tránsito de vehículos, se encuentra a una altura notablemente superior en comparación con el borde o la berma de la vía que la rodea.

Los desniveles presentes en el terreno pueden surgir por una variedad de factores, que incluyen, entre otros, asentamientos diferenciales que ocurren por la compresión desigual del suelo, la erosión lateral provocada por el agua o el viento, una inadecuada compactación del terreno durante su preparación, así como la ausencia de un mantenimiento adecuado en las áreas adyacentes al pavimento. Este tipo de deterioro en la superficie de la carretera

representa un grave riesgo para la seguridad de los usuarios de la vía, dado que, bajo determinadas condiciones, tiene el potencial de provocar que los vehículos pierdan su estabilidad al realizar movimientos bruscos al entrar o salir de su carril. Esto es especialmente crítico durante situaciones de emergencia, donde la capacidad para maniobrar de forma controlada es fundamental. Asimismo, este tipo de deterioros promueve la acumulación de agua en la superficie, lo que a su vez agrava el daño estructural del pavimento y, como resultado, disminuye la durabilidad de la carretera.

❖ **Hundimiento (punzonamiento)**

El término "hundimiento", el cual también se conoce como "punzonamiento", hace referencia a la situación en la que una pequeña área específica de la superficie del pavimento se hunde. Este fenómeno a menudo se presenta junto con un agrietamiento significativo que se produce como resultado del asentamiento o el deslizamiento de las losas en la región afectada. Esta información fue destacada por Solminihac en el año 2021. El fenómeno conocido como hundimiento, que a menudo se refiere de manera técnica como punzonamiento, representa un tipo de deterioro que se evidencia de manera localizada. Este deterioro se manifiesta en la superficie del pavimento rígido mediante la aparición de pequeñas depresiones o hundimientos, que generalmente se encuentran directamente sobre las losas del pavimento. Este fenómeno ocurre cuando el peso de los vehículos que transitan sobre una superficie excede casi por completo la capacidad de carga que puede proporcionar el suelo subrasante.

Además, también puede ser causado por la pérdida de soporte en el terreno, la cual puede deberse a la presencia de vacíos o a asentamientos desiguales en el terreno que afectan su estabilidad. Este tipo específico de falla en la superficie de la ruta afecta negativamente las condiciones de transitabilidad, ya que las irregularidades que se presentan pueden inducir incomodidades en la experiencia de conducción y dar lugar a la formación de

charcos o espejos de agua. Además, en el caso de que los defectos sean especialmente pronunciados, existe el riesgo de que se produzcan daños graves en la estructura de la carretera. Es de suma importancia realizar una búsqueda exhaustiva de los lugares donde pueda aparecer tempranamente el problema, ya que esto permitirá erradicarlo de manera total y, al mismo tiempo, disminuir su gravedad.

❖ **Exudación y bombeo**

La exudación y el bombeo se refieren al proceso mediante el cual el material que se encuentra en la base de la losa se desplaza y sale a través de las juntas o grietas que existen en el pavimento. Este fenómeno ocurre cuando se produce una acumulación de presión en el subsuelo, lo que provoca que el material fluya hacia la superficie. Los fenómenos de exudación y bombeo se encuentran estrechamente relacionados con el deterioro observable en el pavimento rígido. Esto sugiere que podría haber fallas potenciales en la estructura del sistema vial, lo que podría comprometer su integridad y funcionalidad. La exudación se define por la notable presencia de un movimiento observable de materiales finos, junto con agua, que emerge en la superficie del pavimento. Este fenómeno ocurre a través de las juntas o las grietas que se encuentran en el pavimento, resultando en la formación de manchas que se ven húmedas o que tienen un brillo similar al del aceite. El fenómeno conocido como bombeo se presenta cuando, a medida que los vehículos circulan de manera continua y repetida sobre una superficie pavimentada, se genera una expulsión de una mezcla que consiste en agua y partículas finas provenientes del subsuelo.

Esta mezcla es eyectada en forma pulverizada desde las juntas o bordes de la losa de pavimento, lo que indica un deficiente nivel de soporte estructural en esa área específica. La exudación y el proceso de bombeo que se observan indican claramente que hay una cantidad significativa de humedad presente en la subrasante o en la losa de base de la estructura. Tanto ambos factores están directamente conectados con el deterioro que se

espera en el futuro de la losa, ya que este deterioro se manifiesta a través de un debilitamiento que ocurre de manera continua y gradual. Esto conlleva a una pérdida en la capacidad estructural de la losa, lo que puede originar asentamientos en el futuro y la posible formación de juntas. Debido a esta circunstancia, resulta fundamental llevar a cabo una detección y control de manera rápida y efectiva, ya que esto es crucial para evitar daños y deterioros que podrían ocasionar, en un futuro cercano, la necesidad de realizar mantenimientos costosos e inevitables.

❖ **Parche pequeño deteriorado (menor de 45 cm²)**

Un parche pequeño que presenta un estado de deterioro, el cual es de dimensiones menores a 45 centímetros cuadrados, se define como una sección específica donde el pavimento original ha sido removido y sustituido por un material de relleno adecuado. El pequeño parche que ha sufrido un deterioro significativo, caracterizado por tener un área que es menor a 45 centímetros cuadrados, representa un tipo específico de reparación localizada que ha ido deteriorándose progresivamente con el transcurrir del tiempo. Este tipo específico de reparaciones que no tienen éxito debido a una ejecución incorrecta, al uso de materiales de baja calidad o a la presencia de condiciones desfavorables en el entorno laboral pueden dar lugar a problemas como desprendimientos, fisuras o una disminución en la adherencia con la losa original.

Todo esto puede resultar en la creación de una superficie irregular, lo que a su vez causa inconvenientes que afectan tanto la comodidad como la seguridad de las personas que transitan por esa área. A pesar de que se trate de un deterioro de tamaño relativamente pequeño, su presencia no es aconsejable, ya que podría servir como un signo revelador de problemas estructurales más profundos que podrían estar ocurriendo o de fallas en trabajos de reparación que se realizaron anteriormente. Es de suma importancia llevar a cabo una identificación temprana del comportamiento observado, ya que esto permitirá planificar y

programar de manera adecuada acciones de intervención que busquen recuperarlo, antes de que su área afectada tenga la posibilidad de extenderse.

❖ **Parche grande deteriorado (mayor de 45 cm²)**

Un parche grande que se encuentra en un estado deteriorado, cuyo tamaño es superior a 45 centímetros cuadrados, se refiere a un área específica en la que el pavimento original ha sido removido y sustituido por un nuevo tipo de material. En situaciones donde se presenta un parche extenso que se encuentra en condiciones deterioradas, específicamente cuando el área afectada supera los 45 cm², dicha categorización indica que ha habido intentos previos de intervención que no han logrado cumplir con su propósito de manera efectiva. Esto se debe a la existencia de problemas como fisuras visibles, desprendimientos del material, pérdida significativa de la misma sustancia del parche o desniveles evidentes en comparación con el pavimento original. De esta manera, no se afecta únicamente la apariencia visual y la capacidad de uso de la superficie de la carretera, sino que también se pone en peligro la solidez y la estabilidad estructural de la zona que ha sido objeto de reparación.

Por otra parte, este problema da lugar a la infiltración de agua en el material y también a la posibilidad de que se presenten cargas dinámicas inapropiadas, todo esto como resultado de una distribución deficiente. En términos generales, se puede afirmar que los parches grandes que presentan un deterioro significativo suelen ser consecuencia de reparaciones que no se llevaron a cabo de manera adecuada, del uso de materiales que no son apropiados para la tarea en cuestión o de una preparación insuficiente de las superficies antes de realizar dichas reparaciones. Debido a esta circunstancia, es de suma importancia llevar a cabo la identificación y evaluación de estos parches, ya que esta labor es fundamental para poder desarrollar estrategias de rehabilitación que sean no solo más duraderas, sino también más efectivas en el largo plazo.

❖ **Cruce de vía férrea**

El cruce que se forma en una vía férrea se caracteriza por la presencia de irregularidades en el terreno, las cuales pueden manifestarse como elevaciones en forma de abultamientos o como hundimientos que se presentan en las cercanías de los rieles. Es importante destacar que las condiciones que presentan los cruces de vías férreas constituyen un aspecto especialmente crítico que debe ser considerado tanto en el diseño estructural como en el mantenimiento del pavimento. Esto se debe a que en estos puntos se genera una interacción significativa entre el tráfico de vehículos motorizados y el tráfico ferroviario, lo cual puede afectar el rendimiento y la durabilidad del pavimento. En este contexto, es común que se sometan las superficies del pavimento a fuerzas dinámicas de gran intensidad y a una vibración constante e incesante.

Esta situación puede resultar en un fenómeno de cristalización que ocurre de manera prematura, lo cual se manifiesta en una serie de problemas como la formación de fisuras, el asentamiento del material, la erosión de la superficie, la pérdida de componentes materiales o la creación de ondulaciones, también conocidas como olas, en la estructura del pavimento. Por otra parte, en el caso de que tanto el nivel como la inclinación no se encuentren en los parámetros adecuados, y si además no se cuenta con un sistema de drenaje que funcione correctamente, se genera un problema de acumulación de agua. Este vehículo, que tiene un peso considerablemente superior al standard, ejerce una presión excesiva sobre el pavimento y las estructuras circundantes, lo que provoca un deterioro acelerado y prematuro de dichas infraestructuras. Por esta razón, resulta de suma importancia asegurar que los cruces de ferrocarril se mantengan en óptimas condiciones y sean claramente señalizados, ya que esto facilitará una transición segura y fluida para todos los usuarios que dependen de ambos sistemas de tráfico, minimizando así cualquier riesgo de accidentes.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de Investigación

4.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación fue aplicada, porque se caracterizó por brindar soluciones a problemas con el objetivo de crear bienestar social. La investigación aplicada busca conocer para hacer, actuar, construir y modificar; le preocupa la aplicación inmediata sobre una realidad concreta. De acuerdo con Moisés (2018) la investigación aplicada es un tipo de estudio orientado a resolver problemas concretos en un contexto específico (una institución, un territorio, un proceso), trasladando teorías y metodología existentes a la generación de soluciones operativas. Su propósito principal no es ampliar el conocimiento teórico de manera abstracta, sino producir decisiones, procedimientos, lineamientos, prototipos o mejoras que puedan implementarse y evaluarse en la práctica. Se usaron formatos para explorar la condición del pavimento, proponer la intervención según el rango de PCI y estimar el costo anual de mantenimiento, de modo que los resultados se traduzcan en acciones preventivas, correctivas o de rehabilitación que mejoren seguridad, confort y eficiencia del gasto público.

4.1.2 Nivel de investigación

El actual estudio fue de nivel descriptivo, ya que midió y describió las principales características de los hechos o fenómenos superficiales de la vía evaluada. Según Moisés (2018) desde de este nivel los problemas se resuelven utilizando el enfoque cuantitativo y se caracteriza por medir el comportamiento de los valores de una variable en un grupo (elementos), espacio (lugar) y tiempos específicos. En esa línea, se midió y describió el estado del pavimento rígido mediante el PCI, se inventariaron los tipos de deterioro (grietas, descascaramientos, etc.) y su severidad (baja, media, alta), y se clasificaron los tramos en “bueno, regular o malo”. Asimismo, se resumieron indicadores vinculados al mantenimiento (tipo de intervención recomendada) y costo anual, reportando las frecuencias, los porcentajes y medidas de tendencia central para ofrecer un panorama fiel de la condición superficial.

4.1.3 Diseño de la investigación

El diseño de investigación fue no experimental (observacional) porque la información se recolectó sin manipular la variable independiente y se observa a la población y/o muestra en su entorno natural y en su realidad para luego describirlas, interpretarlas o predecirlas. Como afirma Moisés (2018) el diseño de investigación no experimental es aquel en el que el investigador observa los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, sin manipular deliberadamente variables ni asignar sujetos a tratamientos o condiciones. A la luz de esta definición, se justifica el carácter no experimental porque la investigación se limitó a observar y medir el estado del pavimento tal como se presenta en su entorno, sin manipular variables ni aplicar tratamientos.

4.2 Ámbito temporal y espacial

4.2.1 Temporal

Se inició en enero del 2024 y se concluyó en junio del 2025

4.2.2 Espacial

La investigación se realizó en la Av. Prado Alto del distrito de Abancay, departamento de Apurímac

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población del presente estudio estuvo conformada por toda la avenida Prado Alto, cuya longitud total es de 880 metros, constituido por un total de 374 losas de pavimento rígido, ubicadas a lo largo de la avenida Prado Alto del distrito de Abancay. Para Moisés (2018) la población, en investigación cuantitativa, es el conjunto total de unidades de análisis que comparten características relevantes con respecto al problema de estudio que puede estar

formada por personas, objetos, eventos, instituciones, tramos viales u otras entidades observables, delimitadas por criterios espaciales y temporales.

4.3.2 Muestra

Como lo expresa Moisés (2018) la muestra censal es una modalidad de selección en la que la “muestra” coincide con el 100 % de la población de interés; es decir, en lugar de extraer un subconjunto, se observa exhaustivamente cada unidad del marco poblacional. Se emplea cuando el tamaño de la población es reducido, cuando el acceso a todas las unidades es factible o cuando las decisiones exigen máxima precisión para cada elemento. Su principal ventaja es que elimina el error de muestreo y permite estimaciones exactas para el conjunto. La muestra está constituida por las 374 losas de pavimento rígido de la avenida Prado Alto del distrito de Abancay.

4.4 Instrumentos

4.4.1 Técnica de recolección de información

La técnica utilizada para la recolección de datos es mediante la observación de campo. De acuerdo con Moisés (2018) afirma que la observación de campo se realiza en los escenarios naturales donde acontecen los hechos o fenómenos investigados.

4.4.2 Instrumentos de recolección de información




Formato 01: *Formato de exploración de la condición para carreteras con pavimento rígido.*

El Formato 01 se utilizó para recopilar información, teniendo presente el diagrama del pavimento, los tipos de deterioro, niveles de severidad y los valores deducidos. Al mismo tiempo, el formato calcula el valor del PCI y la condición superficial del pavimento correspondiente al tramo de vía en estudio.

Formato 02: Formato de Propuesta de intervención vial según PCI

El Formato 02 se utilizó para recolectar información, teniendo presente el rango del PCI y la condición del pavimento. A la vez este formato determina la propuesta de intervención vial del tramo en estudio.

Formato 02: Formato de propuesta de intervención vial según PCI

FORMATO DE PROPUESTA DE INTERVENCIÓN VIAL SEGÚN PCI			
RANGO PCI	TIPO	COLOR	DESCRIPCIÓN
100 a 85	Excelente Mantenimiento Preventivo o mínimo		"Pavimento en condición muy buena; no requiere acciones de mantenimiento correctivo inmediatas; ocasionalmente pueden requerir acciones de mantenimiento mínimo preventivo" (Sotil ,2014, p17)
85 a 70	Muy Bueno Mantenimiento correctivo menor (Rutinario)		"Pavimento en condición buena, con fallas incipientes que requieren acciones de mantenimiento correctivas inmediatas y/o en el corto plazo" (Sotil ,2014, p17)
70 a 55	Bueno Mantenimiento correctivo mayor o intensivo (Periódico)		"Pavimento en condición dudosa o regular, con fallas evidentes que requieren acciones de mantenimiento correctivo frecuentes y probablemente una rehabilitación a mediano plazo: 1. Condición dudosa mantenimiento correctivo mayor. 2. Sellado de superficie. 3. Re - encarpado delgado (Sotil, 2014, p17)
55 a 40	Regular		No se propone actividad de mantenimiento alguna
40 a 25	Malo Rehabilitación menor (Refuerzo estructural)		"Pavimento en condición deficiente con fallas en proceso de generación, que requieren una rehabilitación en el corto plazo para evitar la generación de daños irreversibles" (Sotil ,2014, p17)
25 a 10	Muy Malo Rehabilitación mayor		"Pavimento en condición muy deficiente, con fallas severas generadas que requieren una rehabilitación mayor, probablemente con alto porcentaje de reconstrucción en el corto plazo" (Sotil ,2014, p17)
10 a 0	Colapsado Reconstrucción		
Fuente: Sotil.C.A. (2014).			
 Mag. Saul José Chipa Cahuana Ingeniero Civil CIP.Nº193001			 Mag. Charles Néstor Checya Alata Ingeniero Civil CIP.Nº195531
 Ing. Luis Huanca Astoquillca CIP. Nº 116399			Ing. Luis Huanca Astoquillca
Aprobado por el experto 1 Mag. Ing. Saul Jose Chipa Cahuana			Aprobado por el experto 2 Mag. Ing. Charles Néstor Checya Alata
Aprobado por el experto 3 Mag. Ing. Luis Huanca Astoquillca			Aprobado por el experto 3 Mag. Ing. Luis Huanca Astoquillca

Nota. El Formato 02 se utilizó para recolectar información, teniendo presente el rango del PCI y la condición del pavimento, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Formato 03: Formato de costo anual de mantenimiento vial según PCI con intervención.

El Formato 3 se utilizó para recolectar información, teniendo presente la distribución actual porcentual y ratios de deterioro referencial del estado del pavimento. Al mismo tiempo, este formato calcula el valor del costo anual de mantenimiento vial del tramo en estudio.

Formato 03: Formato de costo anual de mantenimiento vial según PCI con intervención

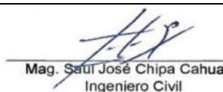


FORMATO DE COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO VIAL SEGÚN PCI CON INTERVENCIÓN										
		FECHA: _____								
		PROG.INICIAL: _____			PROG.FINAL: _____					
		INSPECCIONADO POR: _____								
Nº	TRAMO	PROG. INICIAL	PROG. FINAL	PCI (Para cada unidad de muestra)	ESTADO DEL PAVIMENTO					
					F	E	D	C	B	A
					MUY POBRE Y COLASADO 0-25	POBRE 25-40	REGULAR 40-55	BUENA 55-70	MUY BUENO 70-85	EXCELENTE 85-100
1	TR-01									
2	TR-02									
3	TR-03									
4	TR-04									
5	TR-05									
6	TR-06									
7	TR-07									
8	TR-08									
9	TR-09									
10	TR-10									
11	TR-11									
12	TR-12									
13	TR-13									
14	TR-14									
15	TR-15									
16	TR-16									
17	TR-17									
SUMA:										
TOTAL:										
DISTRIBUCION ACTUAL (%):										
TOTAL (%):										

AÑO 1	ACT %	DETERIORO						FUT %	PCI-FUTURO		ÁREA TOTAL m²	COSTO DE MANTENIMIENTO (\$/m²)	CAM \$
		A	B	C	D	E	F		PROMEDIO	PONDERADO			
A													
B													
C													
D													
E													
F													
TOTAL												S/.	

% Asignado	
% C.A.M-US\$	
% Area reparable	

<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>Condic</th><th>%Fut</th></tr> <tr><td>A</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td></tr> <tr><td>C</td><td></td></tr> <tr><td>D</td><td></td></tr> <tr><td>E</td><td></td></tr> <tr><td>F</td><td></td></tr> <tr><td>TOTAL</td><td></td></tr> </table>	Condic	%Fut	A		B		C		D		E		F		TOTAL		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>Condic</th><th>%Fut</th><th>PCI</th><th>CAM</th></tr> <tr><td>A</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>C</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>D</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>E</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>F</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>TOTAL</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Condic	%Fut	PCI	CAM	A				B				C				D				E				F				TOTAL			
Condic	%Fut																																																
A																																																	
B																																																	
C																																																	
D																																																	
E																																																	
F																																																	
TOTAL																																																	
Condic	%Fut	PCI	CAM																																														
A																																																	
B																																																	
C																																																	
D																																																	
E																																																	
F																																																	
TOTAL																																																	

Fuente: Sotil.C.A. (2014). Propuesta de sistema de gestion de pavimentos para municipalidades y gobiernos locales

 Mag. Saúl José Chipa Cahuana Ingeniero Civil CIP.Nº193001 Aprobado por el experto 1 Mag. Ing. Saúl Jose Chipa Cahuana	 Mag. Charles Néstor Checya Alata Ingeniero Civil CIP.Nº195531 Aprobado por el experto 2 Mag. Ing. Charles Néstor Checya Alata	 Ing. Luis Huanca Astoquillca CIP. Nº 116399 Aprobado por el experto 3 Mag. Ing. Luis Huanca Astoquillca
---	---	---

Nota. El Formato 3 se utilizó para recolectar información, teniendo presente la distribución actual porcentual y ratios de deterioro referencial del estado del pavimento, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

4.4.3 Instrumentos de medición en campo y gabinete

En este estudio se utilizaron los siguientes instrumentos de medición:

❖ Materiales

- Manual del PCI para pavimento de concreto en carreteras
- Catálogo de deterioros de pavimentos
- Cuaderno de apuntes

❖ Equipos y herramientas

- Equipo de protección personal (EPP)
- Cinta métrica de 100 metros.
- Pizarra acrílica
- Cámara fotográfica.
- Spray a color
- Plumones
- Regla de 3 metros

❖ Programas

Además, creación de tablas estadísticas, gráficos, planos, etc. se realizó utilizando los siguientes programas:

- Software de hojas de cálculo Microsoft Excel
- Software de procesamiento de textos Microsoft Word
- Software de diseño asistido por computadora AutoCAD

4.5 Procedimiento

El período inicial corresponde a la etapa de recopilación de datos, en la cual la información es recolectada de manera sistemática. Posteriormente, los datos obtenidos son tabulados y agrupados en tablas, permitiendo su ordenamiento, clasificación y organización adecuada. A partir de esta estructuración, se inicia la medición de los datos, dando paso al procesamiento y análisis matemático de la información. Finalmente, se elabora un resumen estadístico mediante el uso de la estadística descriptiva y la probabilidad, lo que facilita la interpretación y comprensión de los resultados obtenidos (Moisés, 2019).

4.6 Análisis de datos

El análisis de datos realizado corresponde a un análisis descriptivo, cuyo propósito principal es resumir y describir las características básicas de los datos recopilados. Este tipo de análisis permite comprender el comportamiento general de la información y facilita la identificación de patrones relevantes. El proceso inicia con la recolección de los datos, asegurando que estos se encuentren correctamente organizados y preparados para su análisis, lo cual incluye la limpieza de la información, el manejo de valores faltantes y la corrección de posibles errores. Posteriormente, los datos son organizados mediante el uso de software estadístico, como SPSS o Excel, lo que permite estructurarlos en tablas y calcular las estadísticas descriptivas básicas.

A continuación, se procede al cálculo de las medidas de tendencia central, la elaboración de gráficos y el análisis de la forma de la distribución de los datos, con el fin de comprender su comportamiento. La visualización de los resultados se realiza a través de gráficos y tablas que facilitan su interpretación. Finalmente, los resultados obtenidos son interpretados para extraer conclusiones sobre las características principales de los datos y los posibles patrones identificados, y se presentan de manera clara y concisa en la tesis, respaldados por representaciones gráficas y tabulares (Moisés, 2019).

4.7 Consideraciones éticas

La presente investigación se desarrolló bajo los principios éticos de responsabilidad, integridad académica y respeto a las normas institucionales. Al tratarse de un estudio no experimental y observacional, no se realizaron intervenciones físicas sobre el pavimento ni se manipuló el entorno; únicamente se efectuó el levantamiento de información mediante observación de campo y registro técnico de deterioros, severidad y cálculos conforme a la metodología PCI. En ese sentido, se mantuvo el compromiso de no generar daños a la infraestructura, al tránsito ni al entorno urbano durante la inspección (ASTM D6433, 2020).

Finalmente, se garantizó la veracidad y trazabilidad de los datos: el inventario de deterioros, los niveles de severidad, los valores deducidos y el cálculo del PCI fueron consignados de forma objetiva, sin alteraciones, y sustentados en los formatos e instrumentos definidos para la investigación. Del mismo modo, se respetó la propiedad intelectual, citando adecuadamente las fuentes técnicas y normativas utilizadas, y asegurando la originalidad del contenido redactado en el presente trabajo.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

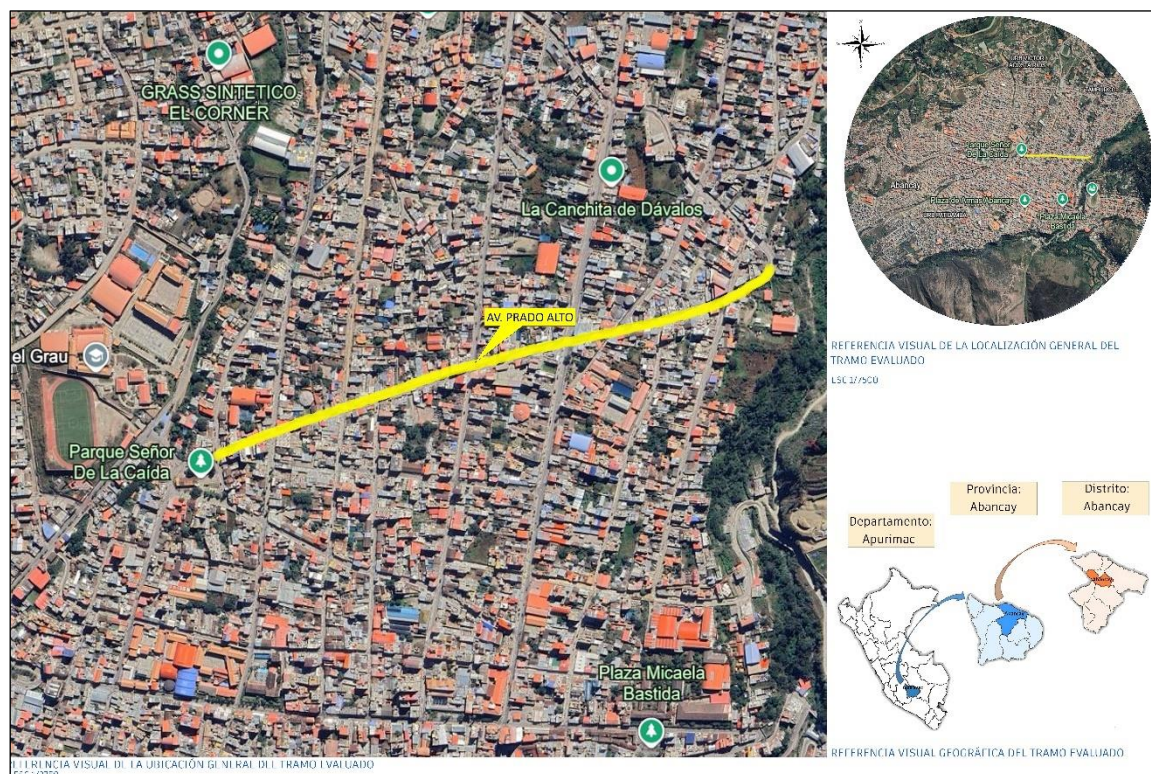
5.1.1 Índice de condición del pavimento rígido y estado superficial del pavimento rígido en la avenida Prado Alto, empleando metodología del PCI del distrito de Abancay.

Cálculo de unidades de muestreo (tramos).

En esta tesis se utilizó todo el tramo de la Avenida Prado Alto, este tramo de vía consta de dos carriles, cada uno con un ancho promedio de 3,60 metros y la longitud total del tramo es de 880 metros. El recuento total de losas fue de 374, distribuidas en 17 unidades de muestreo o en 17 tramos, cada una de las cuales contiene 22 losas.

Figura 26

Referencia visual de la ubicación general del tramo evaluado



Nota. Elaboración personal utilizando Google Earth Pro (2024).

Tabla 10*Características del tramo estudiado*

CARACTERÍSTICAS DEL TRAMO ESTUDIADO	
NÚMERO DE CARRILES	2
ANCHO	3.60
LONGITUD	880.00

Nota. Elaboración propia con base en mediciones de campo realizadas en el tramo evaluado (2024).

Cálculo del número mínimo de unidades de muestreo o tramos:

Usando la ecuación 1 y ecuación 2, se tiene lo siguiente:

$$N = \frac{\text{NÚMERO DE LOSAS DE LA SECCIÓN}}{\text{LOSAS POR UNIDAD DE MUESTREO}} = \frac{374}{22} = 17 \text{ TRAMOS}$$

$$n = \frac{N\sigma^2}{\frac{e^2}{4}x(N-1) + \sigma^2}$$

$$n = \frac{17 \times 15^2}{\frac{5^2}{4}x(17-1) + 15^2} = 11.76 \approx 12 \text{ tramos}$$

Selección de las unidades de muestreo (tramos) para inspección:

Usando la ecuación 3, se tiene lo siguiente:

$$i = \frac{N}{n} \quad ; \quad i = \frac{N}{n} = \frac{17}{12} = 1.41 \approx 1$$

Redondeamos a un número entero inferior y tendrá un intervalo de muestreo de uno (1). Este valor implica una evaluación de 17 unidades de muestreo o 17 tramos del total del tramo de estudio.

Ejemplo del cálculo del PCI

Adoptando como ejemplo el cálculo del PCI para el TRAMO-1 (Tr-1), también denominado UNIDAD DE MUESTREO (UM-1), los datos son los siguientes:

- i. Según el diagrama mostrado en el formato de exploración TRAMO-1 (UM-1) del Anexo 3, se tiene una relación de deterioros actuales en cada losa, como se pone a la vista en la tabla 11.

Tabla 11

Tipos de deterioro en el TRAMO-1 (UM-1)

ABSCISA	DIAGRAMA DEL PAVIMENTO	
11	1H, 10, 3M, 14L	7L, 3L, 10, 1M
10	7H, 1H	10, 1M
9	1H, 7M, 1M	10, 1H, 7M
8	10, 14L, 7L	3L, 10
7	10, 14L, 7L, 9L	3L, 10, 18M, 9L
6	3M, 14L, 7L	3L, 10, 8
5	1M, 14M, 3L, 10	3L, 10, 8
4	1H, 10	3L, 10, 2L, 7L, 15L
3	1M, 10, 7M	3L, 10, 8
2	3L, 10, 14M, 5M	1M, 10, 3L
1	14M, 15L, 1H, 10	1L, 3L, 7L, 10, 1H
Ordenadas	1	2

Nota. La tabla presenta los tipos de deterioro observados en el tramo UM-1, clasificados por abscisa y diagrama correspondiente del pavimento evaluado, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

- ii. Enumera los tipos de deterioro para cada fila del registro por severidad y calcula la densidad de cada fila. Por ejemplo, para el deterioro 1H, la densidad se calcula como:

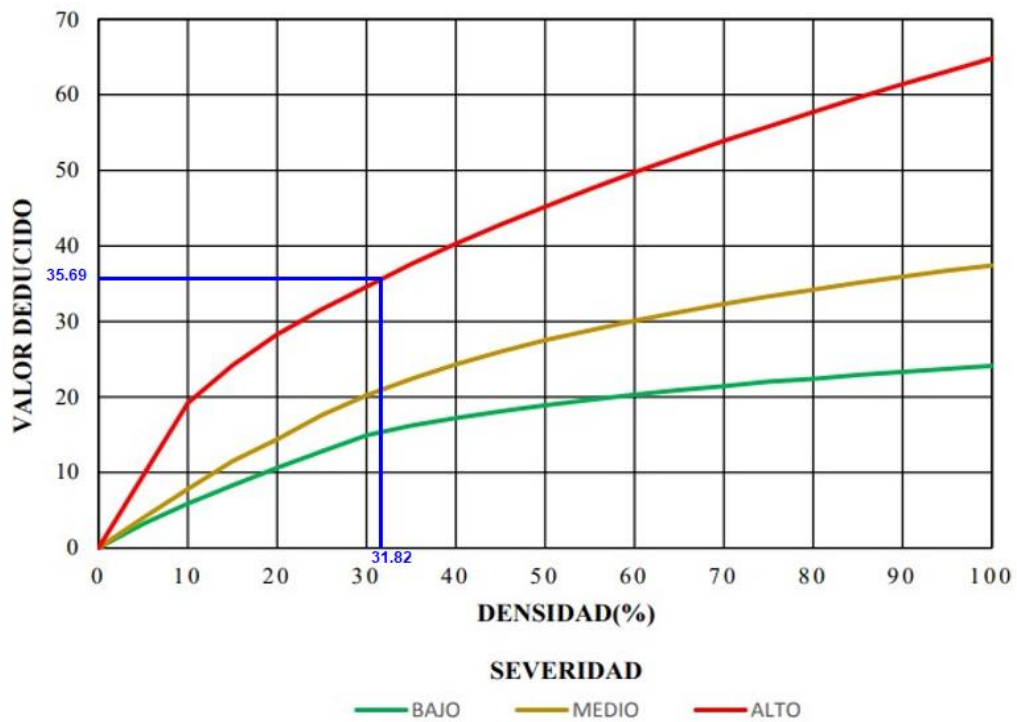
$$Densidad(\%) = \frac{7 * 100}{22} = 31.82 \%$$

Por tanto, todas las densidades se calculan para cada tipo de deterioro encontrado, como se pone a la vista en la tabla 12.

- iii. Evaluamos los valores deducidos (VD) para todos los tipos de deterioro empleando los nomogramas de la figura 21, descrita en el ítem 3.2.2.2. Por ejemplo, para un deterioro 1H (grieta longitudinal de severidad alta), el valor de entrada del eje X es 31.82% (Densidad) y la curva de severidad alta es interceptado para obtener un valor de 35.69 (Valor deducido) como se muestra en la Figura 27. De manera similar, se calculó los valores deducidos para todos los deterioros encontrados del TRAMO-1 (UM-1) como se muestra en la Tabla 12.

Figura 27

Ejemplo de cálculo del Valor Deducido (VD) utilizando el nomograma adecuado.



Nota. La figura muestra el procedimiento gráfico para determinar el valor deducido (VD) según la densidad y nivel de severidad basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Tabla 12

Valor Deducido (VD) para todo tipo de deterioro del TRAMO-1 (UM-1)

FALLA	TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
1L	1	4.55	2.91
1M	6	27.27	18.78
1H	7	31.82	35.69
2L	1	4.55	2.91
3L	11	50.00	37.50
3M	2	9.09	13.17
5M	1	4.55	9.73
7L	6	27.27	5.89
7M	3	13.64	5.52
7H	1	4.55	6.37
8	3	13.64	0
9L	2	9.09	2.21
10	19	86.36	9.15
14	4	18.18	1.85
14M	3	13.64	5.91
15L	2	9.09	13.18
18M	1	4.55	2.63

Nota. La tabla muestra los valores deducidos obtenidos para cada tipo de deterioro, considerando la densidad y nivel de severidad correspondiente, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

iv. La ecuación 4 se utiliza para calcular el número máximo admisible de valores deducidos (mi).

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

El cual:

VDA = 37.50 es el valor deducido más alto.

Sustituyendo en la ecuación 04, obtenemos

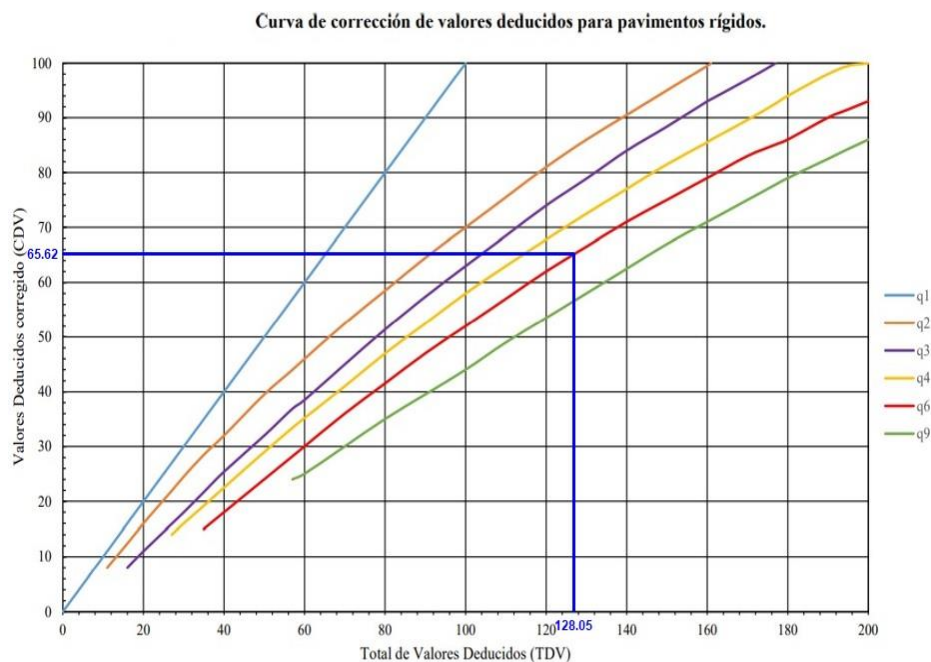
$$m_i = 1 + \frac{9}{98}(100 - 37.50) = 6.74 \approx 6 \leq 10$$

v. Cumpliendo el siguiente procedimiento iterativo estimamos el valor deducido corregido más alto (VDCA).

- Dado el número máximo admisible de los valores deducidos (m_i), en este caso $m_i = 6$, vale decir que se trabajara con 6 curvas: $q=1$, $q=2$, hasta $q=6$, como se pone a la vista en la Tabla 13.
- Seguidamente para $q=6$, el total de valores deducidos (TVD) se establece adicionando o sumando todos los valores deducidos individuales: $37.50 + 35.69 + 18.78 + 13.18 + 13.17 + 9.73 = 128.05$, como se pone a la vista en la Tabla 13.
- Repita la operación anterior hasta $q=1$, como se muestra en la Tabla 13. Es necesario resaltar que los valores deducidos individuales son valores altos mayores a 2, caso contrario toma el valor 2.
- Los VDC está determinado por el nomograma de “Curva de corrección de valores deducidos para pavimentos”, interpolando con el “ q ” respectivo y el total de valores deducidos (TVD) correspondientes. En este ejemplo, ingresar un valor de 128,05 en el eje x e interceptamos en la curva $q = 6$ dando como resultado un VDC de 65,62, como se muestra en la Figura 28.

Figura 28

Cálculo del VDC empleando el nomograma respectivo



Nota. La figura representa el procedimiento gráfico para obtener el valor deducido corregido (VDC) mediante la curva de corrección correspondiente, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

- El valor deducido corregido más alto (VDCA) es el mayor de los valores deducidos corregidos (VDC) obtenidos en este proceso, en este caso es VDCA=65.62.

Tabla 13

Cálculo de los valores deducidos corregidos (VDC)

#	VALOR DEDUCIDO						TOTAL	q	CDV
1	37.50	35.69	18.78	13.18	13.17	9.73	128.05	6	65.62
2	37.50	35.69	18.78	13.18	13.17	2.00	120.32	5	65.04
3	37.50	35.69	18.78	13.18	2.00	2.00	109.15	4	62.57
4	37.50	35.69	18.78	2.00	2.00	2.00	97.97	3	61.86
5	37.50	35.69	2.00	2.00	2.00	2.00	81.19	2	59.21
6	37.50	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	47.50	1	47.50

Nota. La tabla muestra el cálculo del valor deducido corregido (VDC) mediante la suma total y número de deterioros identificados, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

vi. Por último, calculamos el PCI para el TRAMO-1 (UM-1), disminuyendo de 100 el VDCA conseguido.

$$\text{PCI} = 100 - \text{VDCA}$$

$$\text{PCI} = 100 - 65.62$$

$$\text{PCI} = 34.38$$

CLASIFICACIÓN: MALO

5.1.1.3 Índice de condición del pavimento (PCI) del tramo estudiado

Tabla 14

PCI y clasificación de unidades de muestreo estudiadas (tramos)

Nº	TRAMO	PROG. INICIAL	PROG. FINAL	PCI (PARA CADA TRAMO)	CLASIFICACIONES	NUMERO DE LOSAS (N)	PCI x N
1	TRAMO-1 (UM-1)	0+000.00	0+051.76	34.38	MALO	22	756.36
2	TRAMO-2 (UM-2)	0+051.76	0+103.52	37.53	MALO	22	825.66
3	TRAMO-3 (UM-3)	0+103.52	0+155.28	32.81	MALO	22	721.82
4	TRAMO-4 (UM-4)	0+155.28	0+207.04	17.61	MUY MALO	22	387.42
5	TRAMO-5 (UM-5)	0+207.04	0+258.80	52.88	REGULAR	22	1163.36
6	TRAMO-6 (UM-6)	0+258.80	0+310.56	13.06	MUY MALO	22	287.32
7	TRAMO-7 (UM-7)	0+310.56	0+362.32	29.52	MALO	22	649.44
8	TRAMO-8 (UM-8)	0+362.32	0+414.08	39.97	MALO	22	879.34
9	TRAMO-9 (UM-9)	0+414.08	0+465.84	48.87	REGULAR	22	1075.14
10	TRAMO-10 (UM-10)	0+465.84	0+517.60	37.25	MALO	22	819.5
11	TRAMO-11 (UM-11)	0+517.60	0+569.36	48.38	REGULAR	22	1064.36
12	TRAMO-12 (UM-12)	0+569.36	0+621.12	45.66	REGULAR	22	1004.52
13	TRAMO-13 (UM-13)	0+621.12	0+672.88	36.34	MALO	22	799.48
14	TRAMO-14 (UM-14)	0+672.88	0+724.64	46.55	REGULAR	22	1024.1
15	TRAMO-15 (UM-15)	0+724.64	0+776.40	27.84	MALO	22	612.48
16	TRAMO-16 (UM-16)	0+776.40	0+828.16	44.92	REGULAR	22	988.24
17	TRAMO-17 (UM-17)	0+828.16	0+880.00	55.72	BUENO	22	1225.84
Total =						374	14284.38
PCI del Tramo Inspeccionado =						14284.38 / 374	38.19
Clasificación =						MALO	

Nota. La tabla presenta los valores del PCI obtenidos por tramo, su clasificación correspondiente y el promedio general del pavimento, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Interpretación: La Tabla 14 enumera los valores de PCI y la clasificación de las 17 unidades de muestreo (17 tramos) analizados, esto se puede notar en el TRAMO-1 cuyo PCI es el valor de 34.38, clasificado como MALO, seguidamente para el TRAMO-2 el PCI es 37.53 clasificado como MALO, para EL TRAMO-17 el PCI es 55.72 clasificado como BUENO.

También, el índice de condición del pavimento (PCI) en la totalidad del tramo estudiado es de 38.19, lo que, de acuerdo con la metodología utilizada, se clasifica como MALO.

Tabla 15

Clasificación de las unidades de muestreo

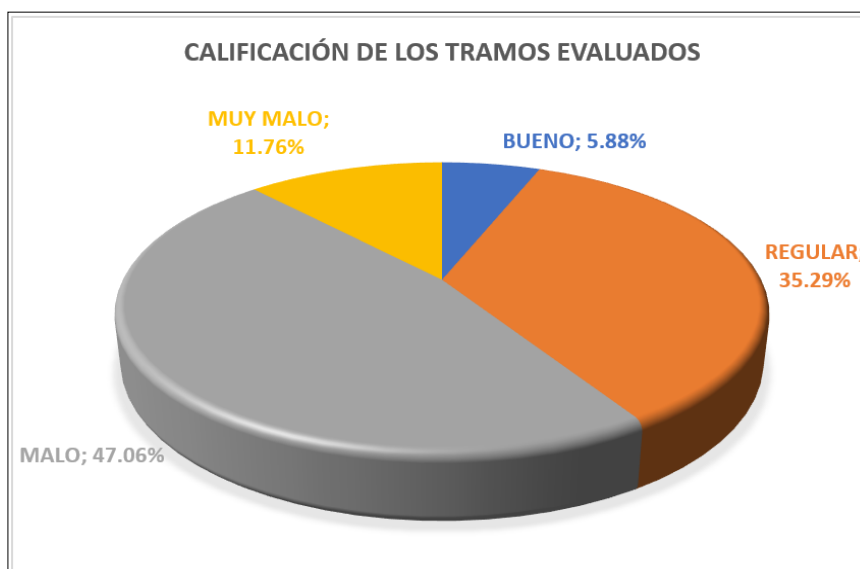
CLASIFICACIÓN	Nº de TRAMOS	%
Bueno	1	5.88 %
Regular	6	35.29 %
Malo	8	47.06 %
Muy malo	2	11.76 %
Σ	17	100%

Nota. La tabla muestra la distribución porcentual de las unidades de muestreo según su clasificación del estado del pavimento rígido, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Interpretación: La Tabla 15 muestra que el 5,88% de las unidades de muestreo estudiados (tramos) examinadas fueron clasificadas como BUENAS, el 35,29% como REGULAR, el 47,06% como MALO y el 11,76% como MUY MALO.

Figura 29

El porcentaje de las unidades de muestra por clasificación.



Nota. La figura presenta la proporción porcentual de tramos evaluados según su clasificación de estado superficial del pavimento rígido, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Tabla 16

Valor deducido más alto, tipo de deterioro y severidad de cada unidad muestral

TRAMO	VDA	TIPO DE DETERIORO	SEVERIDAD	PCI
TRAMO-1 (UM-1)	37.5	GRIETA EN ESQUINA	L	34.38
TRAMO-2 (UM-2)	41.93	HUNDIMIENTOS (PUNZONAMIENTOS)	L	37.53
TRAMO-3 (UM-3)	53.13	GRIETA LONGITUDINALES	H	32.81
TRAMO-4 (UM-4)	37.5	GRIETA EN ESQUINA	L	17.61
TRAMO-5 (UM-5)	32.96	GRIETA LONGITUDINALES	H	52.88
TRAMO-6 (UM-6)	44.05	GRIETA EN ESQUINA	M	13.06
TRAMO-7 (UM-7)	35.69	GRIETA LONGITUDINALES	H	29.52
TRAMO-8 (UM-8)	31.63	GRIETA EN ESQUINA	L	39.97
TRAMO-9 (UM-9)	19.53	GRIETA EN BLOQUE	M	48.87
TRAMO-10 (UM-10)	37.5	GRIETA EN ESQUINA	L	37.25
TRAMO-11 (UM-11)	20.84	HUNDIMIENTOS (PUNZONAMIENTOS)	M	48.38
TRAMO-12 (UM-12)	39.53	HUNDIMIENTOS (PUNZONAMIENTOS)	L	45.66
TRAMO-13 (UM-13)	45.2	GRIETA LONGITUDINALES	H	36.34
TRAMO-14 (UM-14)	29.74	HUNDIMIENTOS (PUNZONAMIENTOS)	M	46.55
TRAMO-15 (UM-15)	38.33	GRIETA LONGITUDINALES	H	27.84
TRAMO-16 (UM-16)	32.96	GRIETA LONGITUDINALES	H	44.92
TRAMO-17 (UM-17)	22.84	GRIETA LONGITUDINALES	H	55.72

Nota. La tabla presenta los valores deducidos, tipos de deterioro, niveles de severidad y el índice PCI de cada tramo evaluado, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Interpretación: Como se puede observar en la Tabla 16, las grietas longitudinales son las fallas que mayor daño ocasionan, porque presentan los valores deducido más altos en los tramos: TRAMO 3, TRAMO 5, TRAMO 7, TRAMO 13, TRAMO 15, TRAMO 16 y TRAMO 17. Seguidamente las grietas de esquina son las fallas más destructivas.

Figura 30

Perfil PCI obtenido por la unidad de muestreo del tramo en estudio.



Nota. En este estudio, “tramo” y “unidad de muestreo (UM)” se usarán como sinónimos, porque cada UM corresponde exactamente a un tramo de pavimento formado por 22 losas, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Interpretación: La Figura 30 presenta el comportamiento del Índice de Condición del Pavimento (PCI) en las 17 unidades de muestreo (UM), también denominadas tramos, revelando una alta variabilidad en el estado de conservación del pavimento rígido. Este índice, que oscila entre 0 y 100, permite clasificar el estado del pavimento desde “Colapsado” hasta “Excelente”, según la norma PCI.

Los valores registrados van desde un mínimo de 13.06 (UM-6) hasta un máximo de 55.72 (UM-17). Esta variación representa desde condiciones “muy malas” hasta tramos clasificados como “buenos”, de acuerdo con la escala referencial.

- ❖ UM-6 con PCI 13.06 y UM-4 con PCI 17.61 , se encuentra en condición muy mala, y según el rango de intervención, requiere rehabilitación mayor.
- ❖ UM-15 con PCI 27.84 también muestra un estado crítico, que demandan acciones de rehabilitación menor.
- ❖ En cambio, UM-17 (55.72) es el único tramo que alcanza el rango de "bueno", recomendándose para este caso un mantenimiento correctivo mayor o intensivo (periódico).
- ❖ Varios tramos, como UM-9, UM-11, UM-12, y UM-14, presentan PCI entre 45 y 49, lo que los ubica en una condición "regular", sin propuesta inmediata de intervención según los rangos establecidos.

Esta figura 30 resulta clave para priorizar la intervención vial, ya que permite identificar con claridad los sectores más críticos (como UM-6 y UM-4) y definir estrategias para su recuperación.

Tabla 17*Cantidad total de daños por severidad.*

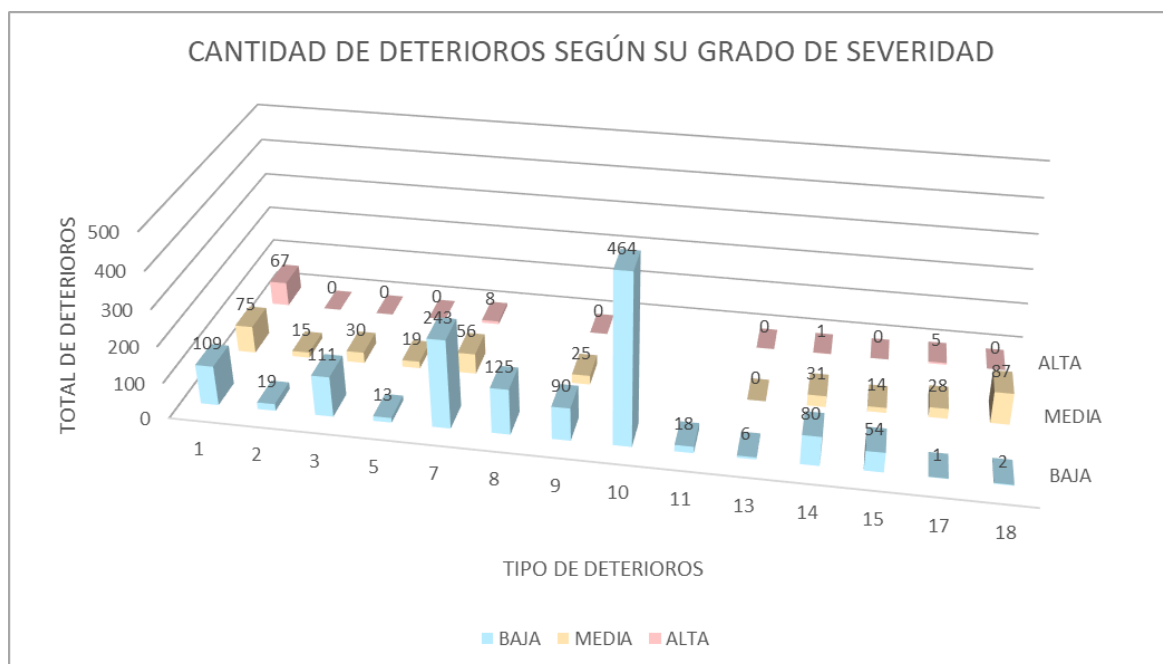
N°	TIPO DE DETERIORO EN EL PAVIMENTO RÍGIDO	SEVERIDAD			TOTAL	(%)
		BAJA	MEDIA	ALTA		
1	GRIETAS LONGITUDINALES	109	75	67	251	13.98%
2	GRIETAS TRANSVERSALES Y/O DIAGONALES	19	15	0	34	1.89%
3	GRIETAS DE ESQUINA	111	30	0	141	7.85%
5	GRIETAS EN BLOQUE	13	19	0	32	1.78%
7	DESCASCARAMIENTO DE JUNTAS	243	56	8	307	17.09%
8	GRIETAS DE RETRACCIÓN Y DESCAMACIÓN		125		125	6.96%
9	DESCASCARAMIENTO DE ESQUINA	90	25	0	115	6.40%
10	PULIMIENTO DE SUPERFICIE		464		464	25.84%
11	DESINTEGRACIÓN, AGUJEROS(POPOUTS)		18		18	1.00%
13	ESCALA	6	0	0	6	0.33%
14	DESNIVEL CARRIL / BERMA	80	31	1	112	6.24%
15	HUNDIMIENTO (PUNZONAMIENTO)	54	14	0	68	3.79%
17	PARCHE PEQUEÑO DETERIORADO	1	28	5	34	1.89%
18	PARCHE GRANDE DETERIORADO	2	87	0	89	4.96%
TOTAL DE FALLAS					1796	100%

Nota. La tabla muestra la distribución total de fallas observadas en el pavimento rígido, clasificadas según tipo y nivel de severidad, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Interpretación: La Tabla 17 muestra que el tipo de deterioro más frecuente es el pulimiento de superficie (tipo 10), con el 25.84 % del total. Le siguen el descascaramiento de juntas (tipo 7), con 17.09 %, y las grietas longitudinales (tipo 1), con 13.98 %. En total, se registraron 1796 deterioros en las 17 unidades de muestreo analizadas.

Figura 31

Cantidad de daños por severidad.



Nota. Los deterioros 8,10 y 11 no tienen tipo de severidad, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Interpretación: La Figura 31 permite visualizar con claridad que la mayoría de deterioros presenta severidad baja, mientras que los deterioros de alta severidad son menos frecuentes. Destaca el deterioro tipo 10, cuya columna celeste es significativamente mayor al resto, mostrando su predominancia en severidad baja.

Tabla 18

Porcentaje en orden descendente de deterioros más incidentes en las unidades de muestreo de la vía inspeccionada.

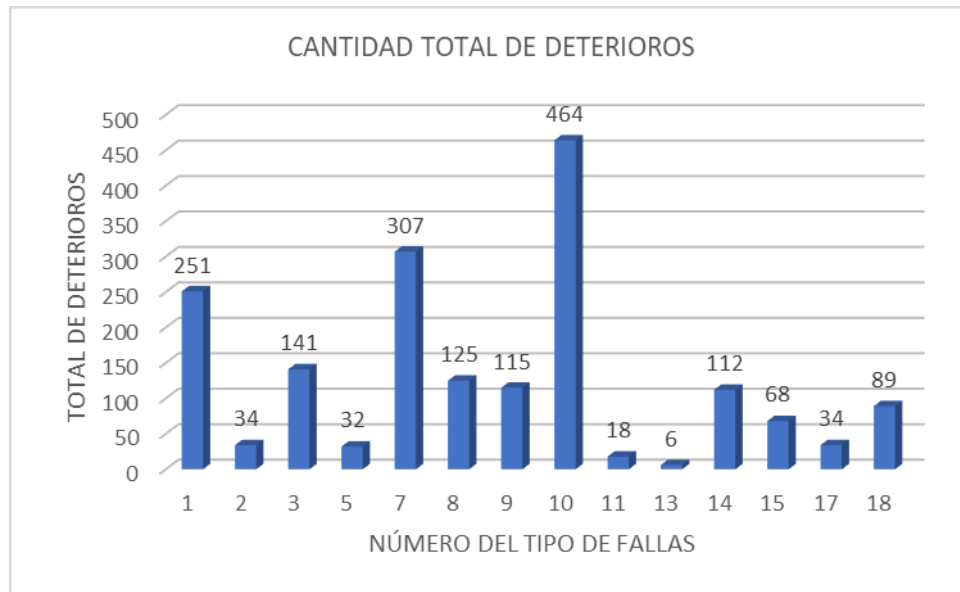
Nº	TIPO DE DETERIOROS PAVIMENTO RÍGIDO	TOTAL DE DETERIOROS	(%)
10	PULIMIENTOS DE SUPERFICIE	464	25.84%
7	DESCASCARAMIENTO DE JUNTA	307	17.09%
1	GRIETA LONGITUDINALES	251	13.98%
3	GRIETA EN ESQUINA	141	7.85%
8	GRIETA DE RETRACCIÓN Y DESCAMACIÓN	125	6.96%
9	DESCASCARAMIENTOS DE ESQUINA	115	6.40%
14	DESNIVELES CARRIL / BERMA	112	6.24%
18	PARCHES GRANDES DETERIORADOS	89	4.96%
15	HUNDIMIENTOS (PUNZONAMIENTOS)	68	3.79%
2	GRIETA TRANSVERSAL Y/O DIAGONAL	34	1.89%
17	PARCHES PEQUEÑOS DETERIORADOS	34	1.89%
5	GRIETA EN BLOQUE	32	1.78%
11	DESINTEGRACIONES, AGUJEROS(POPOUTS)	18	1.00%
13	ESCALAS	6	0.33%
TOTAL		1796	100%

Nota. La tabla ordena los tipos de deterioros del pavimento rígido según su frecuencia porcentual descendente en las unidades muestreadas, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Interpretación: En la Tabla 18 se muestra las fallas de mayor incidencia tal como: pulimento de superficie con 25.84%, descascaramiento de junta con 17.09%, grietas longitudinales con 13.98% y grieta de esquina con 7.85%. Las fallas de menor incidencia son grietas transversales y/o diagonales con 1.89%, parche pequeño deteriorado con 1.89%, grietas en bloque con 1.78%, desintegración, agujeros (popouts) con 1.00% y escala con 0.33%.

Figura 32

Numero de fallas según su tipo



Nota. La figura representa la cantidad total de deterioros identificados por tipo de falla en el pavimento rígido evaluado, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Interpretación: Se puede notar en la fig. 32, se presenta que 464 fallas son de tipo pulido superficial, que es la más frecuente en todo el tramo inspeccionado. También cabe señalar que 307 fallas presentan descascaramiento de juntas, 251 fallas presentan grieta longitudinal que puede provocar un mayor deterioro a corto plazo en el estado de la vía.

Figura 33

Porcentaje de deterioros más incidentes en las unidades de muestreo de la vía inspeccionada.



Nota. La figura presenta el porcentaje de deterioros más representativos en las unidades de muestreo del pavimento rígido inspeccionado, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

5.1.2 Propuesta de intervención vial a realizar en la Av. Prado Alto, empleando metodología del PCI del distrito de Abancay

La metodología PCI se aplicó al tramo general de 2 carriles de 880.00 m de longitud en la Avenida Prado Alto, obteniendo un valor cuantitativo de índice de condición del pavimento de 38.19, el cual se pudo identificar según el formato 2 del Anexo 2, que se debe realizar actividades de tipo REHABILITACIÓN MENOR, que son rehabilitaciones a corto plazo para evitar daños permanentes como colocación de barras de traspaso de carga, recapado de concreto adherido, etc.

Además, la metodología PCI proporciona la matriz de actividades de mantenimiento vial conforme a la severidad de cada deterioro normado por la ASTM D6433-03, como se muestra en el Anexo 9.

Tabla 19

PCI y propuesta de intervención de los tramos estudiados

TRAMO	PROG.	PROG.	PCI	CALIFICACIÓN	PROPUESTA
	INICIAL	FINAL			DE INTERVENCIÓN
TRAMO-01 (UM-1)	0+000.00	0+051.76	34.38	MALO	REHABILITACIÓN MENOR
TRAMO-02 (UM-2)	0+051.76	0+103.52	37.53	MALO	REHABILITACIÓN MENOR
TRAMO-03 (UM-3)	0+103.52	0+155.28	32.81	MALO	REHABILITACIÓN MENOR
TRAMO-04 (UM-4)	0+155.28	0+207.04	17.61	MUY MALO	REHABILITACIÓN MAYOR
TRAMO-05 (UM-5)	0+207.04	0+258.80	52.88	REGULAR	NINGUNA
TRAMO-06 (UM-6)	0+258.80	0+310.56	13.06	MUY MALO	REHABILITACIÓN MAYOR
TRAMO-07 (UM-7)	0+310.56	0+362.32	29.52	MALO	REHABILITACIÓN MENOR
TRAMO-08 (UM-8)	0+362.32	0+414.08	39.97	MALO	REHABILITACIÓN MENOR
TRAMO-09 (UM-9)	0+414.08	0+465.84	48.87	REGULAR	NINGUNA
TRAMO-10 (UM-10)	0+465.84	0+517.60	37.25	MALO	REHABILITACIÓN MENOR
TRAMO-11 (UM-11)	0+517.60	0+569.36	48.38	REGULAR	NINGUNA
TRAMO-12 (UM-12)	0+569.36	0+621.12	45.66	REGULAR	NINGUNA
TRAMO-13 (UM-13)	0+621.12	0+672.88	36.34	MALO	REHABILITACIÓN MENOR
TRAMO-14 (UM-14)	0+672.88	0+724.64	46.55	REGULAR	NINGUNA
TRAMO-15 (UM-15)	0+724.64	0+776.40	27.84	MALO	REHABILITACIÓN MENOR
TRAMO-16 (UM-16)	0+776.40	0+828.16	44.92	REGULAR	NINGUNA
TRAMO-17 (UM-17)	0+828.16	0+880.00	55.72	BUENO	MANTENIMIENTO PERIÓDICO
PCI del tramo inspeccionado:					38.19
CLASIFICACIÓN:					MALO
PROPUESTA DE INTERVENCIÓN:					REHABILITACIÓN MENOR

Nota. La tabla muestra el PCI obtenido por tramo, su respectiva calificación y la propuesta de intervención vial correspondiente, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Interpretación: La Tabla 19 muestra la propuesta de intervención del tramo individual en función a los valores de PCI para cada tramo analizado, esto se puede notar en el TRAMO-01 cuyo PCI es el valor de 34.38, con propuesta de intervención como rehabilitación menor, para el TRAMO-04 el PCI es 17.61, con propuesta de intervención como

rehabilitación mayor, para EL TRAMO-17 el PCI es 55.72 con propuesta de intervención como mantenimiento periódico.

También, el índice de condición del pavimento (PCI) en la totalidad del tramo estudiado es de 38.19, lo que, de acuerdo con la metodología utilizada, con propuesta de intervención como rehabilitación menor.

Tabla 20

Clasificación de los tramos evaluados según propuesta de intervención vial

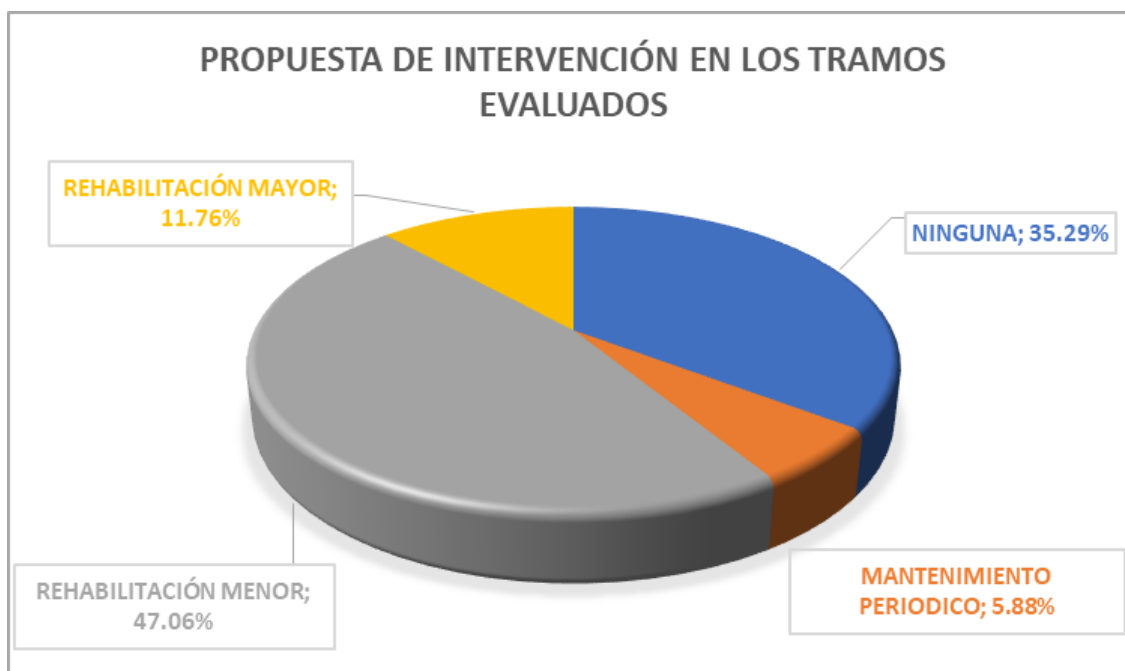
PROPUESTA DE INTERVENCIÓN EN LA TOTALIDAD DEL TRAMO	Nº de TRAMOS	%
Ninguna	6	35.29
Mantenimiento periódico	1	5.88
Rehabilitación menor	8	47.06
Rehabilitación mayor	2	11.76
Σ	17	100.00

Nota. La tabla presenta la clasificación porcentual de los tramos evaluados según la propuesta de intervención vial correspondiente, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Interpretación: La Tabla 20 muestra que, de los 17 tramos evaluados, al 35.29 % (6 tramos) no se le propuso ninguna intervención; al 5.88 % (1 tramo) se le recomendó mantenimiento periódico; al 47.06 % (8 tramos) rehabilitación menor; y al 11.76 % (2 tramos) rehabilitación mayor. Además, el 58,82% (47.06 + 11.76) de los tramos analizados necesita algún tipo de rehabilitación, evidenciando un nivel de deterioro importante en más de la mitad de la vía.

Figura 34

El porcentaje de los tramos estudiados por tipos de mantenimiento vial.



Nota. La figura muestra el porcentaje de tramos evaluados según la propuesta de intervención y tipo de mantenimiento vial, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

5.1.3 Costo anual de mantenimiento vial en la avenida Prado Alto, empleando metodología del PCI del distrito de Abancay.

Los costos de mantenimiento anual se pronostican y calculan sobre la base de un porcentaje fijo del 5% de los costos anual de mantenimiento vial en el primer año de evaluación económica. Con el 5% del costo anual se puede reparar el 4,35% del área vial en estado colapsado (G) y muy malo (F). Los mayores cambios de pavimento se observaron en las condiciones ya mencionadas (colapso y muy malo), y gracias a las rehabilitaciones, estas áreas fueron restauradas a estado de excelente (A).

Tabla 21

Distribución actual porcentual según el estado del pavimento

N°	TRAMO	PROG. INICIAL	PROG. FINAL	PCI (Para cada unidad de muestra)	ESTADO DEL PAVIMENTO						
					F	E	D	C	B	A	
					MUY MALO Y COLAPSADO	MALO	REGULAR	BUENA	MUY BUENO	EXCELENTE	
					0-25	25-40	40-55	55-70	70-85	85-100	
1	TR-01	0+000.00	0+051.76	34.38		E					
2	TR-02	0+051.76	0+103.52	37.53		E					
3	TR-03	0+103.52	0+155.28	32.81		E					
4	TR-04	0+155.28	0+207.04	17.61	F						
5	TR-05	0+207.04	0+258.80	52.88			D				
6	TR-06	0+258.80	0+310.56	13.06	F						
7	TR-07	0+310.56	0+362.32	29.52		E					
8	TR-08	0+362.32	0+414.08	39.97		E					
9	TR-09	0+414.08	0+465.84	48.87			D				
10	TR-10	0+465.84	0+517.60	37.25		E					
11	TR-11	0+517.60	0+569.36	48.38			D				
12	TR-12	0+569.36	0+621.12	45.66			D				
13	TR-13	0+621.12	0+672.88	36.34		E					
14	TR-14	0+672.88	0+724.64	46.55			D				
15	TR-15	0+724.64	0+776.40	27.84		E					
16	TR-16	0+776.40	0+828.16	44.92			D				
17	TR-17	0+828.16	0+880.00	55.72				C			
SUMA:						2	8	6	1	0	0
TOTAL:						17					
DISTRIBUCIÓN ACTUAL (%):						11.76%	47.06%	35.29%	5.88%	0.00%	0.00%
DISTRIBUCIÓN ACTUAL (Decimales):						0.12	0.47	0.35	0.06	0.00	0.00
TOTAL (%):						100.00%					

Nota. La tabla presenta la distribución porcentual actual de las unidades muestreadas según el estado del pavimento evaluado, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Interpretación : En la Tabla 21, puntualiza la distribución actual porcentual según el estado del pavimento. Esta distribución actual es un porcentaje preliminar para desarrollar las proyecciones (estimaciones) anuales de costos de mantenimiento vial.

Tabla 22

Proyección de Costos Anual de mantenimiento vial del primer año

AÑO 1	%ACT	DETERIORO						%FUT	PCI-FUTURO		ÁREA TOTAL (m ²)	COSTO DE MANTENIMIENTO (\$/m ²)	CAM \$
		A	B	C	D	E	F		PROMEDIO	PONDERADO			
		A	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%			
B	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	77.50	0.00	1584.00	\$25.00	\$0.00
C	5.88%	0.00%	0.00%	2.94%	0.00%	0.00%	0.00%	2.94%	62.50	1.84	1584.00	\$35.00	\$1,630.59
D	35.29%	0.00%	0.00%	2.94%	24.71%	0.00%	0.00%	27.65%	47.50	13.13	1584.00	\$50.00	\$21,896.47
E	47.06%	0.00%	0.00%	0.00%	10.59%	37.65%	0.00%	48.24%	32.50	15.68	1584.00	\$120.00	\$91,685.65
F	11.76%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	9.41%	11.76%	21.18%	25.00	5.29	1584.00	\$160.00	\$53,669.65
TOTAL	100%							100%		35.94			\$168,882.35
													\$/ 624,864.71

% Asignado:	5.00%
% C.A.M (\$):	8,444.12
% Área reparable:	4.35%

Condic	%Fut
A	0.00%
B	0.00%
C	2.94%
D	27.65%
E	48.24%
F	21.18%
TOTAL	100%

Condic	%Fut	PCI	CAM	
A	4.35%	4.02	\$1,033.56	
B	0.00%	0.00	\$0.00	
C	2.94%	1.84	\$1,630.59	
D	27.65%	13.13	\$21,896.47	
E	48.24%	15.68	\$91,685.65	
F	16.83%	4.21	\$42,645.01	
TOTAL	100%	38.88	\$158,891.27	
				\$/ 587,897.71

Nota. La tabla muestra la proyección de costos anuales de mantenimiento vial considerando el deterioro, PCI futuro y costos estimados, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Interpretación : La Tabla 22 proporciona la proyección (estimación) del costo anual de mantenimiento vial para el primer año, siendo así la suma de S/.587,897.71 soles.

En el Anexo 5, se muestra la evaluación de proyección de los costos anuales de mantenimiento vial durante un período de 20 años y el impacto del porcentaje de asignación (5%) en el futuro PCI.

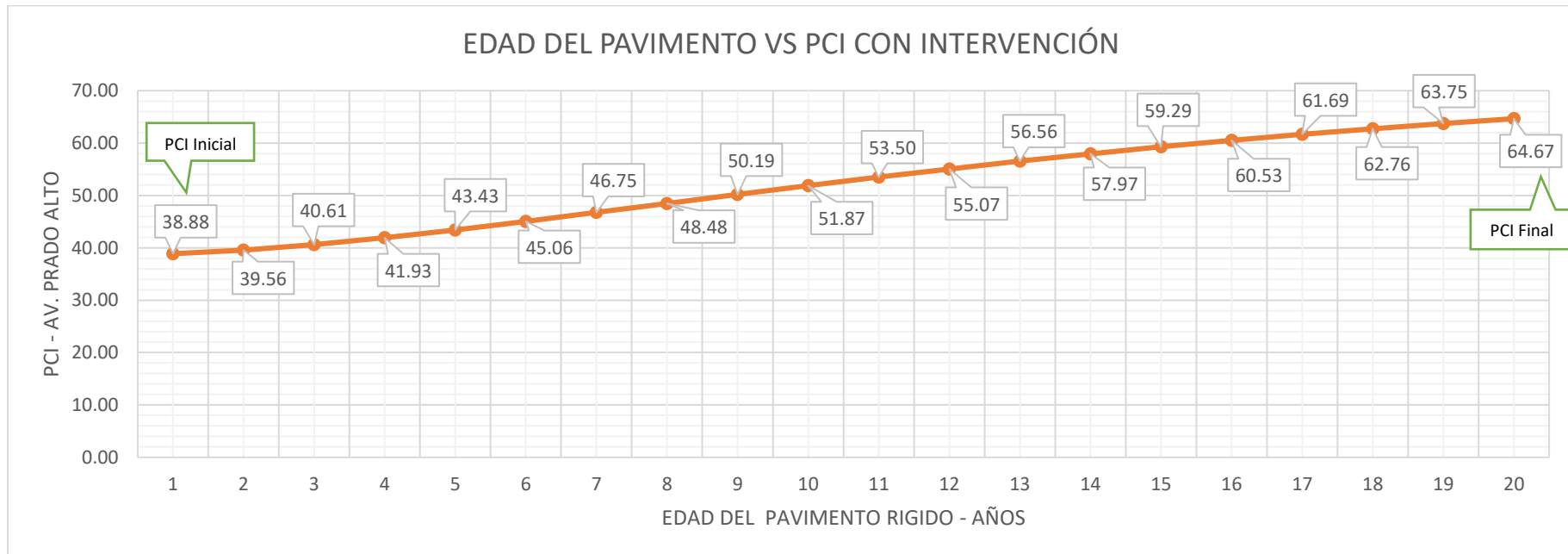
Tabla 23

Resumen de los resultados de las proyecciones de los costos anuales de mantenimiento vial en un periodo de 20 años

Año	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO						PCI PROMEDIO	C.A.M (\$) VALOR FUTURO	C.A.M (S/.) VALOR FUTURO
	A	B	C	D	E	F			
1	4.35%	0.00%	2.94%	27.65%	48.24%	16.83%	38.88	\$158,891.27	S/ 587,897.71
2	8.27%	0.44%	1.47%	20.82%	46.88%	22.12%	39.56	\$164,627.40	S/ 609,121.39
3	11.79%	1.17%	0.82%	15.31%	43.75%	27.15%	40.61	\$167,823.40	S/ 620,946.57
4	14.96%	2.12%	0.65%	11.13%	39.60%	31.55%	41.93	\$168,791.62	S/ 624,529.00
5	17.81%	3.19%	0.75%	8.11%	35.02%	35.12%	43.43	\$167,901.03	S/ 621,233.83
6	20.38%	4.33%	1.01%	6.05%	30.45%	37.77%	45.06	\$165,517.99	S/ 612,416.55
7	22.69%	5.51%	1.37%	4.74%	26.17%	39.51%	46.75	\$161,978.83	S/ 599,321.69
8	24.77%	6.67%	1.79%	4.01%	22.36%	40.40%	48.48	\$157,578.98	S/ 583,042.22
9	26.65%	7.82%	2.23%	3.70%	19.09%	40.52%	50.19	\$152,570.33	S/ 564,510.24
10	28.33%	8.92%	2.68%	3.70%	16.38%	39.99%	51.87	\$147,163.01	S/ 544,503.14
11	29.85%	9.97%	3.12%	3.93%	14.22%	38.91%	53.50	\$141,528.97	S/ 523,657.19
12	31.21%	10.96%	3.55%	4.31%	12.55%	37.41%	55.07	\$135,806.44	S/ 502,483.83
13	32.44%	11.89%	3.97%	4.80%	11.34%	35.57%	56.56	\$130,104.48	S/ 481,386.58
14	33.55%	12.76%	4.36%	5.34%	10.51%	33.48%	57.97	\$124,507.34	S/ 460,677.15
15	34.54%	13.56%	4.73%	5.92%	10.01%	31.24%	59.29	\$119,078.43	S/ 440,590.18
16	35.44%	14.30%	5.08%	6.51%	9.78%	28.89%	60.53	\$113,863.92	S/ 421,296.51
17	36.25%	14.99%	5.40%	7.10%	9.78%	26.49%	61.69	\$108,895.85	S/ 402,914.66
18	36.97%	15.61%	5.70%	7.67%	9.95%	24.10%	62.76	\$104,194.82	S/ 385,520.83
19	37.62%	16.19%	5.97%	8.22%	10.26%	21.74%	63.75	\$99,772.26	S/ 369,157.36
20	38.21%	16.71%	6.22%	8.74%	10.67%	19.44%	64.67	\$95,632.42	S/ 353,839.94

Nota. La tabla presenta los resultados proyectados del mantenimiento vial, considerando el deterioro del pavimento, el PCI promedio y costos futuros, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Interpretación : En la tabla 23, se resume el índice de condición del pavimento (PCI) y los costos anuales de mantenimiento vial futuros, conforme a la aportación porcentual del 5% asignado al tramo vial en estudio. Siendo así que en el vigésimo año el costo anual de mantenimiento es de S/.353,839.94 Soles. Además, en la Tabla se puede observar también que se ha detenido el proceso de deterioro del pavimento y ha mejorado el estado de la vía, evidenciando el efecto de la inversión con un PCI de 64.67, lo que básicamente muestra un estado bueno del pavimento (C), que ha aumentado con el paso de los años.

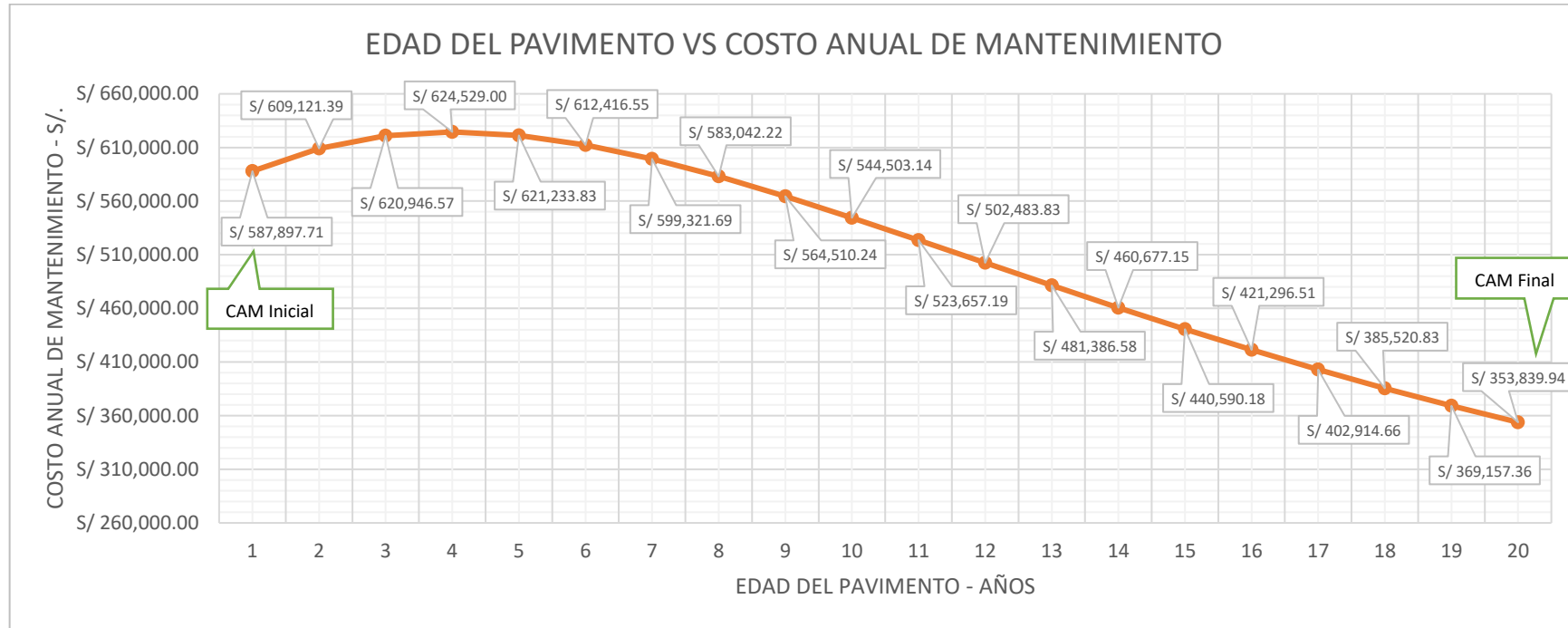
Figura 35*PCI vs Edad del pavimento.*

Nota. La figura muestra la evolución del PCI en relación con la edad del pavimento, considerando intervenciones viales periódicas planificadas, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Interpretación : La Figura 35 muestra la evolución del índice de condición del pavimento, de manera que el deterioro del pavimento de la vía se ha desacelerado, porque el estudio se centró en el pavimento en muy malas condiciones (F), lo que requiere altos costos para rehabilitar en parte de la vía.

Figura 36

Costo anual de mantenimiento (CAM) vs Edad del pavimento



Nota. La figura representa la variación del costo anual de mantenimiento vial en función de la edad del pavimento, basada en la Norma ASTM D6433-03 (2020).

Interpretación : En la Figura 36, se muestra el desarrollo del costo anual de mantenimiento del pavimento rígido con una variación porcentual de 39.81 % entre el CAM inicial y el CAM final, disminuyendo gradualmente y considerablemente ya que el monto necesario de rehabilitar la vía para el vigésimo (20) año es menos que el monto de rehabilitación calculado para el primer año en S/234,057.77 soles.

5.2 Discusión de resultados

5.2.1 A nivel internacional

Como se aprecia en la Tabla 24, los resultados obtenidos en la presente investigación indican que el 5.88 % de los tramos evaluados requiere mantenimiento periódico, el 35.29 % no necesita intervención, y el 58.82 % demanda trabajos de rehabilitación.

Estos hallazgos guardan similitud con los reportados por Pérez (2021) en su tesis titulada *Diagnóstico de pavimentos mediante la metodología PCI y análisis de la influencia del mal estado de la vía con relación al número de accidentes presentados en la Av. La Victoria (carrera 4 este) entre calle 37 sur y calle 27A sur* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/20059f71-2f5a-4221-9331-f7f9173ca799>. En dicho estudio, el autor señala que el 31.60 % de los tramos requiere mantenimiento periódico, el 57.90 % rehabilitación y el 10.50 % reconstrucción.

Estos resultados reflejan la elevada incidencia de deterioro en la infraestructura vial tanto a nivel local como internacional, lo cual resalta la necesidad de implementar estrategias de mantenimiento periódico, rehabilitador y reconstructivo oportunas y eficaces.

Tabla 24

Comparación del tipo de intervención vial y su incidencia porcentual entre la Av. Prado Alto y un estudio internacional

TIPOS DE MANTENIMIENTO VIAL	INVESTIGACIONES	
	LOCAL	INTERNACIONAL
	AV. PRADO ALTO	AV. LA VICTORIA (Colombia)
	Presente investigación	Pérez David (2021)
	%	%
Mantenimiento periódico	5.88%	31.60%
Ninguna	35.29%	0.00%
Rehabilitación	58.82%	57.90%
Reconstrucción	0.00%	10.50%

Nota. La tabla compara los tipos de intervención vial entre la avenida Prado Alto y el estudio internacional de Pérez David (2021).

Además, se observa en la Tabla 25, los resultados de la presente investigación donde indican que los deterioros más frecuentes en la Av. Prado Alto son el pulimento de la superficie (25.84 %), seguidos por las grietas longitudinales (13.98 %) y parche grande deteriorado (4.96 %).

Estos hallazgos coinciden en gran medida con los reportados por Torres (2023) en su tesis titulada *Evaluación de la superficie del pavimento de la vía Loja Saraguro, tramo abscisas 37+000-47+000* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja]. Repositorio institucional. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/30519>. En dicho estudio, los autores identificaron como deterioros más comunes la grieta longitudinal (36.69 %), pulimento de superficie (19.53 %) y el parche grande deteriorado (15.38 %).

Estos resultados reflejan una coincidencia en los tipos de deterioro más recurrentes en las vías analizadas, tanto a nivel local como internacional, lo que refuerza la necesidad de priorizar acciones de mantenimiento vial frente a los deterioros más representativos.

Tabla 25

Comparación del tipo de deterioro vial y su incidencia porcentual en la Av. Prado Alto y un estudio internacional

TIPOS DE DETERIORO	INVESTIGACIÓN	
	Local	Internacional
	AV. PRADO ALTO	VÍA LOJA SARAGURO (Ecuador)
	Presente investigación	Torres (2023)
	%	%
pulimentos de superficie	25.84 %	16.53 %
Grietas longitudinales	13.98 %	36.69 %
Parche grande deteriorado	4.96 %	15.38 %

Nota. La tabla compara los tipos y porcentajes de deterioro vial entre la avenida Prado Alto y el estudio internacional de Torres (2023).

5.2.2 A nivel Nacional

Como se observa en la Tabla 26, los resultados de la presente investigación indican que los deterioros más frecuentes en la Av. Prado Alto son el pulimiento de la superficie (25.84 %) y el descascamiento de juntas (17.09 %), seguidos por las grietas longitudinales (13.98 %) y las grietas de esquina (7.85 %). En total, se identificaron catorce tipos de deterioro en la vía evaluada.

Estos hallazgos coinciden en gran medida con los reportados por Lizana y Vargas (2024) en su tesis titulada *Análisis del estado del pavimento rígido en la calle Huamantanga mediante la metodología del Pavement Condition Index (PCI), Jaen – Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unj.edu.pe/items/ffb64506-4e06-40a1-a235-00364eb25cfd>. En dicho estudio, los autores identificaron como deterioros más comunes el pulimiento de la superficie (16.13 %) y el parche grande deteriorado (15.69 %), seguidos por el descascamiento de juntas (14.88 %) y la grieta en bloque (5.40 %).

Estos resultados reflejan una coincidencia en los tipos de deterioro más recurrentes en las vías analizadas, tanto a nivel local como nacional, lo que refuerza la necesidad de priorizar acciones de mantenimiento vial frente a los deterioros más representativos.

Tabla 26

Comparación del tipo de deterioro vial y su incidencia porcentual en la Av. Prado Alto y un estudio nacional

TIPOS DE DETERIORO	INVESTIGACIÓN	
	Local	Nacional
	AV. PRADO ALTO	CALLE HUAMANTANGA (Cajamarca)
	Presente investigación	Lizana y Vargas (2024)
	%	%
pulimentos de superficie	25.84 %	16.13 %
Descascaramiento de juntas	17.09 %	14.88 %
Grietas longitudinales	13.98 %	4.20 %
Grieta en esquina	7.85 %	3.98 %
Grietas de retracción y descamación	6.96 %	2.23 %
Descascaramientos de esquina	6.40 %	2.07 %
Desnivel carril / berma	6.24 %	1.01 %
Parche grande deteriorado	4.96 %	15.69 %
Hundimiento (punzonamiento)	3.79 %	5.40 %
Grieta transversale y/o diagonal	1.89 %	0.00 %
Parches pequeños deteriorados	1.89 %	0.54 %
Grietas en bloque	1.78 %	5.40 %
Desintegraciones, agujeros (popouts)	1.00 %	2.62 %
Escala	0.33 %	2.34 %

Nota. La tabla compara los tipos y porcentajes de deterioro vial entre la avenida Prado Alto y el estudio nacional de Lizana y Vargas (2024).

También como se aprecia en la Tabla 27, los resultados obtenidos en la presente investigación para la Av. Prado Alto reflejan un PCI promedio de 38.19, correspondiente a una condición “mala”. Estos hallazgos guardan una diferencia con los reportados por Huete y Huamán (2021) en su tesis titulada *Evaluación del pavimento rígido aplicando el método PCI del Jiron Caraz cuerdas 7-8-9-Huaraz, Ancash 2021* [tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo], Repositorio institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.1269>

2/75229. En dicho estudio, el autor indica un PCI promedio de 56.67, clasificado como “bueno”.

Dicha comparación pone en evidencia el deterioro significativo de ambas vías urbanas, siendo más favorable en el jirón Caraz. Esto resalta la utilidad de la metodología PCI como herramienta técnica para la evaluación y priorización de intervenciones viales, permitiendo un diagnóstico objetivo y fundamentado.

Tabla 27

Comparación del estado del pavimento mediante el índice PCI en la Av. Prado Alto y un estudio nacional

UNIDADES MUESTREO	INVESTIGACIONES			
	Local		Nacional	
	AV. PRADO ALTO		JIRÓN CARAZ (Ancash)	
	Presente investigación		Huete y Huamán (2021)	
	PCI	CALIFICACIÓN	PCI	CALIFICACIÓN
TOTAL	38.19	MALO	56.67	BUENO

Nota. La tabla compara el estado del pavimento según el índice PCI entre la avenida Prado Alto y Jr. Caraz de Huete y Huamán (2021).

5.2.3 A nivel local

Como se aprecia en la Tabla 28, los resultados obtenidos en la presente investigación para la Av. Prado Alto reflejan un PCI promedio de 38.19, correspondiente a una condición “mala”. Estos hallazgos guardan similitud con los reportados por Farfán Lesly (2023) en su tesis titulada *Factores actuantes en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco en la ciudad de Abancay, 2022* [tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes], Repositorio institucional. <https://repositorio.utea.edu.pe/items/1ddbc562-51ab-484e-aeb4-467b44397fb1>. En dicho estudio, el autor indica un PCI promedio de 21.60, clasificado como “muy malo”.

Dicha comparación pone en evidencia el deterioro significativo de ambas vías urbanas, siendo más crítico en la Prolongación Cusco. Esto resalta la utilidad de la metodología PCI como herramienta técnica para la evaluación y priorización de intervenciones viales, permitiendo un diagnóstico objetivo y fundamentado.

Tabla 28

Comparación del estado del pavimento mediante el índice PCI entre dos vías urbanas locales

UNIDADES MUESTREO	INVESTIGACIONES			
	Local		Local	
	AV. PRADO ALTO		PROLONGACIÓN CUSCO (Abancay)	
	Presente investigación		Farfán Lesly (2023)	
	PCI	CALIFICACIÓN	PCI	CALIFICACIÓN
UM-1	34.38	MALO	25.00	MUY MALO
UM-2	37.53	MALO	26.00	MALO
UM-3	32.81	MALO	27.00	MALO
UM-4	17.61	MUY MALO	17.00	MUY MALO
UM-5	52.88	REGULAR	27.00	MALO
UM-6	13.06	MUY MALO	37.00	MALO
UM-7	29.52	MALO	37.00	MALO
UM-8	39.97	MALO	17.50	MUY MALO
UM-9	48.87	REGULAR	13.00	MUY MALO
UM-10	37.25	MALO	28.00	MALO
UM-11	48.38	REGULAR	18.00	MUY MALO
UM-12	45.66	REGULAR	32.00	MALO
UM-13	36.34	MALO	22.00	MUY MALO
UM-14	46.55	REGULAR	30.00	MALO
UM-15	27.84	MALO	17.00	MUY MALO
UM-16	44.92	REGULAR	10.00	MUY MALO
UM-17	55.72	BUENO	22.00	MUY MALO
UM-18	-	-	17.00	MUY MALO
UM-19	-	-	11.00	MUY MALO
UM-20	-	-	10.00	MUY MALO
UM-21	-	-	14.00	MUY MALO
UM-22	-	-	18.00	MUY MALO
TOTAL	38.19	MALO	21.60	MUY MALO

Nota. La tabla compara el estado del pavimento según el índice PCI entre la avenida Prado Alto y Cusco de Farfán (2023).

Por otra parte, como se aprecia en la Tabla 29, los resultados obtenidos en la presente investigación indican que la proyección del costo anual para el mantenimiento vial del tramo asciende a S/ 587,839.41 soles.

Estos hallazgos guardan una diferencia con los reportados por Atoccsa (2023) en su tesis titulada *Evaluación superficial del pavimento rígido empleando metodología del PCI en la avenida Núñez del distrito de Abancay* [tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio institucional. <https://repositorio.utea.edu.pe/items/4c25c6db-03de-4911-a0f5-96c90bd99818>. En dicho estudio, el autor señala que la proyección del costo anual para el mantenimiento vial del tramo asciende a S/ 216,464.35 soles.

La diferencia registrada entre ambos costos evidencia una mayor severidad de deterioro y una mayor necesidad de intervención en el tramo evaluado, por lo que se requiere aplicar estrategias oportunas de mantenimiento periódico, rehabilitación y reconstrucción.

Tabla 29

Comparativo local de la proyección del costo anual para el mantenimiento vial (av. Prado Alto y av. Núñez)

	INVESTIGACIONES	
	LOCAL	LOCAL
	AV. PRADO ALTO	AV. NÚÑEZ (Abancay)
	Presente investigación	Atoccsa (2023)
	S/	S/
PROYECCIÓN DEL COSTO ANUAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL	S/ 216,464.35 soles	S/ 587,839.41 soles

Nota. Montos en Soles; elaboración propia con base en la presente investigación y Atoccsa (2023).

VI. CONCLUSIONES

CONCLUSIÓN GENERAL

Se ha evaluado la condición del pavimento rígido cuyo diagnóstico arrojó un índice global de 38,19 en la Avenida Prado Alto, empleando metodología del PCI.

CONCLUSIÓN ESPECÍFICOS

Se ha determinado el estado superficial del pavimento rígido que se encuentra en condición MALO en la Avenida Prado Alto, empleando metodología del PCI.

Se ha determinado el tipo de intervención del pavimento rígido que dio como resultado una REHABILITACIÓN MENOR a realizar en la Avenida Prado Alto, empleando metodología del PCI.

Se ha determinado el costo anual estimado del mantenimiento del pavimento rígido que dio como resultado una proyección de S/ 587,839.41 soles en la Avenida Prado Alto, empleando metodología del PCI.

VII. RECOMENDACIONES

RECOMENDACIÓN GENERAL

Se recomienda a las autoridades municipales, ingenieros civiles, contratistas, evaluadores y/o investigadores, que la identificación de los daños de cada una de las losas del pavimento rígido y la clasificación según su nivel de severidad, deben ser de acuerdo al manual del índice de condición del pavimento, para reflejar como resultado un PCI real de los deterioros del pavimento rígido.

RECOMENDACIÓN ESPECIFICAS

Se recomienda sustituir las losas que presentan un nivel de severidad alto y una condición clasificada como "MALO" en los siguientes tramos:

- Tramo 1: losas N.º 01, 04, 10, 12, 18 y 22.
- Tramo 2: losas N.º 04 y 10.
- Tramo 3: losas N.º 01, 02, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 20.
- Tramo 4: losa N.º 15.
- Tramo 5: losas N.º 02, 04, 06, 07, 09 y 13.
- Tramo 6: losas N.º 14 y 20.
- Tramo 7: losas N.º 02, 04, 10, 15, 21 y 22.
- Tramo 9: losa N.º 14.
- Tramo 10: losas N.º 03 y 11.
- Tramo 11: losa N.º 01.
- Tramo 12: losa N.º 02.
- Tramo 13: losas N.º 01, 02, 03, 08, 09, 11, 13, 15, 17, 18 y 21.
- Tramo 15: losas N.º 01, 02, 06, 11, 12, 13, 15 y 19.
- Tramo 16: losas N.º 14, 15, 17, 19 y 20.
- Tramo 17: losas N.º 02, 05, 06 y 12.

Se recomienda que la rehabilitación menor del pavimento rígido debe consistir en: Sellado de grietas de media severidad y parcheo profundo de las grietas de alta severidad o en caso contrario reemplazo de la losa por nuevo; renovación por nuevo a concretos de las losas divididas de media y alta severidad; resellado de las juntas asfálticas; reemplazo del parche grande y pequeño de media y alta severidad; parchado de baches y punzonamientos; construcción de cunetas laterales con mayor altura, profundizar la base para obtener mayor sección de la cuneta sin alterar los anchos de la berma y la calzada.

Se recomienda a los gobiernos locales y a las empresas constructoras ejecutar oportunamente el mantenimiento preventivo, para evitar que el deterioro avance hasta requerir intervenciones mayores (rehabilitación o reconstrucción). Con ello se reducirán costos futuros y se prolongará la vida útil del pavimento.

VIII. REFERENCIAS

- Atoccsa, R. (2023). *Evaluación superficial del pavimento rígido empleando metodología del PCI en la avenida Núñez del distrito de Abancay* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio institucional. <https://repositorio.utea.edu.pe/items/4c25c6db-03de-4911-a0f5-96c90bd99818>
- ASTM INTERNACIONAL D6433 (2020). *Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos*. APWA.
- Cárdenas, J. (2023). *Evaluación de las vías urbanas en el cantón Ambato del sector comprendido entre la av. Los Guaytambos, Club Tungurahua, Las Azaleas, Los Nísperos, Las Magnolias, Las Pomarrosas, Los Mangostinos, Chamburos, Las Aceitunas* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/3f895715-1f67-4b3d-b376-65e2554d43ef>
- Cruz, J. y Vaca, J. (2021). *Evaluación del pavimento rígido y propuesta de intervención en el distrito de Guzmango, Contumazá, Cajamarca, 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/79097>
- Ccasani, M. y Ferro, Y. (2018). *Evaluación y Análisis de Pavimentos en la Ciudad de Abancay, para Proponer una Mejor Alternativa Estructural en el Diseño de Pavimentos* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio institucional. <https://repositorio.utea.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f3eeaa26-c910-4063-aaa5-11127c49e15c/content>
- Espinoza, R (2023). *Aplicación de la Metodología PCI en la Avenida Bolívar Maderos Vargas de la Abscisa 0+00 a 1+00 km* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio institucional. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/items/717b0d2a-ab38-4687-a31e-523a6f0a2932>
- Fundora, G. (2019). *Conservación de carreteras* (1ra ed.). Alfaomega.

- Farfán, L. (2023). *Factores actuantes en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco en la ciudad de Abancay, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio institucional. <https://repositorio.utea.edu.pe/items/1ddbc562-51ab-484e-aeb4-467b44397fb1>
- Gutiérrez, W. (2018). *Mecánica de suelos aplicada a vías de transporte* (1ra ed.). Macro.
- Huete, J. y Huamán, J. (2021). *Evaluación del pavimento rígido aplicando la metodología PCI del Jirón Caraz cuadras 7-8-9–Huaraz, Ancash 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/75229>
- Leyton, D (2023). *Evaluación De Las Vías Urbanas En El Cantón Ambato Del Sector Comprendido Entre La Calle Galápagos, Av. El Rey, Urdaneta, Av. Bolivariana, Vega Y Cadena, Av. Los Andes, Av. Las Américas, C. Sabanilla, Colimes, Chepatan, C. Tinajillas, Loma Redonda, Cam. Del Rey, Queseras Del Medio. Cataguango* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/72bfaea2-f39b-4af2-a3b0-6138a11b28b5>
- Leandro, M. (2024). *Diagnóstico del pavimento rígido de la Av. Juan Velasco Alvarado aplicando la metodología PCI, distrito de Pillco Marca Huánuco 2023* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional. <https://repositorio.u dh.edu.pe/handle/20.500.14257/5487;jsessionid=BC5A31EFA85435302729EE5768C68AAA>
- Lizana, C. y Vargas, J. (2024). *Análisis del estado del pavimento rígido en la calle Huamantanga mediante la metodología del Pavement Condition Index (PCI), Jaén – Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unj.edu.pe/items/ffb64506-4e06-40a1-a235-00364eb25cfd>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de carreteras mantenimiento o conservación vial*. Dirección general de caminos y ferrocarriles.

- Moisés, B. (2018). *Diseño del proyecto de investigación científica*. San Marcos.
- Morales, P. (2018). *Construcción y conservación de vías* (1ra ed.). Escuela colombiana de ingeniería.
- Oblitas, B., Medina, I., & Paredes C. (2021). Índice de regularidad internacional e índice de condición de pavimento para definir niveles de serviciabilidad de pavimentos. *Iteckne*, 18(2), 170-175. <https://doi.org/10.15332/iteckne.v18i2.2616>
- Priyo D. (2023). Análisis de Daños en el Pavimento Rígido de la Carretera Mediante la Metodología Bina Marga y la Metodología PCI (Índice de Condición del Pavimento) Estudio de Caso en la Carretera Lintas Muara Tembesi – Muara Bulian. *JCETS*. 2(2), 1-18. <https://doi.org/10.56444/jcets.v2i2>
- Pedraza, G., Camacho, J., & Porras, H. (2024). Aproximación al diseño conceptual de la gestión de carreteras inteligentes: una referencia a modelos de participación pública-privada. *UIS Ingenierías*, 23(1), 159-174. <https://doi.org/10.18273/revuin.v23n1-2024013>
- Purnamasari y Dwidarma (2023). Development of Pavement Deterioration Model for Rigid Pavement (Case Study: Cikopo-Palimanan Toll Road). *ICOBAR*, 4(2), 1-6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342602090>
- Rubio, M. (2021). Gestión de mantenimiento vial y su relación con la satisfacción de los usuarios de Lima Metropolitana, 2022. *Alpha Centauri*. 4(2), 22-28. <https://doi.org/10.47422/ac.v4i2.145>
- Pérez, D (2021). *Diagnóstico de pavimentos mediante la metodología PCI y análisis de la influencia del mal estado de la vía con relación al número de accidentes presentados en la av. La victoria (carrera 4 este) entre calle 37 sur y calle 27a sur* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/20059f71-2f5a-4221-9331-f7f9173ca799>

- Ramírez, D., & Valenzuela, L. (2023). Plan de mantenimiento periódico del pavimento en el tramo paradero las retamas – puente los ángeles. *Revista infraestructura vial*, 25(44), 1-13. <https://doi.org/10.15517/iv.v25i44.51309>
- Ramírez, D. y Oroz, J. (2024). *Propuesta de Plan para la Identificación y Reparación de Zonas Críticas en Pavimentos Urbanos, Mediante la Evaluación Superficial de Pavimentos por la Metodología PCI: Aplicación en Una Avenida de Lima, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio institucional. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/674706>
- Salomón, E. (2003). *Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas – Guía conceptual* (1era ed.). Oficina Subregional de los países Andinos
- Solminihac, H., Echaveguren, T., & Chamorro A. (2019). *Gestión de infraestructura vial* (3ra ed.). Universidad Católica de Chile.
- Solminihac, H. (2005). *Gestión de infraestructura vial* (3ra ed.). Universidad Católica de Chile.
- Sotil, A. (2014). Propuesta de sistema de gestión de pavimentos para municipalidades y gobiernos locales. *Revista Infraestructura vial*, 16(28), 13-24. <https://www.redalyc.org/pdf/4782/478247257002.pdf>
- Torres, B (2023). *Evaluación de la superficie del pavimento de la vía Loja – Saraguro, tramo abscisas 37+000 – 47+000* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja]. Repositorio institucional. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/30519>
- Vásquez, V. (2002). *Ingeniería de pavimentos*. Ingepav
- Zhaohui, L., Shiqing, Y., & You, H. (2022). A systematic review of rigid - flexible composite pavement. *Science Direct*, 4(2), 203-223. <https://doi.org/10.1016/j.jreng.2024.02.001>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes