

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

## **ESCUELA DE POSGRADO**



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**

### **TESIS:**

**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DEL PAVIMENTO  
RÍGIDO DE LA CALLE JR. TÚPAC AMARU, TRAMO JR.  
LIBERTAD – CARRETERA INTERPROVINCIAL 3N, DISTRITO DE  
NAMORA, CAJAMARCA, APLICANDO LAS NORMAS NTP  
339.034 Y ASTM D6433-03**

Para optar el Grado Académico de

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

Presentado por:

**CARLOS ALBERTO CACHI RAMÍREZ**

Asesor:

**Dr. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS**

Cajamarca, Perú

2025




**Universidad  
Nacional de  
Cajamarca**  
"Norte de la Universidad Peruana"



## **CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD**

1. Investigador:  
Carlos Alberto Cachi Ramirez  
DNI: 42195518  
Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. Programa de Maestría en Ciencias,  
Mención: Ingeniería y Gerencia de la Construcción.
  2. Asesor: Dr. Mauro Augusto Centurión Vargas
  3. Grado académico o título profesional  
☐ Bachiller ☐ Título profesional ☐ Segunda especialidad  
☒ Maestro ☐ Doctor
  4. Tipo de Investigación:  
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional  
☐ Trabajo académico
  5. Título de Trabajo de Investigación:  
Evaluación Estructural y Funcional del Pavimento Rígido de la calle Jr. Túpac Amaru,  
Tramo Jr. Libertad – Carretera Interprovincial 3N, distrito de Namora, Cajamarca,  
aplicando las normas NTP 339.034 y ASTM D6433-03
  6. Fecha de evaluación: **19/01/2026**
  7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (\*)
  8. Porcentaje de Informe de Similitud: **24%**
  9. Código Documento: **3117:547447336**
  10. Resultado de la Evaluación de Similitud:  
☒ **APROBADO** ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO
- Fecha Emisión: **20/01/2026**

<small>Firma y/o Sello Emisor Constancia</small>
 <hr style="width: 20%; margin: auto;"/> <small>Dr. Mauro Augusto Centurión Vargas DNI: 26604421</small>

\* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2025 by  
**CARLOS ALBERTO CACHI RAMIREZ**  
Todos los derechos reservados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD

ESCUELA DE POSGRADO

CAJAMARCA – PERU

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS


ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS





Siendo las 10:00 horas, del día 3 de Noviembre de dos mil veinticinco, reunidos en el Aula 1Q-205 de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **DR. HERMES ROBERTO MOSQUEIRA RAMÍREZ, DRA. YVONNE KATHERINE FERNÁNDEZ LEÓN, M. CS. RONALD JESÚS SALAS BERROSPI** y en calidad de Asesor el **DR. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestrías y Doctorados de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la Sustentación de la TESIS titulada: **“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DEL PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CALLE JR. TÚPAC AMARU, TRAMO JR. LIBERTAD – CARRETERA INTERPROVINCIAL 3N, DISTRITO DE NAMORA, CAJAMARCA, APLICANDO LAS NORMAS NTP 339.034 Y ASTM D6433-03”**, presentada por el bachiller en Ingeniería Civil **CARLOS ALBERTO CACHI RAMIREZ**.


Realizada la exposición de la TESIS y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBAR con la calificación de 16 (DIECISEIS) – BUENO la mencionada TESIS; en tal virtud, el bachiller en Ingeniería Civil, **CARLOS ALBERTO CACHI RAMIREZ**, se encuentra apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de **INGENIERÍA**, con mención en **INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

Siendo las 11:00 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

  
.....  
**Dr. Mauro Augusto Centurión Vargas**  
Asesor

  
.....  
**Dr. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez**  
Jurado Evaluador

  
.....  
**Dra. Yvonne Katherine Fernández León**  
Jurado Evaluador

  
.....  
**M. Cs. Ronald Jesús Salas Berrospi**  
Jurado Evaluador

## **DEDICATORIA**

A: Dios, mis padres: Alejandro y Julia, hijos: Carlos Adrián y Marcela Adriana,  
hermanos y esposa.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca por haber impartido sabios conocimientos a través de la Maestría en Ciencias, Sección: Ingeniería, Mención: Ingeniería y Gerencia de la Construcción, a mi asesor de tesis Dr. Mauro Augusto Centurión Vargas, y a los integrantes del Jurado Evaluador conformado por: Dr. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez, Dra. Yvonne Katherine Fernández León, y M. Cs. Ronald Jesús Salas Berrospi.

El fracaso es una gran oportunidad para empezar otra vez con más inteligencia

**Henry Ford**

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.1.1 Contextualización .....	2
1.1.2 Descripción del Problema: .....	3
1.1.3 Formulación del Problema .....	5
1.2 Justificación e importancia .....	6
1.3 Delimitación de la investigación .....	6
1.4 Limitaciones.....	7
1.5 Objetivos .....	7
1.5.1 Objetivo General .....	7
1.5.2 Objetivos Específicos .....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	9
2.1 Antecedentes de la investigación o marco referencial .....	9
2.1.1 Antecedentes internacionales .....	9
2.1.2 Antecedentes nacionales .....	11
2.1.3 Antecedentes locales .....	13
2.2 Marco doctrinal .....	14
2.3 Marco legal: .....	17
2.4 Marco conceptual .....	18
2.4.1 Pavimentos:.....	18
2.4.2 Clasificación de Pavimentos.....	19
2.4.3 Componentes de un pavimento .....	20



<b>2.4.4 Funciones del pavimento .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.5 Normativas de diseño y evaluación .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.6 Deterioros comunes .....</b>	<b>26</b>
<b>2.4.7 Métodos de evaluación de pavimentos .....</b>	<b>43</b>
<b>2.4.8 Método del Índice de Condición del Pavimento (PCI) .....</b>	<b>45</b>
<b>2.4.9 Las normas NTP 339.034 y ASTM D6433-03 .....</b>	<b>56</b>
<b>2.5 Definición de términos básicos .....</b>	<b>59</b>
<b>2.5.1 Pavimento rígido.....</b>	<b>59</b>
<b>2.5.2 Evaluación estructural .....</b>	<b>59</b>
<b>2.5.3 Evaluación funcional .....</b>	<b>59</b>
<b>2.5.4 Índice de Condición del Pavimento (PCI).....</b>	<b>60</b>
<b>2.5.5 ASTM D6433-03 .....</b>	<b>60</b>
<b>2.5.6 NTP 339.034.....</b>	<b>60</b>
<b>2.5.7 Tramo vial.....</b>	<b>60</b>
<b>2.5.8 Gestión de pavimentos.....</b>	<b>60</b>
<b>2.5.9 Deterioro superficial.....</b>	<b>61</b>
<b>2.5.10 Mantenimiento y rehabilitación vial.....</b>	<b>61</b>
 <b>CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS Y VARIABLES ...</b>	 <b>62</b>
<b>3.1 Hipótesis.....</b>	<b>62</b>
<b>3.1.1 Hipótesis General.....</b>	<b>62</b>
<b>3.1.2 Hipótesis Específicas.....</b>	<b>62</b>
<b>3.2 Variables .....</b>	<b>63</b>
<b>3.2.1 Variable 1: Condición estructural del pavimento rígido.....</b>	<b>63</b>
<b>3.2.2 Variable 2: Condición funcional del pavimento rígido .....</b>	<b>63</b>
<b>3.3 Operacionalización / categorización de los componentes de las hipótesis ...</b>	<b>65</b>

<b>CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>66</b>
4.1 Ubicación geográfica del estudio .....	66
4.2 Métodos de investigación .....	66
4.2.1 Población de estudio .....	66
4.2.2 Muestra .....	67
4.2.3 Unidad de Análisis .....	67
4.2.4 Unidades de observación .....	68
4.2.5 Técnicas e instrumentos de recopilación de información .....	68
4.3 Procedimiento .....	79
4.3.1 Fase de campo .....	79
4.3.2 Fase de laboratorio .....	82
4.3.3 Fase de gabinete .....	84
<b>CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>87</b>
5.1 Presentación de resultados .....	87
5.1.1 Determinación de la resistencia del concreto ( $F'_c$ ) a través de ensayo de compresión. ....	87
5.1.2 Por el Método de Condición del Pavimento (PCI) .....	94
5.2 Análisis, interpretación y discusión de resultados .....	101
5.2.1 Condición funcional del pavimento .....	101
5.2.2 Resistencia y espesor del concreto .....	103
5.2.3 Tamaño máximo de agregado .....	104
5.2.4 Propuestas de mantenimiento y rehabilitación .....	106
5.3 Contrastación de hipótesis .....	107
5.3.1 Contrastación de la hipótesis general .....	107
5.3.2 Contrastación de la hipótesis específica 1 .....	108
5.3.3 Contrastación de la hipótesis específica 2 .....	108
5.3.4 Contrastación de la hipótesis específica 3 .....	109

<b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>110</b>
<b>6.1 Conclusiones .....</b>	<b>110</b>
<b>6.1.1 Conclusión general .....</b>	<b>110</b>
<b>6.1.2 Conclusiones específicas .....</b>	<b>110</b>
<b>6.2 Recomendaciones.....</b>	<b>113</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>114</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>117</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Manual de Daños en Vías con Superficie en Concreto .....	28
<b>Tabla 2</b> Formato para la inspección de pavimentos de concreto hidráulico (PCI-02) ...	48
<b>Tabla 3</b> Formato para la obtención del máximo valor deducido corregido.....	55
<b>Tabla 4</b> Dimensiones y Categorías de la variable: Condición estructural del pavimento rígido .....	63
<b>Tabla 5</b> Dimensiones y categorías de la variable: Condición funcional del pavimento rígido .....	64
<b>Tabla 6</b> Matriz de operacionalización de variables.....	65
<b>Tabla 7</b> Matriz de consistencia metodológica .....	77
<b>Tabla 8</b> Calles seleccionadas con nomenclatura de testigos extraídos con diamantina. 87	
<b>Tabla 9</b> Resistencia a la compresión corregida de testigos extraídos con diamantina... 88	
<b>Tabla 10</b> Comparación de espesores de losa, tamaño máximo de agregados y resistencia del concreto .....	89
<b>Tabla 11</b> Características de la Calidad del Concreto de la Losa del Pavimento .....	91
<b>Tabla 12</b> Equivalencias para determinar la calidad del concreto del pavimento.....	92
<b>Tabla 13</b> Procedimiento de preparación según muestra.....	122

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Comparación de los pavimentos flexibles y rígidos .....	20
<b>Figura 2</b> Componentes de un pavimento rígido: losa de concreto, base, subbase y subrasante. ....	22
<b>Figura 3</b> Funciones principales del pavimento.....	24
<b>Figura 4</b> Deterioros comunes del pavimento.....	28
<b>Figura 5</b> Métodos de evaluación de pavimentos .....	43
<b>Figura 6</b> Rangos de Clasificación del PCI .....	47
<b>Figura 7</b> Valor deducido total vs Valor deducidos corregido .....	54
<b>Figura 8</b> Plano a escala respectiva del tramo evaluado.....	66
<b>Figura 9</b> Procedimiento de la fase de campo.....	81
<b>Figura 10</b> Procedimiento de la fase de laboratorio .....	84
<b>Figura 11</b> Procedimiento de la fase de gabinete .....	86
<b>Figura 12</b> Resultados de deterioros superficiales en la unidad de muestra U9, según método PCI.....	94
<b>Figura 13</b> Resultados de deterioros superficiales en la unidad de muestra U10, según método PCI.....	96
<b>Figura 14</b> Resultados de deterioros superficiales en la unidad de muestra U11, según método PCI.....	98
<b>Figura 15</b> Resultados de deterioros superficiales en la unidad de muestra U12, según método PCI.....	100
<b>Figura 16</b> Muestra M1- Probeta antes de ser sometida a ensayo de compresión simple .....	117
<b>Figura 17</b> Muestra M1 después de ser sometida a ensayo de compresión simple .....	117
<b>Figura 18</b> Muestra M2 antes de ser sometida a ensayo de compresión simple.....	118
<b>Figura 19</b> Muestra M2 después de ser sometida a ensayo de compresión simple .....	118
<b>Figura 20</b> Muestra M3 antes de ser sometida a ensayo de compresión simple.....	119
<b>Figura 21</b> Muestra M3 después de ser sometida a ensayo de compresión simple .....	119
<b>Figura 22</b> Muestra M4 antes de ser sometida a ensayo de compresión simple.....	120
<b>Figura 23</b> Muestra M4 después de ser sometida a ensayo de compresión simple .....	120
<b>Figura 24</b> Muestra M5 antes de ser sometida a ensayo de compresión simple.....	121
<b>Figura 25</b> Muestra M5 después de ser sometida a ensayo de compresión simple .....	121

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar estructural y funcionalmente el pavimento rígido de la calle Jr. Túpac Amaru, entre el Jr. Libertad y la Carretera Interprovincial 3N, en el distrito de Namora, Cajamarca, aplicando las normas NTP 339.034 y ASTM D6433-03. El estudio se realizó en 2017 y corresponde a una investigación aplicada de enfoque descriptivo y explicativo. Aunque los resultados reflejan la condición del pavimento en ese año y no representan su estado actual; sin embargo, la metodología empleada mantiene plena validez técnica y es aplicable en evaluaciones realizadas en 2025, dado que los criterios normativos se mantienen vigentes.

La metodología incluyó tres fases: campo, laboratorio y gabinete. En campo se aplicó el método PCI para identificar y clasificar deterioros; en laboratorio se evaluó la resistencia a compresión y el espesor real de las losas mediante núcleos extraídos; y en gabinete se procesaron los datos y se compararon con los valores normativos establecidos.

Los resultados indicaron un PCI promedio de 55 (“Regular”), una resistencia promedio de 187.49 kg/cm<sup>2</sup> inferior al mínimo de 210 kg/cm<sup>2</sup> exigido por la NTP 339.034 y un espesor medio de 18.64 cm frente a los 20 cm proyectados. Estos hallazgos evidenciaron deficiencias estructurales y funcionales que justificaban la necesidad de aplicar medidas de mantenimiento correctivo y acciones de rehabilitación.

**Palabras clave:** pavimento rígido, deterioro estructural, condición funcional, PCI, resistencia del concreto, NTP 339.034, ASTM D6433-03

## ABSTRACT

The present research aimed to evaluate the structural and functional condition of the rigid pavement of Jr. Túpac Amaru, between Jr. Libertad and the 3N Interprovincial Road, in the district of Namora, Cajamarca, following the NTP 339.034 and ASTM D6433-03 standards. The study was carried out in 2017 and corresponds to an applied research with a descriptive and explanatory approach. Although the results reflect the pavement's condition in 2017 and do not represent its current state, the methodology used retains full technical validity and remains applicable to evaluations conducted in 2025, as the normative criteria are still in force.

The methodology was developed in three phases: fieldwork, laboratory testing, and cabinet analysis. Fieldwork involved applying the PCI method to identify and classify surface distresses; laboratory testing examined compressive strength and slab thickness using extracted cores; and cabinet analysis processed the collected data and compared them with the established normative values.

The results indicated an average PCI of 55 ("Regular"), an average compressive strength of 187.49 kg/cm<sup>2</sup> below the minimum 210 kg/cm<sup>2</sup> required by NTP 339.034 and an average slab thickness of 18.64 cm compared to the 20 cm design thickness. These findings revealed structural and functional deficiencies that justified the need for corrective maintenance and rehabilitation actions.

**Keywords:** rigid pavement, structural deterioration, functional condition, PCI, concrete strength, NTP 339.034, ASTM D6433-03

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Planteamiento del problema**

En el distrito de Namora, provincia de Cajamarca, la calle Jr. Túpac Amaru constituye una vía de tránsito urbano e interurbano que conecta sectores residenciales con la carretera interprovincial 3N. Se trata de un eje fundamental para la movilidad local y regional, pues soporta diariamente el flujo vehicular destinado al transporte de personas y mercancías. No obstante, el pavimento rígido que la conforma evidencia un deterioro progresivo, manifestado en la presencia de baches, grietas longitudinales y transversales, fisuras en esquina y daños en los sellos de juntas. Estas fallas reducen la comodidad de los usuarios, elevan los costos de operación vehicular y acortan la vida útil de la infraestructura.

La ausencia de un mantenimiento periódico y el deficiente control durante la etapa constructiva han acelerado el deterioro de la vía. Estudios similares efectuados en la región Cajamarca, como los de Bernuy (2022), Tello (2021) y Cruz & Vaca (2021), han reportado valores de PCI en categorías “Regular” o “Malo”, lo que evidencia una problemática recurrente en los pavimentos urbanos de la zona. Sin embargo, en Namora aún no se ha realizado un diagnóstico integral que permita evaluar, de manera estructural y funcional, el pavimento rígido del Jr. Túpac Amaru conforme a criterios normativos reconocidos, como la NTP 339.034 y la ASTM D6433-03.

La falta de este tipo de evaluaciones limita la capacidad de las autoridades locales para planificar intervenciones de conservación oportunas, generando repercusiones sociales y económicas: mayores costos de rehabilitación futura, incremento en los tiempos de viaje, afectación de la seguridad vial y disminución de la competitividad urbana. En este contexto, se hace necesaria una investigación



que determine con rigor técnico el estado actual del pavimento, identifique las causas de su deterioro y proponga alternativas de mantenimiento correctivo que contribuyan a la sostenibilidad de la infraestructura vial.

### **1.1.1 Contextualización**

A nivel mundial, la infraestructura vial constituye un pilar fundamental para el desarrollo económico y social, ya que facilita la integración territorial, el comercio y el acceso a servicios básicos esenciales, contribuyendo de manera directa a la mejora de la calidad de vida de la población (World Bank, 2022). En América Latina, los pavimentos rígidos constituyen una solución cada vez más utilizada debido a su durabilidad y menor necesidad de mantenimiento en comparación con los pavimentos flexibles (Rodríguez & Gómez, 2021). Sin embargo, diversos estudios reportan que los altos costos iniciales y las deficiencias en el diseño y ejecución reducen su vida útil efectiva (Pérez et al., 2020).

En el Perú, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2021) ha señalado que un porcentaje significativo de la red vial presenta deterioros prematuros, lo que genera mayores costos de operación vehicular y reduce la seguridad vial. Cajamarca no es ajena a esta problemática; en el distrito de Namora, la calle Jr. Túpac Amaru constituye un eje fundamental de conexión entre la zona urbana y la Carretera Interprovincial 3N, registrando un tráfico creciente de vehículos de carga y transporte público. Estas condiciones han acelerado el deterioro del pavimento rígido, lo que hace necesaria una evaluación estructural y funcional para determinar su estado actual y definir acciones de mantenimiento o rehabilitación.

Desde el punto de vista técnico, la evaluación del pavimento rígido se fundamenta en métodos estructurales y funcionales. La norma ASTM D6433-03 establece el uso del Pavement Condition Index (PCI) como indicador para cuantificar el estado superficial del pavimento, mientras que la norma NTP 339.034 proporciona lineamientos para la extracción y ensayo de testigos de concreto en pavimentos. Según Shahin (2005), el PCI es una herramienta confiable que permite correlacionar el deterioro visual con el desempeño esperado de la estructura. De igual modo, la literatura especializada resalta la importancia de combinar métodos estructurales y funcionales para obtener un diagnóstico integral (Huang, 2012). En este contexto, aplicar dichas metodologías a la calle Jr. Túpac Amaru permitirá establecer un diagnóstico técnico preciso y proponer soluciones basadas en evidencia científica.

### **1.1.2 Descripción del Problema:**

El pavimento rígido del tramo de la calle Jr. Túpac Amaru, entre el Jr. Libertad y la carretera interprovincial 3N, fue construido aproximadamente en el año 2010, por lo que al momento de la evaluación (2017) tenía una edad de 7 años de servicio. Este periodo de uso constituye un factor relevante para el análisis, dado que la vida útil proyectada de un pavimento rígido en condiciones óptimas es superior a los 20 años, y el estado actual evidencia un deterioro prematuro, pues presenta una serie de deterioros que afectan su rendimiento estructural y funcional. Entre los principales daños detectados a simple vista se encuentran fisuras de diferentes tipos y tamaños, pérdida de textura superficial, desprendimientos, desgaste localizado y posibles deformaciones o fallas

en la losa. Estas condiciones son indicativas de un desgaste progresivo que, de no ser atendido oportunamente, podría derivar en fallas más severas que comprometan la seguridad vial y la capacidad de servicio del pavimento.

Este deterioro puede estar relacionado con diversas causas, entre ellas, deficiencias en las características del material de construcción, como una resistencia insuficiente del concreto, un espesor inadecuado de la losa o un tamaño inapropiado de los agregados, aspectos que son regulados por la Norma Técnica Peruana NTP 339.034. Además, la ausencia de un análisis sistemático basado en la Norma ASTM D6433-03 para clasificar y medir la severidad de los daños dificulta la priorización y planificación de las intervenciones necesarias para la rehabilitación o mantenimiento.

Sin un diagnóstico riguroso y técnico que permita cuantificar y clasificar con precisión el estado del pavimento, las autoridades municipales y regionales se ven limitadas para implementar planes efectivos que optimicen los recursos y garanticen la prolongación de la vida útil del pavimento. Por ello, es fundamental llevar a cabo una evaluación detallada y conforme a normas técnicas reconocidas, que permita conocer el estado real del pavimento y orientar adecuadamente las acciones de gestión vial.

En este sentido, el pavimento rígido de la calle Jr. Túpac Amaru, tramo Jr. Libertad – Carretera Interprovincial 3N, en el distrito de Namora, presenta un deterioro progresivo que afecta tanto su capacidad estructural como su nivel de servicio, comprometiendo la seguridad y eficiencia del tránsito vehicular. La ausencia de una evaluación técnica actualizada que determine de manera objetiva su condición bajo los parámetros de las

normas NTP 339.034 y ASTM D6433-03 constituye el problema central de esta investigación. Por ello, surge la necesidad de realizar un estudio que permita diagnosticar el estado estructural y funcional del pavimento, a fin de orientar decisiones sobre mantenimiento y rehabilitación.

### **1.1.3 Formulación del Problema**

#### **1.1.3.1 Problema General**

¿Cuál es el estado estructural y funcional del pavimento rígido de la calle Jr. Túpac Amaru, en el tramo comprendido entre Jr. Libertad y la Carretera Interprovincial 3N del distrito de Namora, Cajamarca, evaluado mediante la aplicación de las normas NTP 339.034 y ASTM D6433-03?

#### **1.1.3.2 Problemas específicos**

- ¿Cuál es el Índice de Condición del Pavimento (PCI) del tramo evaluado según ASTM D6433-03?
- ¿Cuál es la resistencia a compresión del concreto del pavimento rígido, determinada mediante núcleos extraídos conforme a la NTP 339.034?
- ¿Cuál es el espesor real de las losas del pavimento rígido y cómo se compara con el espesor proyectado en el diseño?
- ¿Qué acciones de mantenimiento o rehabilitación se deben plantear de acuerdo con los resultados estructurales y funcionales obtenidos?

## **1.2 Justificación e importancia**

La presente investigación se justifica en el ámbito científico por su contribución al conocimiento en el campo de la ingeniería civil, específicamente en la evaluación estructural y funcional de pavimentos rígidos bajo condiciones reales de servicio. El estudio aplica de manera integrada metodologías normadas internacionalmente (ASTM D6433-03 para el cálculo del PCI y NTP 339.034 para el análisis de testigos de concreto), lo cual permite generar evidencia confiable sobre el desempeño del pavimento en el distrito de Namora, Cajamarca. Este aporte resulta relevante porque en la literatura nacional existen pocos estudios que documenten de manera sistemática el uso conjunto de estos procedimientos para caracterizar pavimentos en contextos urbanos intermedios. Asimismo, los resultados obtenidos fortalecen la base científica para la toma de decisiones en el mantenimiento y rehabilitación de pavimentos rígidos, aportando criterios técnicos que pueden ser replicados en otras ciudades del país con condiciones similares.

## **1.3 Delimitación de la investigación**

La delimitación del estudio abarca el tramo urbano de la calle Jr. Túpac Amaru, entre Jr. Libertad y la carretera interprovincial 3N, en el distrito de Namora, evaluado durante el año 2017. Las probetas extraídas para ensayos de laboratorio corresponden a dicho año, lo que garantiza que los resultados reflejan la condición del pavimento en el momento de la investigación. El estudio se centró exclusivamente en la evaluación estructural y funcional del pavimento rígido existente, aplicando los parámetros establecidos en las normas NTP 339.034 y ASTM D6433-03.

## **1.4 Limitaciones**

Entre las limitaciones del estudio se encuentran:

- La evaluación se circunscribió únicamente a un tramo específico de la vía, por lo que los resultados no son generalizables a toda la red vial del distrito.
- El análisis se basó en los métodos PCI y ensayos de resistencia de concreto, sin incluir otras técnicas complementarias como deflectometría o modelación computacional avanzada.
- Los datos obtenidos reflejan las condiciones presentes al momento de la investigación, pudiendo variar en el tiempo debido a factores ambientales y al incremento del tránsito vehicular.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Determinar el estado estructural y funcional del pavimento rígido de la calle Jr. Túpac Amaru, en el tramo comprendido entre Jr. Libertad y la Carretera Interprovincial 3N del distrito de Namora, Cajamarca, mediante la aplicación de las normas NTP 339.034 y ASTM D6433-03.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Determinar el Índice de Condición del Pavimento (PCI) del tramo evaluado conforme a la norma ASTM D6433-03.
- Determinar la resistencia a la compresión del concreto del pavimento mediante ensayos a núcleos extraídos según la NTP 339.034.
- Verificar el espesor real de las losas del pavimento rígido y compararlo con el espesor proyectado en el diseño.
- Determinar el tamaño máximo de agregado y compararlo con lo estipulado en el rango normativo.

- Proponer acciones de mantenimiento y rehabilitación en función de los resultados estructurales y funcionales obtenidos.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes de la investigación o marco referencial**

#### **2.1.1 Antecedentes internacionales**

Fan et al. (2020) desarrollaron una investigación aplicada que tuvo como propósito diseñar un sistema de inspección automatizada para la detección y medición de deterioros en pavimentos rígidos y flexibles, empleando redes neuronales convolucionales profundas (CNN). El estudio se realizó en la Universidad de Cornell, con una base de datos de más de 20 000 imágenes de carreteras en diversos niveles de daño. El método incluyó el entrenamiento de modelos CNN para clasificar y segmentar grietas longitudinales, transversales, en esquina y fallas en juntas, utilizando métricas de precisión, sensibilidad y valor F1.

Los resultados mostraron una precisión del 92.3 % en la detección general de grietas y una tasa de error menor al 7 %, demostrando una correlación directa con los registros visuales de campo. Los autores concluyeron que la integración de inteligencia artificial mejora la objetividad de la inspección y reduce el margen de error humano. El aporte de este antecedente es reafirmar la relevancia del registro fotográfico georreferenciado y la codificación de deterioros como herramientas fundamentales para la evaluación funcional que se aplicó en el Jr. Túpac Amaru.

Majidifard et al. (2020) desarrollaron un índice estructural predictivo para pavimentos rígidos, utilizando técnicas de aprendizaje profundo y datos de campo. El objetivo fue correlacionar los parámetros estructurales (espesor, resistencia y módulo del concreto) con el deterioro funcional



medido por el PCI. El estudio procesó información de 1 500 secciones viales con tráfico medio-alto y condiciones ambientales variables.

Los resultados evidenciaron que los pavimentos con resistencias menores a 25 MPa ( $\approx 255 \text{ kg/cm}^2$ ) perdían entre 4 y 6 puntos de PCI por año, mientras que los de mayor resistencia ( $> 30 \text{ MPa}$ ) solo 1.5 a 2 puntos/año. Asimismo, se determinó que una disminución de 2 cm de espesor reducía la vida útil en un 18 %. Los autores concluyeron que la interacción entre la capacidad estructural y el deterioro superficial puede ser modelada cuantitativamente. Este antecedente aporta a la presente investigación al sustentar la importancia de correlacionar la resistencia a la compresión y el espesor real con los valores del PCI, tal como se realizó en la evaluación del tramo de Namora.

Naddaf-Sh et al. (2020) propusieron un modelo híbrido de redes neuronales para detectar daños en pavimentos rígidos a partir de imágenes aéreas y terrestres. El estudio se llevó a cabo en Texas, con la finalidad de crear un sistema escalable que pueda integrarse en planes de gestión vial. Se utilizaron más de 12 000 imágenes de carreteras, procesadas mediante algoritmos de segmentación y aprendizaje profundo.

Los resultados indicaron una precisión del 90.7 % para la detección de grietas en esquina, 88.4 % para fallas en juntas y 94 % para desprendimientos mayores a 2 cm, con un error inferior al 5 %. Los autores concluyeron que el uso de registros visuales y bases de datos fotográficas sistematizadas permite fortalecer la evaluación funcional de los pavimentos. Su aporte radica en reforzar la pertinencia del procedimiento fotográfico aplicado en esta tesis, ya que en el estudio del Jr. Túpac Amaru

se empleó también una documentación fotográfica detallada para garantizar la trazabilidad de los deterioros identificados.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

Gómez y Ortega (2020) elaboraron un compendio técnico nacional sobre diagnóstico y mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles en el Perú. Su objetivo fue unificar los procedimientos de conservación vial bajo criterios técnicos y normativos actualizados. La metodología combinó revisión documental, análisis de deterioros en 36 tramos urbanos y validación de procedimientos mediante PCI y mediciones estructurales.

Los resultados evidenciaron que los pavimentos rígidos urbanos presentaban principalmente grietas en esquina (34 % de incidencia), fallas en juntas (28 %) y baches superficiales (19 %). Se concluyó que la evaluación funcional mediante el método PCI permite planificar intervenciones oportunas, logrando reducir los costos de mantenimiento en un 22 %. Este antecedente aporta un marco técnico-normativo que respalda la utilización del PCI en la presente investigación, así como la clasificación de deterioros según la severidad establecida por ASTM D6433-03.

Rodríguez y Mejía (2019) realizaron un estudio comparativo del desempeño estructural de pavimentos rígidos en 10 ciudades peruanas. El objetivo fue analizar el impacto de la resistencia del concreto y el espesor real en la durabilidad. Se aplicó una metodología descriptiva-correlacional que incluyó ensayos de compresión de núcleos, medición de espesores y revisión de deterioros.

Los resultados indicaron que las vías con concretos de  $f'c$  menores a  $210 \text{ kg/cm}^2$  presentaron 48 % más fallas por fractura y un 30 % menos de vida útil, mientras que los pavimentos con  $f'c$  superiores a  $240 \text{ kg/cm}^2$  mantuvieron condiciones funcionales buenas durante 12 años promedio. Los autores concluyeron que la verificación del  $f'c$  y del espesor real es esencial para evaluar el desempeño estructural. Su aporte a esta tesis es proporcionar evidencia nacional sobre la relación entre resistencia y deterioro, elementos que fueron medidos y contrastados en el tramo de Namora.

El MTC publicó en 2014 y actualizó en 2021 los manuales de diseño y evaluación de pavimentos, donde se establecen los parámetros de resistencia, espesores mínimos y criterios de conservación vial en el Perú. El objetivo de estos documentos fue uniformizar los procedimientos de control estructural y funcional. El método incluyó ensayos de laboratorio, modelamientos de carga y validación con datos de campo.

Los resultados mostraron que una reducción de 1 cm de espesor puede disminuir la vida útil del pavimento rígido en un 12 %, y que la aplicación de concretos con resistencias inferiores a  $210 \text{ kg/cm}^2$  incrementa en 30–35 % las fallas por fatiga y desprendimientos. El MTC concluyó que la verificación del espesor real y la resistencia es imprescindible para determinar la necesidad de rehabilitación. Su aporte a la presente tesis es servir como referencia normativa para comparar los valores estructurales obtenidos en el Jr. Túpac Amaru.

### **2.1.3 Antecedentes locales**

Celis y Rodríguez (2021) evaluaron el pavimento rígido en la ciudad de Chao (La Libertad) aplicando ensayos no destructivos y el método PCI. El objetivo fue determinar la capacidad estructural y el estado funcional de la vía. La metodología comprendió 28 mediciones con deflectómetro liviano y evaluación visual de 72 losas, clasificadas por tipo de daño.

Los resultados arrojaron un PCI promedio de 57, una pérdida de soporte en 41 % de las losas, y fallas predominantes de grietas en esquina (36 %) y fallas en juntas (24 %). Los autores concluyeron que la baja capacidad estructural acelera el deterioro funcional. Este antecedente aporta evidencia regional aplicable al contexto de Cajamarca, donde se evaluó también la correlación entre deterioros visuales y parámetros estructurales del pavimento.

Cruz y Vaca (2021) evaluaron el pavimento rígido en el distrito de Guzmango (Cajamarca) con el propósito de diagnosticar su estado y proponer alternativas de intervención. La metodología empleó inspecciones visuales bajo el método PCI en 11 calles, delimitadas por unidades de muestreo.

Los resultados evidenciaron un PCI promedio de 52, con 33 % de las fallas correspondientes a grietas en esquina, 29 % a fallas en juntas y 21 % a baches. Se concluyó que las vías evaluadas se encontraban en condición regular a mala y requerían rehabilitación inmediata. Su aporte a la presente tesis es ofrecer un caso comparable en la región Cajamarca, confirmando patrones de deterioro similares a los observados en el Jr. Túpac Amaru.

Roncal (2023) desarrolló un estudio integral de evaluación estructural y funcional en pavimentos urbanos de Cajamarca. El objetivo fue correlacionar los resultados de deflectometría con los valores de PCI y resistencia del concreto. La metodología incluyó 15 mediciones con deflectómetro, extracción de 10 núcleos y análisis visual de las losas.

Los resultados indicaron valores de resistencia entre 165 y 205 kg/cm<sup>2</sup>, espesores reales entre 16.8 y 19.5 cm, y un PCI promedio de 56. Se observó que las losas con menor resistencia presentaron fisuras más severas y desprendimientos en bordes. El autor concluyó que la deficiencia estructural está directamente asociada al deterioro funcional. Su aporte a esta tesis es fortalecer la interpretación de la relación entre  $f'_c$  y PCI obtenida en el pavimento del Jr. Túpac Amaru.

## **2.2 Marco doctrinal**

El objeto de estudio de esta investigación se ubica en el ámbito de la ingeniería vial, una subdisciplina de la ingeniería civil orientada al diseño, construcción, evaluación y mantenimiento de la infraestructura de transporte terrestre. Desde esta perspectiva, el análisis técnico del estado del pavimento rígido implica una combinación de teorías estructurales, funcionales y de gestión de activos, sustentadas por modelos matemáticos, físicos y normativos. Estas teorías permiten interpretar el comportamiento del pavimento ante diversas condiciones de carga, deterioro y servicio, para formular soluciones técnicas orientadas a prolongar su vida útil y mejorar la seguridad y confort del usuario.

Una de las teorías estructurales fundamentales es la teoría de las capas múltiples, que considera el pavimento como un sistema estratificado donde cada capa como lo son la superior, base y subrasante posee propiedades mecánicas

diferentes, influenciando la respuesta global del sistema frente a cargas repetidas (Huang, 2004). Esta teoría, originalmente formulada por Boussinesq y extendida por Burmister, permite determinar esfuerzos y deformaciones mediante análisis elástico lineal. Para pavimentos rígidos, el modelo de Westergaard, basado en placas sobre cimientos elásticos, ha sido históricamente el más utilizado, considerando la losa de concreto como una placa delgada sometida a cargas concentradas. Dicho modelo evalúa las tensiones máximas en el centro, borde y esquina de la losa, fundamentales para el diseño estructural (Huang, 2004).

Complementariamente, se recurre a la teoría de la fatiga del concreto, que explica cómo las losas de pavimento fallan bajo cargas cíclicas mediante la acumulación progresiva de daños internos que generan microgrietas, hasta alcanzar fisuración visible y pérdida de capacidad portante (Zhou & Scullion, 2014). Esta teoría considera parámetros como la relación esfuerzo-resistencia, el número de repeticiones de carga y la variabilidad térmica que inducen tensiones adicionales por contracción y expansión. En el caso de pavimentos rígidos, la resistencia a la flexión del concreto y la transferencia de carga entre juntas son factores críticos de desempeño estructural.

Desde la dimensión funcional, se utiliza la teoría de evaluación del desempeño del pavimento, cuyo principal indicador es el Índice de Condición del Pavimento (PCI), desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers y estandarizado por la ASTM D6433-03. Este índice cuantifica el estado superficial del pavimento sobre una escala de 0 a 100, mediante inspección visual de las fallas más comunes (como agrietamientos por contracción, desconchamientos, bombeo, entre otras), clasificadas por tipo, severidad y extensión (Shahin, 2005). El PCI se ha consolidado como herramienta básica para la programación de

mantenimientos, debido a su sencillez de aplicación, bajo costo y alta confiabilidad si se realiza con inspecciones sistemáticas.

Otro indicador complementario desde la funcionalidad es el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), que permite evaluar el confort del usuario mediante la medición de irregularidades longitudinales en la superficie del pavimento. Desarrollado por el Banco Mundial, el IRI utiliza un modelo matemático de suspensión vehicular para simular el movimiento del vehículo sobre un perfil determinado, expresando la rugosidad en m/km (Pradena Miquel, 2006). Valores altos de IRI están asociados a mayor incomodidad y costos de operación vehicular, además de un mayor riesgo de accidentes.

Desde el enfoque técnico-gestor, las teorías modernas de gestión de pavimentos (Pavement Management Systems - PMS) integran indicadores estructurales y funcionales, junto con análisis de ciclo de vida, costos y riesgo, para priorizar acciones de mantenimiento y rehabilitación. Este enfoque se basa en el principio de maximización de la eficiencia en la inversión pública, prolongando la vida útil del activo vial con intervenciones oportunas y técnicamente justificadas (Haas, 1994) - A nivel nacional, las Normas Técnicas Peruanas (NTP 339.034) y el Manual de Carreteras del MTC establecen criterios específicos de diseño y evaluación de pavimentos rígidos, en función de cargas esperadas, condiciones climáticas, calidad de materiales y demanda del sistema vial.

En conjunto, estas teorías permiten no solo caracterizar técnica y científicamente el comportamiento del pavimento, sino también formular diagnósticos precisos del estado actual de la infraestructura vial. Esto proporciona una base sólida para la toma de decisiones en políticas de mantenimiento vial,

reduciendo riesgos, costos de operación y promoviendo la sostenibilidad de los sistemas urbanos de transporte, como en el caso del distrito de Namora.

### **2.3 Marco legal:**

El presente estudio se sustenta en la normativa nacional e internacional que regula el diseño, la construcción, la conservación y la evaluación de pavimentos rígidos, garantizando que los resultados obtenidos se enmarquen en estándares técnicos y jurídicos vigentes.

A nivel nacional, se consideran principalmente las disposiciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), entre ellas el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (MTC, 2014), el cual establece procedimientos técnicos para la caracterización de suelos, diseño de estructuras de pavimento y criterios de conservación. Asimismo, la Guía de Diseño de Pavimentos para Carreteras (MTC, 2021) constituye un documento técnico-legal vigente que regula la aplicación de metodologías de diseño estructural para pavimentos rígidos en vías urbanas y rurales. Estas normativas aseguran que la planificación y ejecución de proyectos viales en el Perú respondan a criterios de seguridad, durabilidad y sostenibilidad.

De igual forma, la Norma Técnica Peruana NTP 339.034 (INACAL, 2017) define el procedimiento de evaluación funcional de pavimentos rígidos mediante el Índice de Condición de Pavimento (PCI), el cual se aplica en la presente investigación. Esta norma es de carácter obligatorio en proyectos de evaluación vial, ya que permite estandarizar criterios y obtener resultados comparables a nivel nacional.

A nivel internacional, se destacan las normas emitidas por ASTM International. La ASTM D6433-03 (ASTM International, 2003) y su actualización



ASTM D6433-20 (ASTM International, 2023) establecen el procedimiento estándar para realizar encuestas de condición de pavimentos en carreteras y estacionamientos, utilizando el PCI como indicador principal. Estas normas son reconocidas globalmente y se utilizan como referencia en proyectos de gestión de pavimentos en diferentes países.

Asimismo, el marco legal se complementa con disposiciones técnicas internacionales como las establecidas en ACI 522R-10 para pavimentos permeables, aplicadas en estudios de diseño y drenaje (Bautista Pereda, 2018), y con documentos de referencia técnica como el Manual de conservación vial (Gómez & Ortega, 2020), el cual orienta políticas de mantenimiento vial desde una perspectiva integral.

En conjunto, estas disposiciones constituyen el marco legal que respalda el análisis estructural y funcional del pavimento rígido de la calle Jr. Túpac Amaru. Su cumplimiento garantiza que los resultados obtenidos no solo se ajusten a la normativa nacional, sino que también puedan ser comparados y validados en el contexto internacional, fortaleciendo la rigurosidad académica y técnica de la investigación.

## **2.4 Marco conceptual**

### **2.4.1 Pavimentos:**

El pavimento es una estructura formada por varias capas superpuestas que se colocan sobre el terreno natural compactado, con el objetivo de soportar las cargas del tránsito vehicular y distribuir las adecuadamente hacia el suelo subyacente. Esta superficie de rodadura debe ser segura, durable y cómoda para los usuarios. Según (Villanueva et al., 2020) su diseño debe

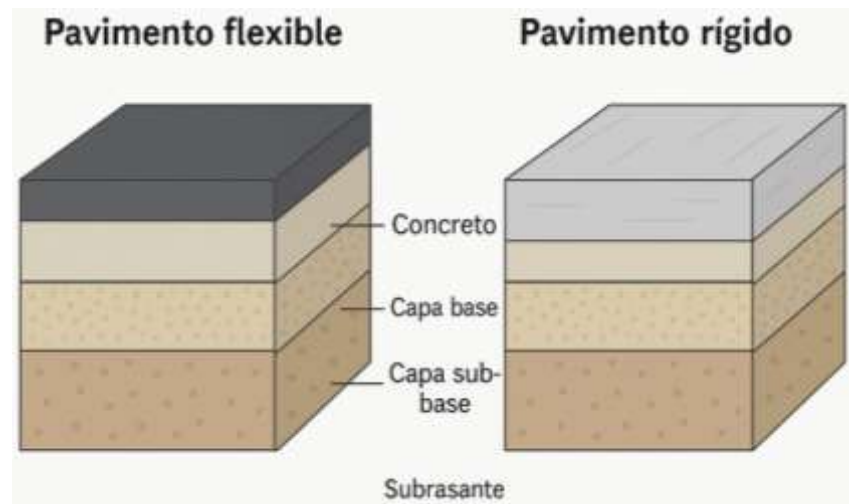
considerar tanto aspectos estructurales como funcionales para garantizar su desempeño a lo largo del tiempo.

#### **2.4.2 Clasificación de Pavimentos**

Los pavimentos se clasifican según su comportamiento estructural:

- **Pavimentos flexibles:** están compuestos por capas granulares y una capa superior asfáltica que distribuye las cargas gradualmente a las capas inferiores.
- **Pavimentos rígidos:** está conformado por losas de concreto que transmiten las cargas vehiculares a la subrasante a través de una distribución de esfuerzos rígida. Esta rigidez proviene de las propiedades del concreto hidráulico, un material compuesto por cemento, agua, agregados y aditivos, cuyas características físicas y químicas determinan el comportamiento estructural del pavimento. El espesor de la losa, la resistencia a la compresión y a la flexión, el tamaño máximo de los agregados, así como la calidad y preparación de la subrasante, son factores determinantes en la capacidad portante y durabilidad del pavimento (Instituto Nacional de Calidad – INACAL, 2017)

**Figura 1** Comparación de los pavimentos flexibles y rígidos



*Nota:* En la figura 1 se observa imagen comparativa de los pavimentos flexibles y rígidos con sus capas principales etiquetadas.

Cada tipo tiene ventajas específicas dependiendo de las condiciones de uso, clima y mantenimiento requerido (Pérez & Salinas, 2018).

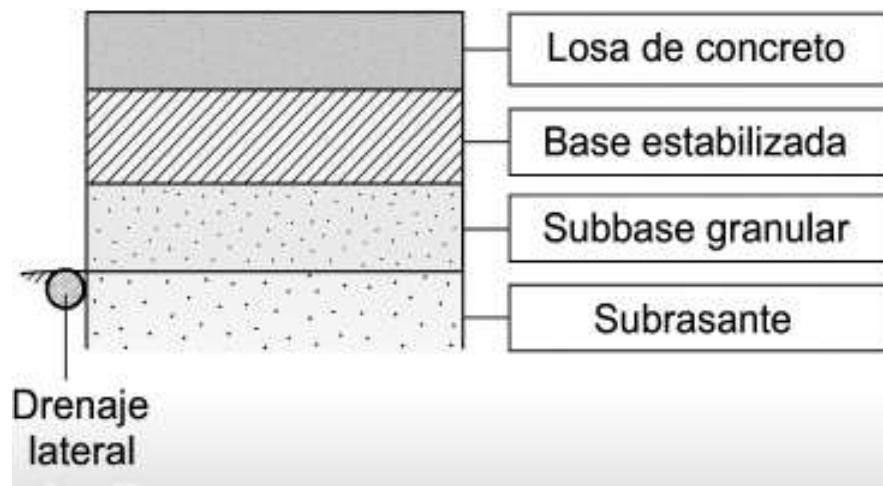
#### 2.4.3 Componentes de un pavimento

Un sistema de pavimento está compuesto por diversas capas estructurales, dispuestas de manera secuencial desde la superficie hasta el terreno natural, cada una con funciones definidas y materiales específicos. Estas capas trabajan en conjunto para distribuir las cargas del tráfico, resistir el desgaste, y garantizar la durabilidad de la vía. A continuación, se describen los principales elementos que constituyen un pavimento:

- **Capa de rodadura:** Esta es la capa expuesta directamente al tránsito vehicular y cumple con la función de brindar una superficie uniforme, segura y resistente a la fricción. En pavimentos flexibles está conformada por mezclas asfálticas, mientras que en los rígidos consiste

en losas de concreto. Esta capa también actúa como protección para las capas inferiores frente al ingreso de agua y agentes climáticos.

- **Capa base:** Situada justo debajo de la rodadura, esta capa es esencial para el desempeño estructural del pavimento, ya que dispersa las cargas transmitidas por los vehículos hacia las capas inferiores. Se construye con materiales seleccionados de alta resistencia, como agregados triturados o suelos estabilizados.
- **Capa sub-base:** Esta capa es opcional dependiendo del tipo de pavimento y condiciones del suelo. Su propósito principal es servir de transición entre la base y la subrasante, mejorando el drenaje y la capacidad de carga general. Se utiliza especialmente cuando la subrasante presenta baja resistencia.
- **Subrasante:** Corresponde al terreno natural compactado que sostiene a todo el sistema estructural del pavimento. Su calidad influye directamente en el comportamiento de la vía. Para asegurar su capacidad de soporte, puede ser necesario estabilizarla o reemplazarla si sus condiciones no son adecuadas.
- **Capas adicionales:** En algunos casos se incorporan materiales geosintéticos como geomallas o geotextiles para refuerzo, o capas especiales de drenaje. Estos elementos cumplen funciones de soporte, filtración, separación o control de humedad, dependiendo del diseño y el entorno climático.



**Figura 2** Componentes de un pavimento rígido: losa de concreto, base, subbase y subrasante.

*Nota:* Adaptado de manual de carreteras: suelos geología, geotecnia para pavimentos (2014).

El éxito de un pavimento no solo depende de la calidad de cada capa individualmente, sino de la correcta interacción entre ellas. Factores como la compactación, el control de humedad, y la protección frente al agua son claves para prevenir fallas prematuras y prolongar su vida útil. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2021).

#### **2.4.4 Funciones del pavimento**

El pavimento es un componente esencial dentro de la infraestructura vial, cuyo diseño y funcionamiento responden a tres funciones fundamentales: estructural, funcional y económica. Según (Rodríguez & Mejía, 2019), cada una de ellas cumple un papel clave en la eficiencia, durabilidad y sostenibilidad del sistema de transporte:

- **Función estructural:**

La principal responsabilidad estructural del pavimento es resistir las cargas dinámicas impuestas por el tránsito vehicular y distribuir las de manera gradual hacia las capas inferiores del sistema vial, hasta

alcanzar la subrasante. Esto permite evitar concentraciones excesivas de esfuerzo que podrían generar fallas como agrietamientos, deformaciones plásticas o asentamientos. Para lograr este objetivo, el sistema debe estar compuesto por materiales adecuados y configuraciones estructurales que garanticen una capacidad portante suficiente durante la vida útil del proyecto, incluso bajo condiciones climáticas adversas y tráfico pesado.

- **Función funcional:**

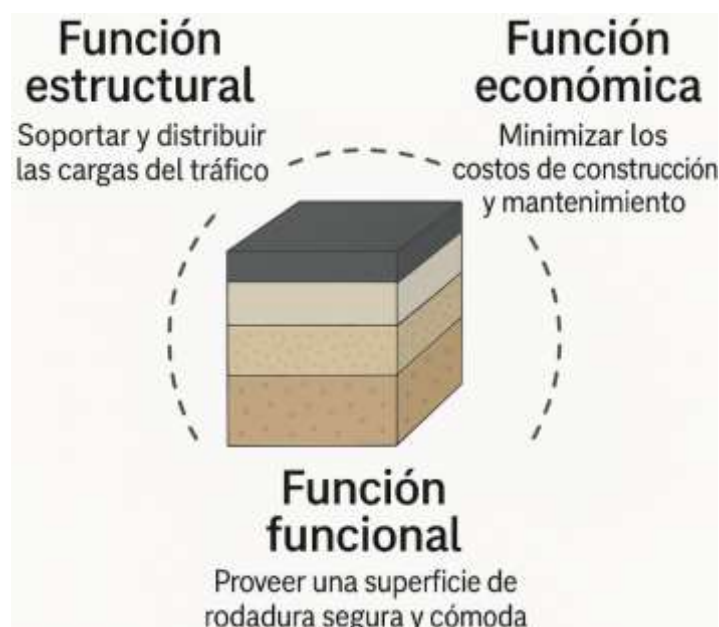
En cuanto a su desempeño funcional, el pavimento debe asegurar una superficie de circulación continua, regular y segura. Esto implica proporcionar niveles adecuados de textura superficial para mejorar la adherencia de los neumáticos, permitir un drenaje eficiente del agua de lluvia, minimizar las irregularidades que afectan la comodidad del usuario y garantizar una visibilidad adecuada. Estas características influyen directamente en la calidad del servicio ofrecido por la vía, así como en la seguridad y eficiencia del desplazamiento vehicular.

- **Función económica:**

Desde una perspectiva económica, el pavimento debe contribuir a la optimización de los costos asociados al ciclo de vida del proyecto, lo cual incluye tanto la inversión inicial como los gastos de mantenimiento, rehabilitación y operación. Un diseño eficiente y bien ejecutado permite reducir las intervenciones correctivas, minimizar el deterioro prematuro y extender el periodo de servicio útil. Asimismo, facilita una movilidad más eficiente al reducir los tiempos de viaje y los costos operativos de los vehículos, generando beneficios económicos

tanto directos como indirectos para los usuarios y la sociedad en general.

**Figura 3** *Funciones principales del pavimento*



*Nota:* en la figura 3 se presentan las tres funciones principales del pavimento quienes hacen del mismo, un elemento crítico para garantizar el buen funcionamiento del sistema de transporte terrestre, siendo su adecuada planificación, diseño y conservación aspectos clave para lograr una infraestructura vial sostenible, segura y eficiente.

#### **2.4.5 Normativas de diseño y evaluación**

En el contexto peruano, la evaluación estructural y funcional de los pavimentos se realiza bajo el marco normativo establecido por la Norma Técnica Peruana NTP 339.034 y el estándar internacional ASTM D6433-03. Estas normativas definen los criterios técnicos para diagnosticar el estado de conservación de las estructuras de pavimento, orientando la planificación de intervenciones de mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción (INACAL, 2019; ASTM, 2003).

La NTP 339.034, norma de carácter nacional, establece los lineamientos generales para la aplicación del Índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés), una metodología que permite cuantificar el nivel de deterioro superficial de los pavimentos a través de la identificación, clasificación y evaluación de defectos visibles. Esta herramienta es fundamental para las entidades responsables de la gestión vial, ya que proporciona un criterio objetivo para determinar el estado funcional de una vía y priorizar acciones de conservación vial según niveles de criticidad (INACAL, 2019).

Por otro lado, la norma ASTM D6433-03 complementa y fortalece este proceso al describir detalladamente el procedimiento técnico para calcular el PCI. Esta normativa internacional, ampliamente reconocida y utilizada por agencias de infraestructura vial en diferentes países, define una metodología estandarizada para la inspección visual de pavimentos flexibles, incluyendo aspectos como el tipo, la severidad y la extensión de los deterioros (ASTM, 2003). La adopción de este estándar asegura la uniformidad en los criterios de evaluación, permitiendo una mejor comparación entre diferentes segmentos viales y facilitando la toma de decisiones en programas de conservación.

Es importante destacar que el enfoque de ambas normas se centra principalmente en la condición funcional del pavimento, es decir, su capacidad para ofrecer un nivel adecuado de servicio al usuario. Sin embargo, también es posible complementar este análisis con estudios de evaluación estructural (por ejemplo, mediante deflectometría con el equipo



Falling Weight Deflectometer – FWD) para obtener una visión integral del desempeño del pavimento.

En conjunto, la aplicación del PCI bajo los lineamientos de la NTP 339.034 y la ASTM D6433-03 representa una herramienta estratégica para la gestión vial en el Perú, permitiendo no solo diagnosticar el estado actual de la infraestructura, sino también optimizar los recursos disponibles y asegurar la sostenibilidad del sistema de transporte terrestre a largo plazo.

#### **2.4.6 Deterioros comunes**

Los pavimentos, a lo largo de su vida útil, están expuestos a diversas condiciones de carga, climáticas y ambientales que provocan la aparición de deterioros. Estos defectos afectan tanto la funcionalidad como la capacidad estructural de la vía, y su identificación temprana es fundamental para la programación de actividades de mantenimiento o rehabilitación (Gómez & Ortega, 2020). Los deterioros más frecuentes en pavimentos flexibles (asfaltados) pueden clasificarse en función de su origen en estructurales, superficiales y funcionales:

**Grietas:** son uno de los deterioros más comunes. Pueden presentarse en diferentes formas:

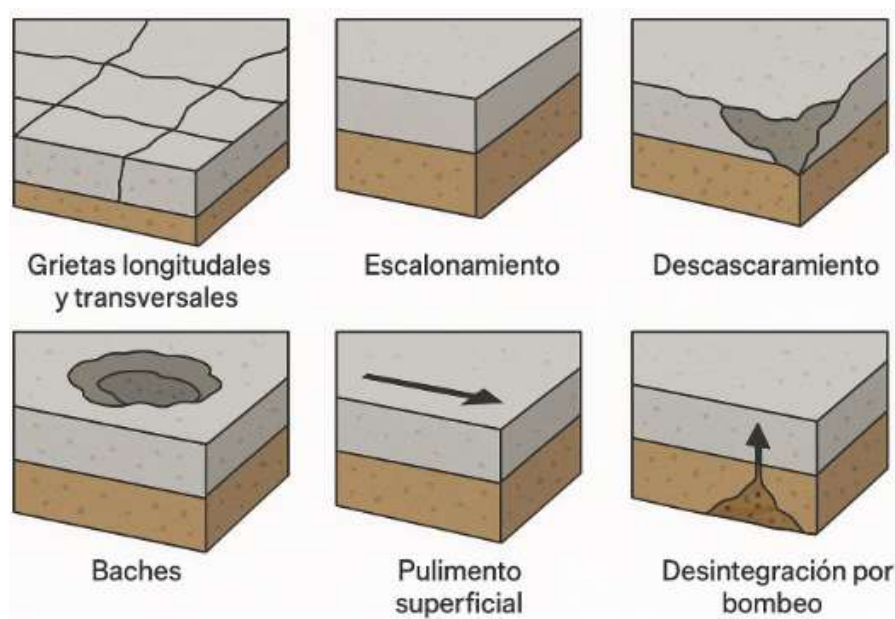
- **Grietas longitudinales y transversales**, que suelen ser causadas por contracción térmica o fatiga estructural.
- **Grietas en bloque**, resultado de la pérdida de cohesión del asfalto debido al envejecimiento del material.
- **Grietas por fatiga o piel de cocodrilo**, que indican fallas estructurales en las capas inferiores del pavimento debido a esfuerzos repetitivos del tráfico.

**Deformaciones permanentes:**

- **Ahuellamiento (rutting):** Surcos longitudinales en las zonas de rodadura provocados por la consolidación o deformación plástica de las capas del pavimento, generalmente asociadas a tráfico pesado o a materiales de baja resistencia.
- **Ondulaciones o corrugaciones:** Irregularidades periódicas en la superficie, causadas por inestabilidad del material asfáltico, especialmente bajo condiciones de arranque y frenado.

**Desintegración superficial:**

- **Desgaste o pulimiento de agregados:** Reducción de la macrotextura, lo que compromete la fricción superficial.
- **Desprendimiento de material (desgranamiento):** Pérdida progresiva de agregados, que puede deberse a una mala adherencia entre el asfalto y los áridos, o a una compactación deficiente.
- **Piel de cocodrilo:** Aunque es una grieta, se agrupa también aquí por su impacto en la textura superficial.
- **Hundimientos y asentamientos locales:** ocurren por fallas en la subrasante o por la presencia de vacíos bajo el pavimento, generando deformaciones en la superficie que afectan la seguridad del usuario.
- **Baches:** son pérdidas localizadas de material, resultado de la evolución de otros deterioros no tratados a tiempo, como grietas o ahuellamientos.
- **Exudación:** se presenta como una película brillante en la superficie debido a la subida del ligante asfáltico, generalmente por exceso de betún o altas temperaturas.



**Figura 4** *Deterioros comunes del pavimento*

*Nota:* Estos deterioros pueden coexistir o evolucionar con el tiempo, y su severidad y extensión son parámetros clave para la evaluación del estado del pavimento.

A continuación, se presenta un cuadro extraído del Manual de Daños en Vías con Superficie en Concreto de Cemento Portland:

**Tabla 1** *Manual de Daños en Vías con Superficie en Concreto*

## 21. BLOWUP – BUCKLING

Ocurren en tiempo cálido, usualmente en una grieta o junta transversal que no es lo suficientemente amplia para permitir la expansión de la losa. Por lo general, el ancho insuficiente se debe a la infiltración de materiales incompresibles en el espacio de la junta. Cuando la expansión no puede disipar suficiente presión, ocurrirá un movimiento hacia arriba de los bordes de la losa (Buckling) o fragmentación en la vecindad de la junta. También pueden ocurrir en los sumideros y en los bordes de las zanjas realizadas para la instalación de servicios públicos.

### Niveles de Severidad

L: causa una calidad de tránsito de baja severidad.

M: causa una calidad de tránsito de severidad media.

H: causa una calidad de tránsito de alta severidad.

	<p><b>Medida</b></p> <p>En una grieta, un <i>blowup</i> se cuenta como presente en una losa. Sin embargo, si ocurre en una junta y afecta a dos losas se cuenta en ambas. Cuando la severidad del <i>blowup</i> deja el pavimento inutilizable, este debe repararse de inmediato.</p> <p><b>Opciones de Reparación</b></p> <p>L: No se hace nada. Parcheo profundo o parcial.</p> <p>M: Parcheo profundo. Reemplazo de la losa.</p> <p>H: Parcheo profundo. Reemplazo de la losa.</p>
<p><b>22. GRIETA DE ESQUINA</b></p>	<p>Es una grieta que intercepta las juntas de una losa a una distancia menor o igual que la mitad de la longitud de la misma en ambos lados, medida desde la esquina. Por ejemplo, una losa con dimensiones de 3.70 m por 6.10 m presenta una grieta a 1.50 m en un lado y a 3.70 m en el otro lado, esta grieta no se considera grieta de esquina sino grieta diagonal; sin embargo, una grieta que intercepta un lado a 1.20 m y el otro lado a 2.40 m si es una grieta de esquina. Una grieta de esquina se diferencia de un descascaramiento de esquina en que aquella se extiende verticalmente a través de todo el espesor de la losa, mientras que el otro intercepta la junta en un ángulo. Generalmente, la repetición de cargas combinada con la pérdida de soporte y los esfuerzos de alabeo originan las grietas de esquina.</p> <p><b>Niveles de Severidad</b></p> <p>L: La grieta está definida por una grieta de baja severidad y el área entre la grieta y las juntas está ligeramente agrietada o no presenta grieta alguna.</p> <p>M: Se define por una grieta de severidad media o el área entre la grieta y las juntas presenta una grieta de severidad media (M).</p> <p>H: Se define por una grieta de severidad alta o el área entre la junta y las grietas está muy agrietada.</p> <p><b>Medida</b></p> <p>La losa dañada se registra como una (1) losa si:</p>

- 
1. Sólo tiene una grieta de esquina.
  2. Contiene más de una grieta de una severidad particular.
  3. Contiene dos o más grietas de severidades diferentes.

Para dos o más grietas se registrará el mayor nivel de severidad. Por ejemplo, una losa tiene una grieta de esquina de severidad baja y una de severidad media, deberá contabilizarse como una (1) losa con una grieta de esquina media.

#### **Opciones de reparación**

L: No se hace nada. Sellado de grietas de más de 3 mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo profundo.

H: Parcheo profundo.

---

La losa es dividida por grietas en cuatro o más pedazos debido a sobrecarga o a soporte inadecuado. Si todos los pedazos o grietas están contenidos en una grieta de esquina, el daño se clasifica como una grieta de esquina severa.

#### **Niveles de severidad**

### **23. LOSA DIVIDIDA**

<b>Severidad de la mayoría de las grietas</b>	<b>Número de pedazos en la losa agrietada</b>		
	<b>4 a 5</b>	<b>6 a 8</b>	<b>8 o más</b>
L	L	L	L
M	M	M	M
H	H	H	H

#### **Medida**

Si la losa dividida es de severidad media o alta, no se contabiliza otro tipo de daño.

#### **Opciones de reparación**

L: No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor de 3mm.

M: Reemplazo de la losa.

H: Reemplazo de la losa.

---

### **24. GRIETA DE DURABILIDAD “D”**

Son causadas por la expansión de los agregados grandes debido al proceso de congelamiento y descongelamiento, el cual, con el tiempo, fractura gradualmente el concreto. Usualmente, este daño aparece como un patrón de grietas paralelas y cercanas a una junta o a una grieta lineal. Dado que el concreto se satura cerca de las

---

---

juntas y las grietas, es común encontrar un depósito de color oscuro en las inmediaciones de las grietas “D”. Este tipo de daño puede llevar a la destrucción eventual de la totalidad de la losa.

### **Niveles de Severidad**

L: Las grietas “D” cubren menos del 15% del área de la losa. La mayoría de las grietas están cerradas, pero unas pocas piezas pueden haberse desprendido.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Las grietas “D” cubren menos del 15% del área de la losa y la mayoría de los pedazos se han desprendido o pueden removerse con facilidad.
2. Las grietas “D” cubren más del 15% del área. La mayoría de las grietas están cerradas, pero unos pocos pedazos se han desprendido o pueden removerse fácilmente.

H: Las grietas “D” cubren más del 15% del área y la mayoría de los pedazos se han desprendido o pueden removerse fácilmente.

### **Medida**

Cuando el daño se localiza y se califica en una severidad, se cuenta como una losa. Si existe más de un nivel de severidad, la losa se cuenta como poseedora del nivel de daño más alto. Por ejemplo, si grietas “D” de baja y media severidad están en la misma losa, la losa se registra como de severidad media únicamente.

### **Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: Parcheo profundo. Reconstrucción de juntas.

H: Parcheo profundo. Reconstrucción de juntas. Reemplazo de la losa.

---

Es la diferencia de nivel a través de la junta, las causas comunes que la originan son:

## **25. ESCALA**

1. Asentamiento debido a una fundación blanda.
  2. Bombeo o erosión del material debajo de la losa.
  3. Alabeo de los bordes de la losa debido a cambios de temperatura
-

---

o humedad.

### **Niveles de Severidad**

Se definen por la diferencia de niveles a través de la grieta o junta como se indica:

<b>Nivel de Severidad</b>	<b>Diferencia en elevación</b>
L	3 a 10 mm
M	10 a 19 mm
H	Mayor que 19 mm

### **Medida**

La escala a través de una junta se cuenta como una losa y solo las losas afectadas.

Las escalas a través de una grieta no se cuentan como daño, pero se consideran para definir la severidad de las grietas.

### **Opciones de reparación**

L: No se hace nada. Fresado.

M: Fresado.

H: Fresado.

---

Es cualquier condición que permite que el suelo o roca se acumule en las juntas, o que permite la infiltración de agua en forma importante. La acumulación de material incompresible impide que la losa se expanda y puede resultar en fragmentación, levantamiento o descascaramiento de los bordes de la junta. Un material llenante adecuado impide que lo anterior ocurra. Los tipos típicos del daño de junta son:

## **26. DAÑO DEL SELLO DE LA JUNTA**

1. Desprendimiento del sellante de la junta.
2. Extrusión del sellante.
3. Crecimiento de vegetación.
4. Endurecimiento del material llenante (oxidación).
5. Pérdida de adherencia a los bordes de la losa.
6. Falta o ausencia del sellante en la junta.

### **Niveles de Severidad**

L: El sellante está en una condición buena en forma general en

---

	<p>toda la sección. Se comporta bien, con solo daño menor.</p> <p>M: Está en condición regular en toda la sección, con uno o más de los tipos de daño que ocurre en un grado moderado. El sellante requiere reemplazo en dos años.</p> <p>H: Está en condición generalmente buena en toda la sección, con uno o más de los daños mencionados arriba, los cuales ocurren en un grado severo. El sellante requiere reemplazo inmediato.</p> <p><b>Medida</b></p> <p>No se registra losa por losa, sino que se evalúa con base en la condición total del sellante en toda el área.</p> <p><b>Opciones de reparación</b></p> <p>L: No se hace nada.</p> <p>M: Resellado de juntas.</p> <p>H: Resellado de juntas.</p>
<p><b>27. DESNIVEL CARRIL / BERMA</b></p>	<p>Es la diferencia entre el asentamiento o erosión de la berma y el borde del pavimento. La diferencia de niveles puede constituirse como una amenaza para la seguridad.</p> <p>También puede ser causada por el incremento de la infiltración de agua.</p> <p><b>Nivel de severidad</b></p> <p>L: La diferencia entre el borde del pavimento y la berma es de 25.0 mm a 51.0 mm.</p> <p>M: La diferencia de niveles es de 51.0 mm a 102.0 mm.</p> <p>H: La diferencia de niveles es mayor que 102.0 mm.</p> <p><b>Medida</b></p> <p>El desnivel carril / berma se calcula promediando los desniveles máximo y mínimo a lo largo de la losa.</p> <p>Cada losa que exhiba el daño se mide separadamente y se registra como una losa con el nivel de severidad apropiado.</p> <p><b>Opciones de reparación</b></p> <p>L, M, H: Renivelación y llenado de bermas para coincidir con el</p>



	nivel del carril.
	<p>Estas grietas, que dividen la losa en dos o tres pedazos, son causadas usualmente por una combinación de la repetición de las cargas de tránsito y el alabeo por gradiente térmico o de humedad. Las losas divididas en cuatro o más pedazos se contabilizan como losas divididas. Comúnmente, las grietas de baja severidad están relacionadas con el alabeo o la fricción y no se consideran daños estructurales importantes. Las grietas capilares, de pocos pies de longitud y que no se propagan en toda la extensión de la losa, se contabilizan como grietas de retracción.</p>
	<p><b>Niveles de severidad</b></p> <p><u>Losas sin refuerzo</u></p> <p>L: Grietas no selladas (incluye llenante inadecuado) con ancho menor que 12.0 mm, o grietas selladas de cualquier ancho con llenante en condición satisfactoria. No existe escala.</p> <p>M: Existe una de las siguientes condiciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Grieta no sellada con ancho entre 12.0 mm y 51.0 mm.</li> <li>2. Grieta no sellada de cualquier ancho hasta 51.0 mm con escala menor que 10.0 mm.</li> <li>3. Grieta sellada de cualquier ancho con escala menor que 10.0 mm.</li> </ol> <p>H: Existe una de las siguientes condiciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Grieta no sellada con ancho mayor que 51.0 mm.</li> <li>2. Grieta sellada o no de cualquier ancho con escala mayor que 10.0 mm.</li> </ol> <p><u>Losas con refuerzo</u></p> <p>L: Grietas no selladas con ancho entre 3.0 mm y 25.0 mm, o grietas selladas de cualquier ancho con llenante en condición satisfactoria. No existe escala.</p> <p>M: Existe una de las siguientes condiciones:</p>

**28. GRIETAS  
LINEALES**

- 
1. Grieta no sellada con un ancho entre 25.0 mm y 76.0 mm y sin escala.
  2. Grieta no sellada de cualquier ancho hasta 76.0 mm con escala menor que 10.0 mm.
  3. Grieta sellada de cualquier ancho con escala hasta de 10.0 mm.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta no sellada de más de 76.0 mm de ancho.
2. Grieta sellada o no de cualquier ancho y con escala mayor que 10.0 mm.

### **Medida**

Una vez se ha establecido la severidad, el daño se registra como una losa. Si dos grietas de severidad media se presentan en una losa, se cuenta dicha losa como una poseedora de grieta de alta severidad.

Las losas divididas en cuatro o más pedazos se cuentan como losas divididas. Las losas de longitud mayor que 9.10 m se dividen en “losas” de aproximadamente igual longitud y que tienen juntas imaginarias, las cuales se asumen están en perfecta condición.

### **Opciones de reparación**

L: No se hace nada. Sellado de grietas más anchas que 3.0 mm.

M: Sellado de grietas.

H: Sellado de grietas. Parcheo profundo. Reemplazo de la losa.

---

## **29. PARCHE GRANDE (MAYOR DE 0.45 m<sup>2</sup>)**

Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por material nuevo. Una excavación de servicios públicos (utility cut) es un parche que ha reemplazado el pavimento original para permitir la instalación o mantenimiento de instalaciones subterráneas. Los niveles de severidad de una excavación de servicios son los mismos que para el parche regular.

### **Niveles de severidad**

L: El parche está funcionando bien, con poco o ningún daño.

M: El parche esta moderadamente deteriorado o moderadamente

---

	<p>descascarado en sus bordes. El material del parche puede ser retirado con esfuerzo considerable.</p> <p>H: El parche está muy dañado. El estado de deterioro exige reemplazo.</p> <p><b>Medida</b></p> <p>Si una losa tiene uno o más parches con el mismo nivel de severidad, se cuenta como una losa que tiene ese daño. Si una sola losa tiene más de un nivel de severidad, se cuenta como una losa con el mayor nivel de severidad. Si la causa del parche es más severa, únicamente el daño original se cuenta.</p> <p><b>Opciones para Reparación</b></p> <p>L: No se hace nada.</p> <p>M: Sellado de grietas. Reemplazo del parche.</p> <p>H: Reemplazo del parche.</p>
<p><b>30. PARCHES PEQUEÑOS (MENOR DE 0.45 m<sup>2</sup>)</b></p>	<p>Es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por un material de relleno.</p> <p><b>Niveles de Severidad</b></p> <p>L: El parche está funcionando bien, con poco o ningún daño.</p> <p>M: El parche está moderadamente deteriorado. El material del parche puede ser retirado con considerable esfuerzo.</p> <p>H: El parche está muy deteriorado. La extensión del daño exige reemplazo.</p> <p><b>Medida</b></p> <p>Si una losa presenta uno o más parches con el mismo nivel de severidad, se registra como una losa que tiene ese daño. Si una sola losa tiene más de un nivel de severidad, se registra como una losa con el mayor nivel de daño. Si la causa del parche es más severa, únicamente se contabiliza el daño original.</p> <p><b>Opciones para Reparación</b></p> <p>L: No se hace nada.</p> <p>M: No se hace nada. Reemplazo del parche.</p>

	H: Reemplazo del parche.
<b>31. PULIMENTO DE AGREGADOS</b>	<p>Este daño se causa por aplicaciones repetidas de cargas del tránsito. Cuando los agregados en la superficie se vuelven suaves al tacto, se reduce considerablemente la adherencia con las llantas. Cuando la porción del agregado que se extiende sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye significativamente a reducir la velocidad del vehículo. El pulimento de agregados que se extiende sobre el concreto es despreciable y suave al tacto. Este tipo de daño se reporta cuando el resultado de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha disminuido significativamente respecto a evaluaciones previas.</p> <p><b>Niveles de Severidad</b></p> <p>No se definen grados de severidad. Sin embargo, el grado de pulimento deberá ser significativo antes de incluirlo en un inventario de la condición y calificarlo como un defecto.</p> <p><b>Medida</b></p> <p>Una losa con agregado pulido se cuenta como una losa.</p> <p><b>Opciones de reparación</b></p> <p>L, M y H: ranurado de la superficie. Sobrecarpeta.</p>
<b>32. POPOUTS</b>	<p>Un popout es un pequeño pedazo de pavimento que se desprende de la superficie del mismo. Puede deberse a partículas blandas o fragmentos de madera rotos y desgastados por el tránsito.</p> <p>Varían en tamaño con diámetros entre 25.0 mm y 102.0 mm y en espesor de 13.0 mm a 51.0 mm.</p> <p><b>Niveles de severidad</b></p> <p>No se definen grados de severidad. Sin embargo, el popout debe ser extenso antes que se registre como un daño. La densidad promedio debe exceder aproximadamente tres por metro cuadrado en toda el área de la losa.</p> <p><b>Medida</b></p> <p>Debe medirse la densidad del daño. Si existe alguna duda de que el promedio es mayor que tres popout por metro cuadrado, deben</p>

	<p>revisarse al menos tres áreas de un metro cuadrado elegidas al azar.</p> <p>Cuando el promedio es mayor que dicha densidad, debe contabilizarse la losa.</p> <p><b>Opciones de reparación</b></p> <p>L, M y H: no se hace nada</p>
<p><b>33. BOMBEO</b></p>	<p>El bombeo es la expulsión de material de la fundación de la losa a través de las juntas o grietas. Esto se origina por la deflexión de la losa debida a las cargas. Cuando una carga pasa sobre la junta entre las losas, el agua es primero forzada bajo losa delantera y luego hacia atrás bajo la losa trasera. Esta acción erosiona y eventualmente remueve las partículas de suelo lo cual generan una pérdida progresiva del soporte del pavimento. El bombeo puede identificarse por manchas en la superficie y la evidencia de material de base o subrasante en el pavimento cerca de las juntas o grietas.</p> <p>El bombeo cerca de las juntas es causado por un sellante pobre de la junta e indica la pérdida de soporte. Eventualmente, la repetición de cargas producirá grietas. El bombeo también puede ocurrir a lo largo del borde de la losa causando perdida de soporte.</p> <p><b>Niveles de Severidad</b></p> <p>No se definen grados de severidad. Es suficiente indicar la existencia.</p> <p>Medida</p> <p>El bombeo de una junta entre dos losas se contabiliza como dos losas; sin embargo, si las juntas restantes alrededor de la losa tienen bombeo, se agrega una losa por junta adicional con bombeo.</p> <p><b>Opciones de reparación</b></p> <p>L, M y H: sellado de juntas y grietas. Restauración de la transferencia de cargas.</p>

---

Este daño es un área localizada de la losa que está rota en pedazos. Puede tomar muchas formas y figuras diferentes, pero, usualmente, está definido por una grieta y una junta o dos grietas muy próximas, usualmente con 1.52 m entre sí. Este daño se origina por la repetición de cargas pesadas, el espesor inadecuado de la losa, la pérdida de soporte de la fundación o una deficiencia localizada de construcción del concreto

#### Niveles de severidad

### 34. PUNZONAMIE NTO

Severidad de la mayoría de las grietas	Número de pedazos		
	2 a 3	4 a 5	Más de 5
L	L	L	L
M	M	M	M
H	H	H	H

#### Medida

Si la losa tiene uno o más punzonamientos, se contabiliza como si tuviera uno en el mayor nivel de severidad que se presente.

#### Opciones de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas.

M: Parcheo profundo.

H: Parcheo profundo.

---

El daño de cruce de vía férrea se caracteriza por depresiones o abultamientos alrededor de los rieles.

#### Niveles de severidad

L: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad.

### 35. CRUCE DE VÍA FÉRREA

M: El cruce de la vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media.

H: El cruce de la vía férrea produce calidad de tránsito de alta severidad.

#### Medida

Se registra el número de losas atravesadas por los rieles de la vía férrea. Cualquier gran abultamiento producido por los rieles debe

---

	contarse como parte del cruce.
	<b>Opciones de reparación</b>
	L: No se hace nada.
	M: Parcheo parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce.
	H: Parcheo parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce.
	Se refiere a una red de grietas superficiales, finas o capilares, que se extienden únicamente en la parte superior de la superficie del concreto. Las grietas tienden a interceptarse en ángulos de 120 grados. Generalmente, este daño ocurre por exceso de manipulación en el terminado y puede producir el descamado, que es la rotura de la superficie de la losa a una profundidad aproximada de 6.0mm a 13.0mm. El descamado es causado por incorrecta construcción y por agregados de mala calidad.
	<b>Niveles de Severidad</b>
	L: El craquelado se presenta en la mayor parte del área de la losa; la superficie está en buena condición con solo un descamado menor presente.
	M: La losa está descamada, pero menos del 15% de la losa está afectada.
	H: La losa esta descamada en más del 15% de su área.
	<b>Medida</b>
	Una losa descamada se contabiliza como una losa. El craquelado de baja severidad debe contabilizarse únicamente si el descamado potencial es inminente, o unas pocas piezas pequeñas se han salido.
	<b>Opciones para Reparación</b>
	L: No se hace nada.
	M: No se hace nada. Reemplazo de la losa.
	H: Parcheo profundo o parcial. Reemplazo de la losa. Sobrecarpeta.
<b>36. DESCONCHAMIENTO, MAPA DE GRIETAS, CRAQUELADO</b>	Son grietas capilares usualmente de unos pocos pies de longitud y no se extienden a lo largo de toda la losa. Se forman durante el

---

**RETRACCIÓN** fraguado y curado del concreto y generalmente no se extienden a través del espesor de la losa.

**Niveles de Severidad**

No se definen niveles de severidad. Basta con indicar que están presentes.

**Medida**

Si una o más grietas de retracción existen en una losa en particular, se cuenta como una losa con grietas de retracción.

**Opciones de reparación**

L, M y H: no se hace nada.

---

Es la rotura de la losa a 0.6 m de la esquina aproximadamente. Un descascamiento de esquina difiere de la grieta de esquina en que el descascamiento usualmente buza hacia abajo para interceptar la junta, mientras que la grieta se extiende verticalmente a través de la esquina de losa. Un descascamiento menor que 127 mm medidos en ambos lados desde la grieta hasta la esquina no deberá registrarse.

**Niveles de severidad**

**38.  
DESCASCAR  
AMIENTO DE  
ESQUINA**

Profundidad del descascamiento	Dimensiones de los lados del descascamiento	
	127 x 127 mm a 305 x 305 mm	Mayor que 305 x 305 mm
Menor de 25 mm	L	L
> 25 mm a 51 mm	L	M
Mayor de 51 mm	M	H

**Medida**

Si en una losa hay una o más grietas con descascamiento con el mismo nivel de severidad, la losa se registra como una losa con descascamiento de esquina. Si ocurre más de un nivel de severidad, se cuenta como una losa con el mayor nivel de severidad.

**Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

---



---

M: Parcheo parcial.

H: Parcheo parcial.

---

Es la rotura de los bordes de la losa en los 0.60 m de la junta. Generalmente no se extiende verticalmente a través de la losa si no que intercepta la junta en ángulo. Se origina por:

1. Esfuerzos excesivos en la junta causados por las cargas de tránsito o por la infiltración de materiales incompresibles.
2. Concreto débil en la junta por exceso de manipulación.

**Niveles de Severidad.**

**39.  
DESCASCAR  
AMIENTO DE  
JUNTA**

Fragmentos del descascaramiento	Ancho del descascaramiento	Longitud del descascaramiento	
		< 0.6 m	> 0.6 m
Duros. No puede removerse fácilmente (pueden faltar algunos pocos fragmentos)	< 102 mm	L	L
	> 102 mm	L	L
Suelos: Pueden removerse y algunos fragmentos pueden faltar. Si la mayoría o todos los fragmentos faltan, el descascaramiento es superficial, menos de 25 mm.	< 102 mm	L	M
	> 102 mm	L	M
Desaparecidos. La mayoría o todos los fragmentos han sido removidos.	< 102 mm	L	M
	>102 mm	M	H

**Medida**

Si el descascaramiento se presenta a lo largo del borde de una losa, esta se cuenta como una losa con descascaramiento de junta. Si está sobre más de un borde de la misma losa, el borde que tenga la mayor severidad se cuenta y se registra como una losa. El descascaramiento de junta también puede ocurrir a lo largo de los bordes de dos losas adyacentes. Si es así, cada losa se contabiliza con descascaramiento de junta.

---

---

### Opciones para Reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo parcial.

H: Parcheo parcial. Reconstrucción de la junta.

---

*Nota:* Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras

#### 2.4.7 Métodos de evaluación de pavimentos

La evaluación de pavimentos es un proceso fundamental dentro de la gestión de infraestructura vial, ya que permite determinar el estado actual de la estructura y planificar intervenciones de mantenimiento o rehabilitación de manera oportuna y eficiente. Los métodos de evaluación se agrupan, principalmente, en tres categorías: estructural, funcional y superficial, siendo esta última representada por el Índice de Condición del Pavimento (PCI). Cada enfoque responde a objetivos específicos y emplea técnicas e instrumentos distintos.

**Figura 5** *Métodos de evaluación de pavimentos*



*Nota:* la imagen incluye los métodos de evaluación de pavimentos con la mención de las normas **NTP 339.034** y **ASTM D6433-03**

### ✓ **Evaluación estructural**

Tiene como propósito determinar la capacidad de carga del pavimento y su comportamiento frente a esfuerzos inducidos por el tráfico. Esta evaluación busca identificar si la estructura sigue siendo capaz de soportar las solicitaciones proyectadas o si requiere refuerzo. Entre los métodos más utilizados destacan:

- Deflectometría con FWD (Falling Weight Deflectometer): Técnica no destructiva que aplica una carga impulsiva sobre la superficie del pavimento, midiendo la deflexión resultante mediante sensores distribuidos radialmente. Permite calcular módulos de elasticidad de las capas y estimar su capacidad estructural.
- Placa de carga estática o dinámica: Utilizado principalmente en vías no pavimentadas o durante el control de calidad de nuevas obras, mide la respuesta del terreno o estructura ante cargas verticales.
- GPR (Ground Penetrating Radar): Utiliza ondas electromagnéticas para estimar el espesor de las capas del pavimento y detectar anomalías internas como humedad o vacíos.

La interpretación de estos ensayos permite establecer si el pavimento puede seguir en servicio bajo condiciones de tráfico actuales o si necesita intervenciones estructurales.

### ✓ **Evaluación funcional**

Este tipo de evaluación analiza el desempeño del pavimento desde la perspectiva del usuario, considerando aspectos como la comodidad, seguridad y eficiencia en la circulación.

Algunos de los parámetros más representativos son:

- IRI (Índice de Regularidad Internacional): Mide la irregularidad longitudinal del pavimento, expresada en metros por kilómetro (m/km). Se obtiene mediante perfilómetros láser o vehículos instrumentados, y está directamente relacionado con la comodidad de conducción y el desgaste vehicular.
- Coeficiente de fricción superficial (Skid Resistance): Evalúa la capacidad del pavimento para ofrecer adherencia a los neumáticos, especialmente en condiciones húmedas. Se determina mediante equipos como el muestreado de fricción con freno bloqueado (Locked-Wheel Skid Tester).
- Macrotextura y microtextura: Analizadas mediante dispositivos como el Sand Patch Test o equipos láser, son indicadores de la rugosidad de la superficie y su capacidad para evacuar el agua y proporcionar tracción.

#### **2.4.8 Método del Índice de Condición del Pavimento (PCI)**

El método PCI (Pavement Condition Index) es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, siguiendo una metodología de fácil implementación y que no requiere de herramientas especializadas, pues se mide la condición del pavimento de manera indirecta. Fue desarrollado entre los años 1974 y 1976 a cargo del Centro de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los E.E.U.U. con el objetivo de obtener un sistema de administración del mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles.

Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado, por agencias como por ejemplo: el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, el APWA (*American Public Work Association*) y ha sido publicado por la ASTM como método de análisis y aplicación (Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03).

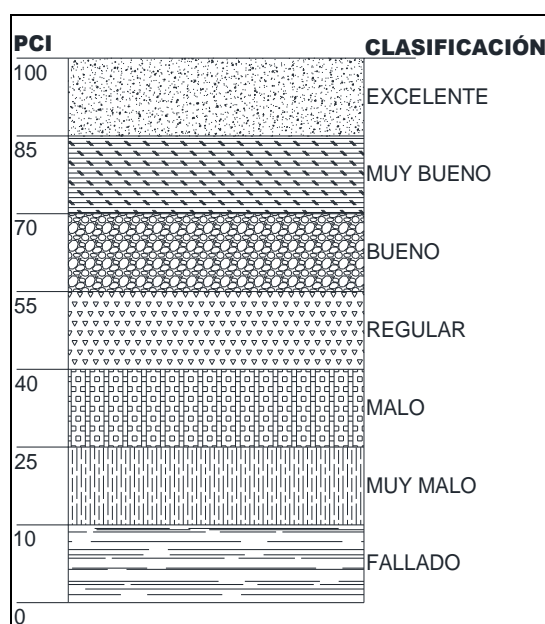
Este método no pretende solucionar aspectos de seguridad si alguno estuviera asociado con su práctica. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie, un valor que cuantifique el estado en que se encuentra el pavimento para su respectivo tratamiento y mantenimiento. (Rodriguez & Mejía, 2019)

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado, donde:

- 85–100: Excelente
- 70–85: Bueno
- 55–70: Regular
- 40–55: Malo
- <40: Muy malo / Falla estructural

En la siguiente tabla se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento. (Huang, 2004).

**Figura 6 Rangos de Clasificación del PCI**



*Nota:* En la imagen 6 se detalla la clasificación del PCI según sus rangos.

Se calcula a partir de una inspección visual que identifica los tipos de deterioro (grietas, baches, ahuellamientos, entre otros), su severidad (baja, media, alta) y su extensión. El resultado es un valor numérico entre 0 y 100, donde:

#### **A. Cálculo del PCI**

Se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen CLASE, SEVERIDAD Y CANTIDAD que cada daño presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie.

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin.

**Tabla 2** Formato para la inspección de pavimentos de concreto hidráulico (PCI-02)

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO					
ZONA		ABSCISA INICIAL		UNIDAD DE MUESTREO	
CÓDIGO VÍA		ABSCISA FINAL		NÚMERO DE LOSAS	
INSPECCIONADA POR				FECHA	
N°	Daño		N°	Daño	
21	Blow up / Bucking		27	Desnivel carril / Berma	
22	Grieta de esquina		28	Grieta lineal	
23	Losa dividida		29	Parqueo (grande)	
24	Grieta de durabilidad "D"		30	Parqueo (pequeño)	
25	Escala		31	Pulimento de agregados	
26	Sello de junta		32	Popouts	
			33	Bombeo	
Daño	Severidad	N° de losas	Densidad (%)	Valor deducido	ESQUEMA

*Nota:* Fue extraída de Pavement Condition Index (PCI), ilustra el formato para la inspección de pavimentos de concreto hidráulico. Las figuras son ilustrativas y en la práctica debe proveerse el espacio necesario para consignar toda la información pertinente.

## B. Unidades de muestreo:

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura:

Carreteras con capa de rodadura en losas de concreto de cemento Portland y losas con longitud inferior a 7.60 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango  $20 \pm 8$  losas. Se recomienda tomar el valor medio de los rangos y en ningún caso definir unidades por fuera de aquellos.

- **Determinación de las unidades de muestreo para evaluación:**

En la “Evaluación De Una Red” vial puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo. En la “Evaluación de un Proyecto” se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la ec.1, la cual produce un estimado del PCI  $\pm 5$  del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

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

**Donde:**

**n:** Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

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

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

**s:** Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar ( $\sigma$ ) del PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25) y de 15 para pavimento de concreto (rango PCI de 35). En inspecciones subsecuentes se usará la desviación estándar real (o el rango PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse. Cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco ( $n < 5$ ), todas las unidades deberán evaluarse. (Vásquez, 2002, p.5).



- **Selección de las unidades de muestreo para inspección**

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija al azar (aleatoriedad sistemática) de la siguiente manera:

**1. El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la ec.2.**

$$i = \frac{N}{n} \dots \text{ec. 2}$$

**Donde:**

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

**N:** Número total de unidades de muestreo disponible.

**n :** Número mínimo de unidades para evaluar.

**2. El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i.**

Así, si  $i = 3$ , la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3. Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S + 1), (S + 2), etc.

Siguiendo con el ejemplo, si la unidad inicial de muestreo para inspección seleccionada es 2 y el intervalo de muestreo (i) es igual a 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 5, 8, 11, 14, etc; sin embargo, si se requieren cantidades de daño exactas para pliegos de licitación (rehabilitación), todas y cada una de las unidades de muestreo deberán ser inspeccionadas. (Vásquez, 2002, p.5).

- **Selección de unidades de muestreo adicionales**

Uno de los mayores inconvenientes del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades de muestreo en muy mal estado. También puede suceder que unidades de muestreo que tiene daños que solo se presentan una vez (por ejemplo “cruce de línea férrea”) queden incluidas de forma inapropiada en un muestreo aleatorio.

Para evitar lo anterior, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del PCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección. (Vásquez, 2002, p.6).

- **Evaluación de la condición:**

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona. Debe seguirse estrictamente la definición de los daños de este manual para obtener un valor del PCI confiable. La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

• **Equipos:**

- Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños.
- Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.

- Manual de Daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.

- **Procedimiento:**

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el manual de daños, y se registra la información en el formato correspondiente. El equipo de inspección deberá implementar todas las medidas de seguridad para su desplazamiento en la vía inspeccionada, tales como dispositivos de señalización y advertencia para el vehículo acompañante y para el personal en la vía. (Vásquez, 2002, p.6).

- **Cálculo del PCI de las unidades de muestreo**

Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el PCI. El cálculo puede ser manual o computarizado y se basa en los “Valores Deducidos” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas.

**Cálculo para pavimentos con capa de rodadura con concreto de cemento Portland.**

**Etapas 1. Cálculo de los valores deducidos:**

- a. Contabilice el número de LOSAS en las cuales se presenta cada combinación de tipo de daño y nivel de severidad en el formato PCI-02.
- b. Divida el número de LOSAS contabilizado en 1.a. entre el número de LOSAS de la unidad y exprese el resultado como porcentaje (%)

Esta es la DENSIDAD por unidad de muestreo para cada combinación de tipo y severidad de daño.

- c. Determine los VALORES DEDUCIDOS para cada combinación de tipo de daño y nivel de severidad empleando la curva de *“Valor Deducido de Daño”* apropiada entre las que se adjuntan a este documento.

**Etapla 2. Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos (m)**

- a. Si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “Valor Deducido Total” en lugar del mayor “Valor Deducido Corregido”, CDV, obtenido en la etapa 4. De lo contrario, deben seguirse los pasos b y c.
- b. Liste los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.
- c. Determine el “Número Máximo Admisible de Valores Deducidos”

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(10 - HDV_i) \dots ec. 03 Carreteras pavimentadas$$

Donde:

$m_i$  : número máximo admisible de “valores deducidos”, incluyendo fracción, para la unidad de muestreo i.

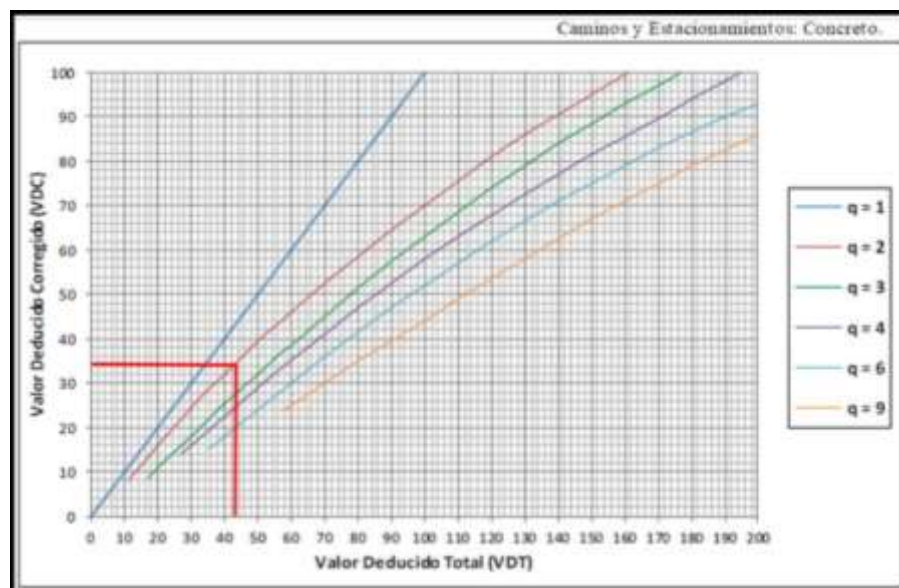
$HDV_i$ : el mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i.

- d. El número de valores individuales deducidos se reduce a m, inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que m se utilizan todos los que se tengan. (Vásquez, 2002, p.7).

### **Etapas 3. Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV.**

El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo:

- a. Determine el número de valores deducidos,  $q$ , mayores que 2.0.
- b. Determine el “Valor Deducido Total” sumando todos los valores deducidos individuales.
- c. Determine el CDV con  $q$  y el “Valor Deducido Total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.
- d. Reduzca a 2.0 el menor de los “Valores Deducidos” individuales que sea mayor que 2.0 y repita las etapas **a** hasta **c** hasta que “ $q$ ” sea igual
- e. El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso.



**Figura 7** Valor deducido total vs Valor deducidos corregido

*Nota:* Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03.

### **Etapas 4. Calcule el PCI restando de 100 el máximo CDV.**

En la imagen N° 3 se muestra un formato para el desarrollo del proceso iterativo de obtención del “Máximo Valor Deducido

Corregido”, CDV.

**Tabla 3** Formato para la obtención del máximo valor deducido corregido

No.	Valores Deducidos									Total	q	CDV
1												
2												
3												
4												

*Nota:* Cuadro extraído para el procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03.

#### a. Cálculo del PCI de una sección de pavimento

Una sección de pavimento abarca varias unidades de muestreo. Si todas las unidades de muestreo son inventariadas, el PCI de la sección será el promedio de los PCI calculados en las unidades de muestreo. Si se utilizó la técnica del muestreo para inspección se hizo mediante la técnica aleatoria sistemática o con base en la representatividad de la sección. El PCI será el promedio de los PCIs de las unidades de muestreo inspeccionadas. Si se usaron unidades adicionales se usa un promedio ponderado calculado de la siguiente forma:

$$PCI_S = \frac{[(N - A) \times PCI_R] + (A \times PCI_A)}{N} \dots ec.04$$

**PCI<sub>S</sub>** : PCI de la sección del pavimento.

**PCI<sub>R</sub>** : PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

**PCIA:** PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

**N:** número total de unidades de muestreo en la sección.

**A:** número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

## **2.4.9 Las Normas NTP 339.034 y ASTM D6433-03**

### **2.4.9.1 Norma Técnica Peruana NTP 339.034**

La NTP 339.034 es una norma técnica emitida por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) en Perú, que establece el método para determinar el Índice de Condición del Pavimento (PCI) en pavimentos flexibles y rígidos. Esta norma se orienta a la evaluación superficial de los pavimentos, proporcionando un conjunto de directrices claras para la inspección visual de los deterioros en la superficie de la vía.

El propósito de esta norma es estandarizar el proceso de inspección y clasificación de los defectos visibles en los pavimentos, permitiendo una medición objetiva del grado de deterioro y su extensión. El PCI calculado según esta norma se expresa en una escala del 0 al 100, donde 100 corresponde a un pavimento en excelente estado y 0 a un pavimento con fallas graves o totalmente deteriorado.

La NTP 339.034 también detalla las especificaciones para categorizar y clasificar los tipos de defectos, su severidad (baja, media o alta) y su extensión. Además, se establece un procedimiento sistemático para recolectar datos, analizar la condición del pavimento, y elaborar informes para la toma de decisiones en la gestión vial.

#### **Objetivos principales de la NTP 339.034:**

- Proporcionar un marco técnico para la evaluación visual y cuantificación del estado de conservación de los pavimentos.

- Facilitar la toma de decisiones en cuanto a la rehabilitación, mantenimiento y gestión de pavimentos viales.
- Uniformizar el uso del PCI como herramienta diagnóstica en el contexto peruano.

#### **2.4.10 ASTM D6433-03**

La ASTM D6433-03 es una norma internacional emitida por ASTM International (anteriormente conocida como la American Society for Testing and Materials), que establece el procedimiento estándar para realizar levantamientos de la condición de pavimentos utilizando el Índice de Condición del Pavimento (PCI). Esta norma es ampliamente adoptada a nivel mundial por agencias encargadas de la infraestructura vial y está diseñada para evaluar el estado superficial de pavimentos tanto flexibles como rígidos.

La ASTM D6433-03 describe en detalle cómo llevar a cabo una inspección visual sistemática del pavimento para identificar y clasificar los defectos. Además, establece los criterios para evaluar la severidad y extensión de cada tipo de deterioro y cómo estos afectan la funcionalidad del pavimento. El resultado de la evaluación es un índice numérico (PCI) que facilita la priorización de las necesidades de mantenimiento o rehabilitación.

Esta norma también especifica los procedimientos para registrar y analizar los datos recolectados durante las inspecciones y establece pautas claras para la interpretación de los resultados. El PCI obtenido según esta norma es un factor clave en la planificación y ejecución de proyectos de



conservación de pavimentos, así como en la gestión eficiente de los recursos viales.

**Objetivos principales de la ASTM D6433-03:**

- Proporcionar un método estandarizado y preciso para la evaluación de la condición superficial de pavimentos.
- Ayudar en la priorización de acciones de mantenimiento y rehabilitación vial a través de un indicador numérico claro y confiable.
- Establecer criterios uniformes a nivel internacional para la evaluación y gestión de pavimentos, facilitando la comparabilidad entre diferentes regiones y proyectos.

**2.4.11 Comparativa entre la NTP 339.034 y la ASTM D6433-03**

Aunque ambas normas, la NTP 339.034 y la ASTM D6433-03, están orientadas a la evaluación del estado de los pavimentos utilizando el Índice de Condición del Pavimento (PCI), existen algunas diferencias clave:

- Alcance geográfico: La NTP 339.034 está adaptada a las condiciones locales de Perú y busca estandarizar los procedimientos de evaluación en el contexto nacional, mientras que la ASTM D6433-03 tiene un alcance internacional y se aplica en diversos países con normativas y condiciones viales distintas.
- Metodología: Ambas normativas siguen principios similares para calcular el PCI, pero la NTP 339.034 puede incluir algunas adaptaciones o especificaciones particulares de acuerdo con las necesidades viales peruanas.
- Implementación: La ASTM D6433-03 es más utilizada a nivel global, mientras que la NTP 339.034 tiene mayor relevancia en Perú y en

algunos países de América Latina que adoptan las normativas locales del INACAL.

## **2.5 Definición de términos básicos**

### **2.5.1 Pavimento rígido**

Es un tipo de estructura vial compuesta principalmente por losas de concreto hidráulico, cuya capacidad portante depende en gran medida de la rigidez del material y de su capacidad para distribuir las cargas vehiculares sobre una mayor superficie. A diferencia del pavimento flexible, el pavimento rígido presenta menor deformación bajo carga y mayor vida útil estructural.

### **2.5.2 Evaluación estructural**

Es el proceso mediante el cual se analiza la capacidad mecánica del pavimento para resistir las cargas del tránsito. En pavimentos rígidos, esta evaluación puede incluir el análisis de fisuras estructurales, asentamientos diferenciales, fallas por bombeo, pérdida de soporte, así como el estudio de deflexiones mediante ensayos no destructivos.

### **2.5.3 Evaluación funcional**

Consiste en el análisis del comportamiento del pavimento desde el punto de vista del usuario, evaluando condiciones como regularidad superficial, confort, seguridad y apariencia visual. En pavimentos rígidos, se observa la existencia de defectos superficiales como escalonamientos en juntas, desprendimientos, exudaciones, grietas superficiales o baches, los cuales afectan la calidad del servicio.

#### **2.5.4 Índice de Condición del Pavimento (PCI)**

Es un indicador numérico estandarizado que representa el estado superficial de un pavimento, basado en la inspección visual de defectos y deterioros presentes. Se expresa en una escala de 0 a 100, donde 100 indica un pavimento en condiciones óptimas. Su cálculo está normado por la ASTM D6433-03 y, en Perú, por la NTP 339.034.

#### **2.5.5 ASTM D6433-03**

Norma internacional emitida por ASTM International, que establece el procedimiento para realizar levantamientos visuales del estado de los pavimentos (flexibles o rígidos) con el fin de determinar el PCI. Define los tipos de deterioro, su severidad y la metodología para cuantificarlos de forma estandarizada.

#### **2.5.6 NTP 339.034**

Norma Técnica Peruana aprobada por INACAL que regula el uso del método PCI en el país, adaptando los lineamientos de la norma ASTM D6433-03 al contexto nacional. Su aplicación busca uniformizar los criterios de evaluación superficial de pavimentos.

#### **2.5.7 Tramo vial**

Segmento definido de una vía urbana o rural que se delimita por puntos de referencia específicos, utilizado para fines de estudio, evaluación o intervención. En este caso, corresponde al tramo comprendido entre el Jr. Libertad y la carretera interprovincial 3N.

#### **2.5.8 Gestión de pavimentos**

Conjunto de actividades técnicas y administrativas destinadas a planificar, evaluar, conservar y rehabilitar la infraestructura vial, con el

objetivo de optimizar el uso de los recursos disponibles y garantizar un nivel de servicio adecuado durante la vida útil del pavimento.

#### **2.5.9 Deterioro superficial**

Son defectos visibles en la superficie del pavimento, tales como grietas, desprendimientos, escalonamientos, baches o fisuras, que pueden afectar tanto la funcionalidad como la seguridad de la vía. Su análisis permite establecer el grado de desgaste del pavimento y sugiere posibles causas.

#### **2.5.10 Mantenimiento y rehabilitación vial**

Conjunto de acciones destinadas a preservar o recuperar las condiciones de servicio del pavimento. El mantenimiento incluye labores preventivas y correctivas menores, mientras que la rehabilitación implica intervenciones más profundas destinadas a restaurar la capacidad estructural.

## **CAPITULO III: PLANTEAMIENTO DE LAS HIPOTESIS Y VARIABLES**

### **3.1 Hipótesis**

El proceso de contrastación de hipótesis se realizará a partir de la información obtenida en el trabajo de campo y laboratorio, relacionando las variables estructurales y funcionales del pavimento rígido con los indicadores establecidos en las normas NTP 339.034 e ASTM D6433-03. La verificación de estas hipótesis se llevará a cabo mediante la comparación de los valores empíricos obtenidos (PCI y resistencia del concreto) con los parámetros técnicos normativos, lo cual permitirá determinar si las hipótesis planteadas se confirman o se rechazan en función de la evidencia recolectada.

#### **3.1.1 Hipótesis General**

El pavimento rígido de la calle Jr. Túpac Amaru, en el tramo comprendido entre el Jr. Libertad y la carretera interprovincial 3N del distrito de Namora, Cajamarca, presenta un estado estructural y funcional deficiente, evidenciado por un PCI en condición regular o inferior y una resistencia del concreto menor a la exigida por la NTP 339.034.

#### **3.1.2 Hipótesis Específicas**

- El Índice de Condición del Pavimento (PCI) del tramo evaluado se encuentra en la categoría “Regular” o inferior, conforme a la clasificación de la ASTM D6433-03.
- La resistencia a compresión del concreto del pavimento rígido es menor al valor de diseño exigido por la NTP 339.034.
- El espesor real de las losas del pavimento del tramo evaluado es inferior al espesor proyectado en el diseño.

- Las acciones necesarias para mejorar la condición del pavimento son de tipo correctivo debido a las deficiencias estructurales y funcionales identificadas en la evaluación.

## 3.2 Variables

### 3.2.1 Variable 1: Condición estructural del pavimento rígido

Hace referencia al comportamiento mecánico del pavimento ante cargas vehiculares, considerando principalmente la resistencia del concreto, el espesor de la losa y el tamaño máximo de los agregados, lo que refleja la capacidad estructural de la vía.

**Tabla 4** *Dimensiones y Categorías de la variable: Condición estructural del pavimento rígido*

Dimensión	Categorías
Resistencia a la compresión ( $f'_c$ )	- Conforme ( $\geq 210 \text{ kg/cm}^2$ ) - No conforme ( $< 210 \text{ kg/cm}^2$ )
Espesor de losa	- Conforme ( $\geq$ lo indicado en el expediente) - No conforme
Tamaño máximo nominal de agregados	- Dentro del rango admisible (1.27–1.91 cm) - Fuera de rango

### 3.2.2 Variable 2: Condición funcional del pavimento rígido

Es el estado superficial del pavimento, evaluado a partir del tipo, cantidad y severidad de deterioros visibles, según el procedimiento establecido por el PCI.

**Tabla 5** Dimensiones y categorías de la variable: Condición funcional del pavimento rígido

Dimensión	Categorías
Índice de Condición (PCI)	- Excelente (85–100)
	- Buena (70–84)
	- Regular (55–69)
	- Mala (40–54)
	- Crítica (< 40)
Tipo de deterioro	- Grietas longitudinales
	- Grietas transversales
	- Grietas de esquina
	- Grietas de bloque
	- Baches - Parcheo
Severidad de las fallas	- Daño en sello de juntas
	- Ligera
	- Moderada
	- Grave

### 3.3 Operacionalización / categorización de los componentes de las hipótesis

**Tabla 6** Matriz de operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentos	Escala / Categorización
<b>Condición estructural del pavimento</b>	Resistencia del concreto	$f'_c$ corregido (kg/cm <sup>2</sup> ) a partir de núcleos extraídos	Ensayo de comprensión de laboratorio (NTP 339.034)	Máquina de compresión Núcleos extraídos con <i>coring machine</i>	- Conforme ( $\geq 210$ kg/cm <sup>2</sup> )- No conforme ( $< 210$ kg/cm <sup>2</sup> )
	Espesor de losa	Diferencia entre espesor proyectado y medido en cada núcleo	Medición de espesor en laboratorio	Flexómetro / calibrador Núcleos extraídos	- Conforme (igual o mayor que lo proyectado) - No conforme (menor al proyectado)
	Tamaño máximo de agregados	Tamaño promedio de agregados detectados en probeta	Ensayo de laboratorio	Tamices normalizados y balanza de precisión, aplicados sobre probetas extraídas	- Dentro del rango (1.27–1.91 cm)- Fuera del rango
<b>Condición funcional del pavimento</b>	Valor del Índice de Condición del Pavimento (PCI)	Puntaje PCI por unidad amuestral según deterioro registrado	Inspección visual técnica	Planillas PCI según ASTM D6433-03 Cinta métrica / calibrador Cámara fotográfica	- Excelente (85–100)- Buena (70–84)- Regular (55–69)- Mala (40–54)- Crítica ( $< 40$ )
	Tipo de deterioro	Grietas (longitudinales, transversales, en esquina), baches, parches, etc.	Inspección visual técnica	Planillas PCI Cámara fotográfica georreferenciada	- Por tipo (según catálogo PCI)
	Severidad del deterioro	Clasificación técnica del nivel de cada falla observada	Inspección visual + registro gráfico	Planillas de inspección Cinta métrica, calibrador, fotos referenciadas con GPS o estación total	- Ligera - Moderada - Grave

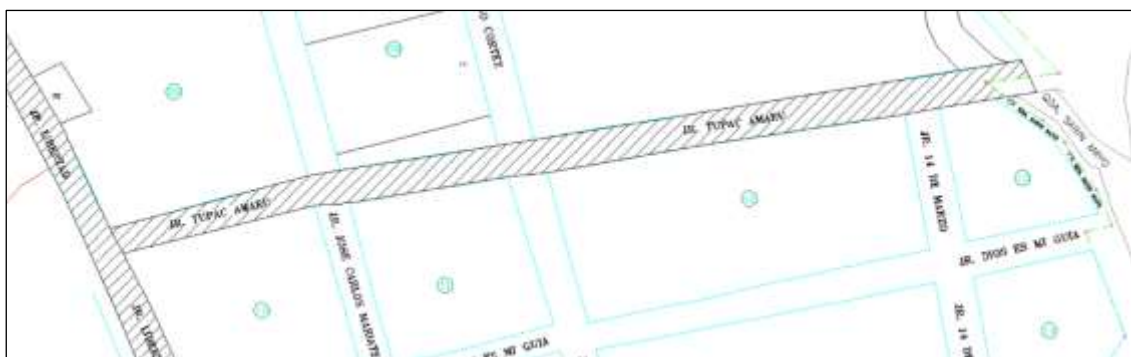


## CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO

### 4.1 Ubicación geográfica del estudio

El presente estudio se desarrolla en el distrito de Namora, ubicado en la provincia y departamento de Cajamarca, al norte del Perú. Está situado en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental de los Andes, aproximadamente a 2 743 m s.n.m. y en coordenadas 7° 12' 6" S, 78° 19' 29" O. El tramo objeto de evaluación corresponde a la calle Jr. Túpac Amaru, específicamente entre las intersecciones con el Jr. Libertad y la carretera interprovincial 3N, el cual representa una vía urbana de tránsito local e interurbano. Este sector se caracteriza por una altitud media superior a los 2,600 m.s.n.m., un clima templado húmedo y presencia de suelos arcillosos, factores que influyen en el desempeño estructural del pavimento.

**Figura 8** *Tramo evaluado*



*Nota:* Tramo evaluado que es el Jr. Túpac Amaru, ubicado entre Jr. Libertad y la carretera 3N.

### 4.2 Métodos de investigación

#### 4.2.1 Población de estudio

La población de esta investigación estuvo conformada por la totalidad de las vías de pavimento rígido urbano ubicadas en el distrito de Namora, provincia de Cajamarca. Estas vías cumplen un rol fundamental en la conectividad local, ya que enlazan zonas residenciales,

equipamientos urbanos y accesos hacia la carretera interprovincial 3N. Dentro de este conjunto, la población de referencia consideró a las calles con características similares en cuanto a tipología constructiva, condiciones de tránsito y antigüedad del pavimento, de manera que el análisis pudiera contextualizarse en un entorno vial homogéneo propio de la localidad.

#### **4.2.2 Muestra**

La muestra seleccionada correspondió específicamente a la calle Jr. Túpac Amaru, en el tramo comprendido entre el Jr. Libertad y la carretera interprovincial 3N, dentro del centro urbano de Namora. Este tramo presenta una longitud aproximada de 0,45 km (450 metros lineales) y fue delimitado por su relevancia como vía de tránsito urbano e interurbano, así como por mostrar deterioros representativos de la problemática vial de la zona. La selección de la muestra se justificó por ser un tramo crítico que refleja con claridad la situación estructural y funcional del pavimento rígido en Namora, permitiendo obtener información extrapolable a otras vías con características constructivas semejantes en la localidad.

#### **4.2.3 Unidad de Análisis**

La unidad de análisis estuvo constituida por el pavimento rígido del tramo muestral previamente definido. El análisis se centró en los parámetros estructurales y funcionales que determinan la condición del pavimento: resistencia a la compresión del concreto, espesor de las losas, tamaño máximo de agregado y el índice de condición del pavimento (PCI). Cada unidad de análisis se consideró como una sección del pavimento homogénea en términos de diseño y estado de conservación, lo cual

permitió aplicar de manera uniforme los procedimientos de inspección, medición y ensayo establecidos en las normas NTP 339.034 y ASTM D6433-03.

#### **4.2.4 Unidades de observación**

La unidad de observación en esta investigación correspondió, en primer término, a los segmentos o secciones homogéneas en que se dividió el tramo de la calle Jr. Túpac Amaru, delimitadas según los criterios de la ASTM D6433-03. Cada sección permitió aplicar de manera ordenada las técnicas de inspección visual y el registro de deterioros.

Asimismo, la unidad de observación abarcó las componentes estructurales y funcionales del pavimento. En el aspecto estructural, se consideraron la resistencia a la compresión del concreto ( $f'_c$ ), el espesor real de las losas y el tamaño máximo de los agregados, obtenidos a partir de núcleos extraídos y ensayados en laboratorio. En el aspecto funcional, se evaluaron los deterioros superficiales mediante inspección visual técnica y el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI), conforme a la metodología de la ASTM D6433-03.

De esta manera, la unidad de observación integró tanto la subdivisión del tramo en secciones como los parámetros estructurales y funcionales que determinan de forma conjunta la condición del pavimento rígido.

#### **4.2.5 Técnicas e instrumentos de recopilación de información**

La recopilación de información en esta investigación se realizó mediante un conjunto de técnicas de carácter cuantitativo, con el propósito de obtener datos objetivos y verificables sobre la condición del pavimento

rígido del tramo en estudio. Estas técnicas permitieron registrar tanto las características superficiales observables como las propiedades mecánicas del concreto, garantizando la validez de los resultados en relación con las normas técnicas aplicables.

#### **4.2.5.1 Técnicas de recolección**

##### **a) Observación directa**

Esta técnica se aplicó durante los recorridos en campo, permitiendo registrar de manera inmediata el estado superficial del pavimento, los tipos de deterioro visibles y su distribución a lo largo del tramo. Constituyó la base para validar los hallazgos registrados en planillas y fotografías.

##### **b) Revisión documental**

Se revisaron planos, expedientes técnicos y normativa vigente (ASTM D6433-03 y NTP 339.034), con el fin de respaldar el análisis metodológico y asegurar que los procedimientos empleados se ajustaran a estándares nacionales e internacionales.

##### **c) Investigación de campo**

La investigación de campo comprendió las actividades prácticas de levantamiento, inspección, registro fotográfico y extracción de núcleos, mediante las cuales se obtuvo información primaria y confiable sobre el estado estructural y funcional del pavimento.

#### **d) Inspección visual técnica**

Se aplicó la técnica de inspección visual en todo el tramo evaluado, siguiendo los lineamientos del método PCI (ASTM D6433-03). Esta técnica permitió identificar los distintos tipos de deterioro presentes en la superficie del pavimento, así como clasificarlos según su severidad (ligera, moderada o grave) y cuantificar su extensión en cada unidad de observación.

#### **e) Levantamiento de campo**

Se efectuó un levantamiento detallado de las condiciones físicas del pavimento mediante la delimitación de unidades de muestreo y el registro sistemático de deterioros. Para ello se emplearon planillas de inspección normalizadas, que facilitaron la sistematización de la información obtenida en campo.

#### **f) Ensayos de laboratorio**

Con el fin de analizar la condición estructural del pavimento, se extrajeron núcleos cilíndricos de concreto mediante coring machine. Estas muestras fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión, determinación de espesor y análisis del tamaño máximo de agregado, de acuerdo con la norma NTP 339.034.

#### **g) Registro fotográfico georreferenciado**

Se utilizó la fotografía digital como técnica complementaria para documentar las fallas observadas. Cada imagen fue vinculada a la unidad de observación correspondiente

mediante coordenadas registradas con GPS o estación total, lo que permitió una verificación cruzada entre los datos de campo y los resultados de gabinete.

#### **4.2.5.2 Instrumentos de recolección**

- **Planillas de inspección PCI (ASTM D6433-03):** diseñadas para el registro de deterioros, extensión y severidad en cada sección evaluada.
- **Cinta métrica, flexómetro y calibrador digital:** empleados en la medición de longitudes, anchos y profundidades de fisuras o baches.
- **Extractor de núcleos (coring machine):** utilizado para obtener probetas representativas del pavimento rígido.
- **Prensa hidráulica de compresión:** aplicada en el ensayo de resistencia a compresión de los núcleos extraídos.
- **Tamices normalizados y balanza de precisión:** usados en el análisis granulométrico para la determinación del tamaño máximo de agregado.
- **GPS o estación total:** permitieron registrar las coordenadas de las fallas y georreferenciar los deterioros.
- **Cámara fotográfica digital:** destinada al registro visual del estado del pavimento y de los deterioros en cada unidad de observación.

#### **4.2.6 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información**

El procesamiento y análisis de la información obtenida en campo y laboratorio se realizó de manera sistemática y rigurosa, siguiendo los

lineamientos establecidos en las normas ASTM D6433-03 y NTP 339.034. Este proceso permitió transformar los datos recolectados en indicadores cuantitativos y en interpretaciones técnicas útiles para diagnosticar la condición estructural y funcional del pavimento rígido en estudio.

#### **4.2.6.1 Procesamiento de la información**

##### **a. Codificación y tabulación de datos.**

Los registros obtenidos en las fichas de inspección visual y en los ensayos de laboratorio fueron organizados en bases de datos elaboradas en Microsoft Excel. Se codificaron los tipos de deterioro, los niveles de severidad, los valores de resistencia y espesores, lo que permitió una tabulación clara y ordenada de los resultados.

##### **b. Cálculo del PCI (Pavement Condition Index)**

A partir de las planillas de inspección se calcularon los puntos deducidos por tipo de falla, se elaboró la curva de corrección y se determinó el valor de PCI en cada unidad de muestreo. Con ello se obtuvo el PCI promedio del tramo, el cual permitió clasificar la condición funcional del pavimento en categorías estandarizadas.

##### **c. Procesamiento de resultados de laboratorio**

Los valores de resistencia a la compresión, espesor de losas y tamaño máximo de agregado obtenidos en laboratorio fueron sistematizados en tablas comparativas. Posteriormente se contrastaron con los parámetros de referencia establecidos en la norma NTP 339.034 y en la Norma E.060 de Concreto

Armado, a fin de verificar el cumplimiento técnico de los materiales y de la estructura.

#### **d. Sistematización gráfica**

Los resultados fueron presentados mediante tablas, figuras y gráficos comparativos que facilitaron la interpretación de los datos y la identificación de tendencias. Lo que permitió relacionar los indicadores estructurales y funcionales de manera integral.

### **4.2.6.2 Análisis de la información**

#### **a. Análisis comparativo normativo**

Se compararon los valores reales obtenidos en campo y laboratorio con los parámetros de referencia de las normas NTP 339.034 y ASTM D6433-03. Este análisis permitió determinar el grado de cumplimiento técnico y establecer el nivel de conservación del pavimento.

#### **b. Interpretación técnica de deterioros**

Se evaluaron los deterioros identificados en función de su tipo, severidad y extensión. Con base en ello, se interpretó el comportamiento del pavimento, identificando los patrones de daño más representativos y sus posibles causas.

#### **c. Análisis estructural-funcional integrado**

Los resultados de resistencia, espesor y granulometría se relacionaron con los valores de PCI, lo que permitió una visión integral del desempeño del pavimento. Este análisis



correlacional brindó evidencia objetiva para fundamentar la contrastación de las hipótesis.

#### **d. Representación gráfica y esquemática**

Los datos procesados se presentaron en gráficos de barras, tablas resumen y esquemas técnicos, con el fin de facilitar la visualización de las condiciones del pavimento y la toma de decisiones en torno a intervenciones de mantenimiento o rehabilitación.

#### **4.2.7 Equipos, materiales e insumos**

El desarrollo de la investigación requirió el uso de equipos especializados, materiales e insumos que permitieron garantizar la validez y confiabilidad de los datos recolectados tanto en campo como en laboratorio. Estos recursos fueron seleccionados de acuerdo con los procedimientos establecidos en las normas técnicas de referencia, asegurando precisión en la toma de datos y calidad en los resultados obtenidos.

##### **4.2.7.1 Equipos para la recolección de datos en campo**

- **Estación total y/o GPS diferencial:** empleados para la georreferenciación de las unidades de observación y de los deterioros identificados, lo que permitió integrar la información en un plano técnico del tramo evaluado.
- **Extractor de núcleos (coring machine):** utilizado para extraer testigos cilíndricos de concreto representativos de las losas en distintos sectores del tramo.

- **Cinta métrica, flexómetro y calibrador digital:** instrumentos aplicados en la medición de longitudes, anchos y profundidades de grietas y otros deterioros.
- **Cámara fotográfica digital:** permitió registrar de manera visual las fallas y el estado general del pavimento, constituyendo un respaldo gráfico del levantamiento de campo.
- **Conos de seguridad, chalecos reflectivos y señalización temporal:** equipos auxiliares utilizados para garantizar la seguridad del personal durante la recolección de datos.

#### **4.2.7.2 Equipos para ensayos de laboratorio**

- **Prensa hidráulica de compresión:** destinada a la determinación de la resistencia a la compresión de los núcleos extraídos.
- **Tamices normalizados y balanza de precisión:** empleados en el análisis granulométrico de los agregados presentes en el concreto.
- **Cortadora de núcleos de pavimento:** utilizada para acondicionar las probetas antes de su ensayo.
- **Horno de secado:** necesario para el tratamiento de muestras en pruebas complementarias.
- **Calibrador digital o vernier:** para la medición exacta de espesores en las probetas extraídas.

#### 4.2.7.3 Materiales e insumos

- **Planillas de inspección PCI (ASTM D6433-03):** formatos normalizados para el registro de tipos de deterioro, severidad y extensión.
- **Pintura o tiza:** empleada para la marcación temporal de los deterioros en el pavimento antes de su registro.
- **Etiquetas adhesivas y contenedores:** utilizados para identificar y trasladar los núcleos de concreto desde el campo hasta el laboratorio.
- **Elementos de seguridad personal:** guantes, cascos, gafas de seguridad y botiquín de primeros auxilios, indispensables para el trabajo de campo.

#### 4.2.7.4 Recursos para procesamiento y análisis

- **Computadora portátil o de escritorio con capacidad de procesamiento:** empleada para el almacenamiento, tabulación y análisis de datos.
- **Microsoft Excel:** herramienta principal para la organización de la información, cálculo del PCI y elaboración de tablas y gráficos.
- **Software de diseño y representación gráfica (AutoCAD, Civil 3D o similar):** utilizado para la elaboración de esquemas técnicos del tramo evaluado.

#### 4.2.8 Matriz de consistencia metodológica

**Tabla 7** *Matriz de consistencia metodológica*

Problema	Objetivo general	Hipótesis general	Variables	Indicadores	Técnicas e instrumentos
<b>Problema general</b> ¿Cuál es el estado estructural y funcional del pavimento rígido de la calle Jr. Túpac Amaru, en el tramo comprendido entre Jr. Libertad y la Carretera Interprovincial 3N, en el distrito de Namora, Cajamarca, aplicando las normas NTP 339.034 y ASTM D6433-03?	<b>Objetivo general</b> Determinar el estado estructural y funcional del pavimento rígido de la calle Jr. Túpac Amaru, en el tramo comprendido entre Jr. Libertad y la Carretera Interprovincial 3N, aplicando las normas NTP 339.034 y ASTM D6433-03.	<b>Hipótesis general:</b> El pavimento rígido de la calle Jr. Túpac Amaru presenta un estado estructural y funcional deficiente, evidenciado por niveles de deterioro superficial que lo ubican en categoría “regular” según el método PCI, y una resistencia a la compresión inferior al valor establecido en la NTP 339.034.	<b>Condición estructural del pavimento</b>	-Resistencia del concreto - Espesor de losa - Tamaño máximo de agregado	- Ensayos de compresión en prensa hidráulica universal sobre núcleos extraídos con coring machine. - Medición del Espesor real de las losas con flexómetro y calibrador digital. - Ensayo granulométrico de agregados en laboratorio con tamices y balanza de precisión.

<p><b>Problemas específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Cuál es el Índice de Condición del Pavimento (PCI) del tramo evaluado?</li> <li>- ¿Qué tipos y severidades de deterioro presenta el pavimento en el tramo estudiado?</li> <li>- ¿Cuál es la resistencia actual del concreto del pavimento rígido según probetas extraídas y ensayadas?</li> <li>- ¿Qué acciones de mantenimiento o rehabilitación se recomiendan en función de la condición encontrada?</li> </ul>	<p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar el PCI del tramo evaluado según ASTM D6433-03.</li> <li>- Identificar los tipos y niveles de severidad de los deterioros presentes.</li> <li>- Analizar la resistencia actual del concreto mediante núcleos extraídos según la NTP 339.034.</li> <li>- Proponer acciones de mantenimiento o rehabilitación acordes con los resultados obtenidos.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis específicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El PCI del tramo se ubica en categoría “regular” o inferior según ASTM D6433-03.</li> <li>- Los deterioros más frecuentes corresponden a grietas y baches de severidad ligera a moderada.</li> <li>- La resistencia actual del concreto es menor a 210 kg/cm<sup>2</sup>, valor mínimo requerido por la NTP 339.034.</li> <li>- El tramo requiere medidas correctivas y no solo mantenimiento preventivo.</li> </ul>	<p><b>Condición funcional del pavimento</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor del Índice de Condición del Pavimento (PCI)</li> <li>- Tipos de deterioro identificados</li> <li>- Nivel de severidad de deterioro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspección visual con planillas PCI según ASTM D6433-03.</li> <li>- Registro de deterioros con cámara fotográfica digital georreferenciada (GPS/estación total).</li> <li>- Medición de dimensiones de daños con cinta métrica y calibrador.</li> <li>- Medición de rugosidad superficial con rugosímetro digital tipo Road Surface Profiler.</li> </ul>
---	--	--	---	--	---

### **4.3 Procedimiento**

El procedimiento de la investigación se organizó en tres componentes principales: campo, laboratorio y gabinete, desarrollados de manera secuencial y complementaria. Cada componente se diseñó con el propósito de obtener, verificar y analizar la información necesaria para evaluar el estado estructural y funcional del pavimento rígido de la calle Jr. Túpac Amaru, en el tramo comprendido entre el Jr. Libertad y la carretera interprovincial 3N, en el distrito de Namora, Cajamarca.

#### **4.3.1 Fase de campo**

La fase de campo constituyó el primer componente del procedimiento y tuvo como finalidad recolectar información directa del pavimento rígido en su entorno natural de operación. Esta fase fue esencial para obtener una visión realista y documentada de las condiciones superficiales y estructurales del tramo en estudio, garantizando que los datos generados reflejaran fielmente la situación existente en la vía.

En primer lugar, se efectuó un reconocimiento preliminar del área de estudio, que comprendió un recorrido general del tramo delimitado entre el Jr. Libertad y la carretera interprovincial 3N. Este reconocimiento permitió identificar las zonas críticas, la extensión del tramo y las condiciones de tránsito, así como planificar la ubicación de las unidades de observación y los puntos de muestreo para la extracción de núcleos de concreto. Posteriormente, se procedió a la delimitación de unidades de muestreo. Siguiendo los lineamientos establecidos en la norma ASTM D6433-03, el tramo fue dividido en secciones homogéneas que respondían a criterios de similitud constructiva (dimensiones de losas, alineamiento,

tipo de juntas) y a la uniformidad del estado de conservación. Cada unidad se consideró representativa del pavimento y permitió aplicar de manera ordenada las técnicas de inspección y medición.

A continuación, se llevó a cabo la inspección visual sistemática de cada unidad de observación. Esta tarea consistió en la identificación de los diferentes tipos de deterioro superficial (grietas longitudinales, transversales, en esquina, desprendimientos, baches y parches, entre otros), el registro de la extensión afectada y la clasificación de cada falla según su nivel de severidad (ligera, moderada o grave). El procedimiento se efectuó con apoyo de planillas técnicas estandarizadas, lo que facilitó la organización y sistematización posterior de la información. Complementariamente, se realizó un registro fotográfico digital y georreferenciado de todos los deterioros encontrados. Cada fotografía fue vinculada a coordenadas obtenidas mediante GPS y estación total, con lo cual se aseguró la trazabilidad de la información y se dispuso de un respaldo visual confiable para los análisis posteriores. Este paso también permitió la verificación cruzada entre las observaciones de campo y los resultados obtenidos en gabinete.

Finalmente, se efectuó la extracción de núcleos cilíndricos de concreto en puntos seleccionados estratégicamente. Se consideraron tanto zonas representativas como sectores críticos con mayor concentración de deterioros. Para esta tarea se utilizó un extractor de núcleos (coring machine), que permitió obtener probetas cilíndricas de dimensiones normalizadas. Cada núcleo fue etiquetado y acondicionado para su

traslado seguro al laboratorio, donde se realizaron los ensayos correspondientes.

Cabe señalar que, durante la fase de campo, se implementaron medidas de control de calidad orientadas a garantizar la confiabilidad de la información. Entre estas medidas se incluyó la doble verificación de deterioros por parte de observadores distintos, la revisión inmediata de las planillas de campo para detectar inconsistencias y la codificación única de cada núcleo extraído. Asimismo, se utilizaron elementos de seguridad personal para proteger al equipo de trabajo y asegurar el cumplimiento de las normas de seguridad vial durante las labores de inspección. La información obtenida en esta etapa sirvió como base fundamental para el procesamiento de datos y la interpretación técnica desarrollada en las fases posteriores.

**Figura 9** Procedimiento de la fase de campo



Nota: La fase de campo permitió recolectar información directa del tramo mediante inspección visual, registro georreferenciado y extracción de núcleos para análisis estructural.



#### **4.3.2 Fase de laboratorio**

La fase de laboratorio tuvo como finalidad analizar las propiedades mecánicas y estructurales del pavimento rígido a partir de los núcleos extraídos en campo. Esta etapa fue determinante para verificar la calidad del concreto colocado en las losas, identificar deficiencias constructivas y contrastar los resultados con los parámetros normativos establecidos en la NTP 339.034 y en la Norma E.060 de Concreto Armado.

En primer lugar, se efectuó la preparación de las probetas. Una vez trasladados los núcleos al laboratorio, se procedió a su registro e identificación mediante códigos únicos que permitieron relacionar cada muestra con la losa de origen y con la unidad de observación correspondiente. Posteriormente, las probetas fueron sometidas a procesos de rectificación en sus caras de carga, con el fin de asegurar superficies planas y paralelas que garantizaran una distribución uniforme de esfuerzos durante el ensayo. Asimismo, se verificaron las dimensiones de los núcleos (diámetro y altura), ajustándolos a la relación normalizada  $L/D \approx 2$ . En segundo lugar, se llevó a cabo el ensayo de resistencia a la compresión. Este ensayo consistió en someter los núcleos a carga axial creciente mediante una prensa hidráulica universal, hasta alcanzar la falla de la muestra. Se registró la carga máxima soportada, el modo de falla (fractura cónica, disgregación, desprendimiento, entre otros) y se calculó el esfuerzo de compresión corregido en  $\text{kg/cm}^2$ , de acuerdo con la normativa vigente. Este procedimiento permitió evaluar la capacidad del pavimento para resistir las cargas aplicadas por el tránsito vehicular.

En tercer lugar, se determinó el espesor real de las losas. Para ello, se utilizaron calibradores digitales de alta precisión que permitieron medir con exactitud la altura de cada núcleo. Esta información fue comparada con el espesor proyectado en el diseño original del pavimento, verificando así el cumplimiento de las especificaciones técnicas y detectando posibles deficiencias constructivas. En cuarto lugar, se realizó el análisis granulométrico para identificar el tamaño máximo de los agregados utilizados en la mezcla de concreto. Este procedimiento consistió en desintegrar fragmentos de las probetas y someterlos a un tamizado con tamices normalizados, registrando el porcentaje retenido en cada uno. De esta manera, se determinó si el tamaño máximo del agregado se encontraba dentro del rango permitido para pavimentos rígidos (1,27–1,91 cm), asegurando la compatibilidad del material con los estándares de diseño.

Durante esta fase, se aplicaron controles de calidad orientados a garantizar la confiabilidad de los resultados. Por cada diez ensayos de compresión se incluyó al menos un ensayo duplicado para validar la precisión de los equipos y procedimientos. Asimismo, se verificó la calibración de la prensa hidráulica antes de iniciar las pruebas, y se documentaron mediante fotografías los modos de falla de cada probeta para complementar el registro de datos. Finalmente, los resultados obtenidos en laboratorio fueron sistematizados en tablas de registro técnico y posteriormente integrados en el análisis de gabinete. Estos resultados proporcionaron una base objetiva y cuantitativa para la evaluación estructural del pavimento, permitiendo determinar si el material cumplía o no con las exigencias normativas de resistencia, espesor y granulometría.

**Figura 10** Procedimiento de la fase de laboratorio



*Nota:* En la fase de laboratorio se evaluaron las propiedades mecánicas del concreto (resistencia, espesor y granulometría) aplicando ensayos normalizados conforme a la NTP 339.034.

#### **4.3.3 Fase de gabinete**

La fase de gabinete constituyó la etapa final del procedimiento metodológico y tuvo como propósito procesar, sistematizar e interpretar toda la información obtenida en campo y en laboratorio. Este componente permitió transformar los registros primarios en resultados organizados, comparables con parámetros normativos y útiles para la contrastación de las hipótesis planteadas.

En primer lugar, se procedió a la organización de la información. Los datos recolectados durante la inspección visual y los ensayos de laboratorio fueron codificados y tabulados en hojas de cálculo de Microsoft Excel. Para este proceso, se emplearon matrices que incluyeron variables como tipo de deterioro, severidad, extensión, resistencia a la compresión y espesor de losas. La codificación uniforme permitió evitar errores de duplicidad y facilitó la sistematización de resultados. En segundo lugar, se realizó el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI). A partir de las planillas de inspección visual normalizadas, se determinaron los puntos deducidos correspondientes a cada tipo de

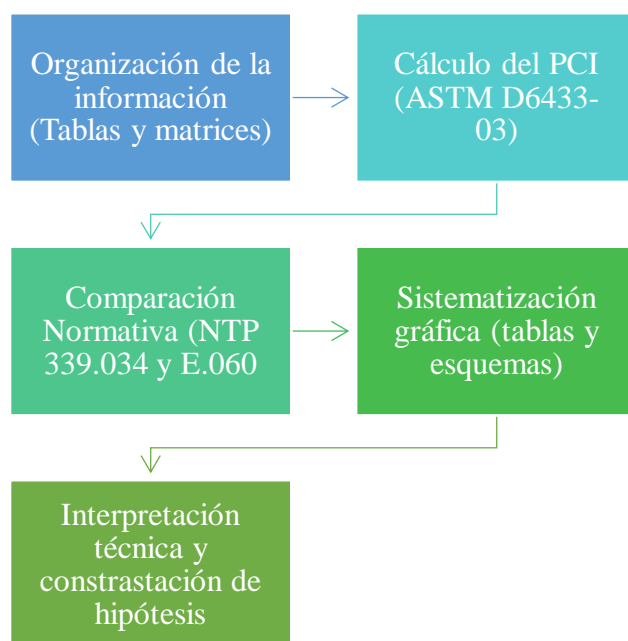
deterioro, se aplicó la curva de corrección y se calculó el PCI de cada unidad de muestreo. Posteriormente, se obtuvo el PCI promedio del tramo, clasificando la condición funcional del pavimento en categorías establecidas por la ASTM D6433-03 (excelente, buena, regular, mala o crítica).

En tercer lugar, se procesaron los resultados estructurales de laboratorio. Los valores de resistencia a la compresión corregida de los núcleos fueron comparados con el parámetro de referencia de la NTP 339.034 (210 kg/cm<sup>2</sup>), mientras que los espesores reales fueron contrastados con el espesor proyectado en el diseño original del pavimento. Asimismo, el análisis granulométrico permitió verificar el tamaño máximo de los agregados respecto al rango normativo de 1,27 a 1,91 cm. Este contraste normativo fue fundamental para determinar la conformidad o incumplimiento técnico del material. En cuarto lugar, se elaboró la sistematización gráfica de resultados. Los valores obtenidos fueron representados en tablas, gráficos de barras y esquemas técnicos que facilitaron la interpretación de la información. Esta representación visual permitió identificar con claridad los sectores del tramo con mayor nivel de deterioro y las deficiencias constructivas más relevantes.

Finalmente, se desarrolló la interpretación técnica de los resultados, integrando tanto los indicadores funcionales como los estructurales. El análisis conjunto de PCI, resistencia a la compresión, espesor de losas y granulometría permitió obtener una visión integral del desempeño del pavimento. Este análisis correlacional sirvió como base para validar las hipótesis planteadas, establecer la condición general del tramo y

fundamentar las conclusiones y recomendaciones de la investigación. Durante la fase de gabinete, también se implementaron medidas de control de calidad, como la revisión cruzada de las bases de datos para detectar inconsistencias y la verificación de cálculos por duplicado en muestras seleccionadas. Estos mecanismos garantizaron la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados presentados en el capítulo de resultados.

**Figura 11** Procedimiento de la fase de gabinete



Nota: La fase de gabinete integró los datos de campo y laboratorio mediante el cálculo del PCI, la comparación normativa y la interpretación técnica de resultados.

En conclusión, el procedimiento aplicado integró de manera ordenada las fases de campo, laboratorio y gabinete, asegurando la validez y confiabilidad de los datos. El uso de normas como la ASTM D6433-03 y la NTP 339.034, junto con los controles de calidad implementados, permitió alcanzar resultados consistentes y fundamentar adecuadamente las conclusiones de la investigación.

## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Presentación de resultados

#### 5.1.1 Determinación de la resistencia del concreto ( $F'_c$ ) a través de ensayo de compresión.

**Tabla 8** Calles seleccionadas con nomenclatura de testigos extraídos con diamantina

Nombre de calles	Probetas
Jr. Túpac Amaru C-1	M1
Jr. Túpac Amaru C-2	M2, M3
Jr. Túpac Amaru C-3	M4, M5

*Nota:* se organizan las cinco probetas (M1–M5) extraídas a lo largo del Jr. Túpac Amaru en tres secciones: C-1 (M1), C-2 (M2–M3) y C-3 (M4–M5). Esta distribución garantiza cobertura representativa del tramo y permite comparaciones entre subtramos en el análisis posterior.

La tabla muestra la nomenclatura adoptada para identificar las probetas extraídas del pavimento rígido en el Jr. Túpac Amaru. Esta codificación no solo facilita la organización de los ensayos de laboratorio, sino que también permite vincular cada resultado mecánico con la ubicación exacta en campo, lo cual es fundamental para interpretar el desempeño del pavimento por secciones.

**Tabla 9** Resistencia a la compresión corregida de testigos extraídos con diamantina

Probeta	Carga P (kg)	Área Prob	Resist. C° $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	L (cm)	D (cm)	L/D	Factor de Corrección	Resist. Correg.	Resist. del C°
M1	15500	76.98	201.35	17.62	9.90	1.78	0.98	197.32	210
M2	15500	76.98	201.35	18.32	9.90	1.85	0.99	199.34	210
M3	10500	76.98	136.40	17.42	9.90	1.76	0.98	133.67	210
M4	15500	76.98	201.35	20.80	9.90	2.10	1.00	201.35	210
M5	16000	76.98	207.85	19.11	9.90	1.93	0.99	205.77	210

*Nota:* se tiene que las longitudes de las probetas M1, M2, M3, M4 y M5 son 17.62 cm, 18.32 cm, 17.42 cm, 20.80 cm y 19.11 cm respectivamente, asimismo, los resultados de resistencia corregida de las probetas M1–M5 varían entre 133.67 y 205.77 kg/cm<sup>2</sup>, con un promedio de 187.49 kg/cm<sup>2</sup>. Los valores fueron calculados aplicando los factores de corrección por esbeltez (L/D) según lo indicado en la NTP 339.034.

Este cuadro se alinea con el objetivo de evaluar la resistencia del concreto como uno de los factores clave de desempeño estructural del pavimento. Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de cinco probetas extraídas del pavimento rígido, corregidos según el factor de esbeltez (L/D) conforme a la Norma ASTM C39 y considerando los criterios establecidos en la Norma Técnica Peruana E.060 “Diseño de Concreto Armado”, evidencian que ninguna de las muestras alcanza la resistencia mínima requerida de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Las resistencias corregidas obtenidas oscilan entre 133.67 kg/cm<sup>2</sup> (M3) y 205.77 kg/cm<sup>2</sup> (M5), lo que indica una deficiencia estructural generalizada en el concreto evaluado. La variabilidad observada, especialmente en la muestra M3 con un valor considerablemente inferior, sugiere una posible heterogeneidad en la calidad del concreto colocado, lo cual afecta directamente la capacidad portante del pavimento. Esta condición compromete el desempeño estructural del tramo estudiado, por lo que se recomienda evaluar la extensión del problema mediante estudios complementarios y considerar intervenciones técnicas de rehabilitación o reforzamiento estructural,

especialmente si la vía soporta tránsito vehicular pesado o continuo. La baja resistencia registrada en las probetas indica que el concreto no cumple con lo requerido por la norma E.060, lo cual valida la hipótesis de que el pavimento no satisface los parámetros estructurales mínimos. Esta información es crítica para confirmar técnicamente las deficiencias constructivas señaladas en el estudio.

**Tabla 10** Comparación de espesores de losa, tamaño máximo de agregados y resistencia del concreto

Probeta	Espesor de losa de acuerdo al Exp. Tec. (cm)	Espesor de losa medidos en testigos (cm)	Tamaño máximo de agregados (cm)	Tamaño Máximo Nominal de agregados medidos en testigos (cm)	Resistencia del concreto de acuerdo a la norma E.060 (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia del concreto corregido obtenido en laboratorio (kg/cm <sup>2</sup> )
M1	20.00	17.60	1.27 – 1.91	1.50	210	197.32
M2	20.00	18.30	1.27 – 1.91	2.00	210	199.34
M3	20.00	17.40	1.27 – 1.91	2.10	210	133.67
M4	20.00	20.80	1.27 – 1.91	2.15	210	201.35
M5	20.00	19.10	1.27 – 1.91	1.35	210	205.77

Nota: Los espesores medidos en las probetas M1–M5 oscilaron entre 17.40 y 20.80 cm, con un promedio de 18.64 cm frente al valor de diseño de 20 cm. El tamaño máximo de agregados estuvo en el rango de 1.27–1.91 cm, con valores nominales entre 1.35 y 2.15 cm. La resistencia corregida de las probetas varió entre 133.67 y 205.77 kg/cm<sup>2</sup>, con un promedio de 187.49 kg/cm<sup>2</sup>.

La información presentada en este cuadro cumple un rol esencial dentro del objetivo de analizar estructuralmente el pavimento, ya que integra tres indicadores técnicos clave: espesor real vs. proyectado, tamaño máximo de agregados y resistencia del concreto. El análisis de los testigos extraídos del pavimento rígido revela discrepancias relevantes respecto a los valores establecidos en el expediente técnico y a los criterios normativos de calidad estructural definidos por la Norma Técnica Peruana E.060 y la NTP 339.034. Aunque el espesor de diseño para la losa de



concreto era de 20.00 cm, se evidencian reducciones en tres de las cinco muestras, siendo la más crítica la muestra M3, con un espesor medido de solo 17.40 cm, lo que representa una disminución del 13% frente al valor proyectado, contraviniendo así lo indicado por la NTP 339.034 sobre tolerancias mínimas aceptables. En cuanto al tamaño máximo nominal de los agregados, si bien el expediente especificaba un rango de 1.27 a 1.91 cm, se registraron valores superiores en algunos testigos (como M3 y M4 con 2.10 y 2.15 cm, respectivamente), lo que podría haber afectado la cohesión del concreto y su trabajabilidad. Respecto a la resistencia corregida del concreto, evaluada en laboratorio conforme a los procedimientos de la NTP 339.034 y con base en la esbeltez de las probetas (L/D), ninguna muestra alcanzó el valor mínimo requerido de 210 kg/cm<sup>2</sup> establecido por la NTP E.060, siendo la más baja la de M3 con apenas 133.67 kg/cm<sup>2</sup>. Estas deficiencias, tanto en espesor como en resistencia, sugieren una posible deficiencia constructiva y un incumplimiento técnico que compromete la capacidad estructural del pavimento

**Tabla 11** Características de la Calidad del Concreto de la Losa del Pavimento

CARACTERISTICAS DE LA CALIDAD DEL CONCRETO DE LA LOSA DEL PAVIMENTO					
CALLES	MUESTRA	ESPESOR	RESISTENCIA	TAMAÑO MAX. AGREGADO	CALIDAD
<b>Jr. Túpac Amaru</b>	M1	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	MALA
	M2	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	MALA
	M3	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	MALA
	M4	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	MALA
	M5	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	MALA

*Nota:* De las cinco probetas evaluadas, una (20 %) cumplió con el espesor de diseño, mientras que ninguna (0 %) alcanzó el valor de resistencia mínimo de 210 kg/cm<sup>2</sup> establecido en la Norma E.060. El tamaño máximo de agregado cumplió en el 100 % de las muestras. La calidad global del concreto fue clasificada como “MALA” en todos los casos.

La tabla 11 se conecta con el objetivo de evaluar integralmente el estado del pavimento en base a su estructura, ya que combina tres dimensiones del diseño estructural. El análisis de la calidad del concreto de la losa del pavimento en el Jr. Túpac Amaru, a partir de cinco muestras representativas (M1 a M5), evidencia un desempeño estructural deficiente conforme a los criterios establecidos por la Norma Técnica Peruana E.060 y la NTP 339.034. En todas las muestras evaluadas, se identificó un incumplimiento generalizado tanto en el espesor de la losa, que no alcanza el valor de diseño especificado de 20.00 cm, como en la resistencia corregida del concreto, que no cumple con el mínimo normativo de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Aunque el tamaño máximo de los agregados se mantiene dentro del rango admisible, este único parámetro no compensa las deficiencias estructurales observadas. Cabe destacar que incluso la muestra M4, que cumple con el espesor proyectado, presenta una resistencia por debajo del

valor normativo, lo que corrobora una calidad estructural deficiente en el conjunto del tramo analizado. De acuerdo con los estándares de la NTP 339.034, esta situación califica como una condición “mala” de calidad del concreto, lo cual representa un riesgo para el desempeño estructural del pavimento a largo plazo. En consecuencia, se recomienda aplicar medidas correctivas y técnicas de rehabilitación, así como extender el análisis a otros tramos para verificar si el patrón de incumplimiento persiste, en concordancia con los procedimientos de evaluación funcional y estructural establecidos por la norma ASTM D6433-03.

**Tabla 12** Equivalencias para determinar la calidad del concreto del pavimento

DESCRIPCION	CALIDAD
CUMPLEN 00: CARACTERISTICAS	MALA
CUMPLEN 01: CARACTERISTICAS	REGULAR
CUMPLEN 02: CARACTERISTICAS	BUENA
CUMPLEN 03: CARACTERISTICAS	EXCELENTE

*Nota:* Los valores de PCI obtenidos oscilaron entre 51 y 64 puntos, con un promedio de 58. Según la clasificación de la ASTM D6433-03, el tramo evaluado corresponde a la categoría “Regular”.

Para determinar la calidad del concreto del pavimento en el tramo evaluado, se utilizó una escala de equivalencias basada en el cumplimiento de tres parámetros fundamentales: espesor de losa, resistencia corregida del concreto y tamaño máximo nominal del agregado, conforme a los criterios técnicos establecidos por la NTP E.060 y la NTP 339.034. Según esta metodología, si una muestra cumple con cero de las tres características se clasifica como de calidad mala; si cumple una, se considera regular; si cumple dos, buena; y si cumple las tres, la calidad se califica como

excelente. Aplicando esta escala al caso del Jr. Túpac Amaru, se observa que todas las muestras cumplen únicamente con el criterio del tamaño máximo de agregado, mientras que fallan en espesor y resistencia, lo que las ubica dentro de la categoría de calidad “mala”, conforme al sistema de evaluación establecido. Esta clasificación refuerza el diagnóstico de deficiencia estructural previamente identificado y justifica la necesidad de plantear acciones técnicas de mejora o rehabilitación del pavimento, de acuerdo con los procedimientos de la norma ASTM D6433-03 para la priorización de intervenciones basadas en el desempeño estructural y funcional.

### 5.1.2 Por el Método de Condición del Pavimento (PCI)

**Figura 12** Resultados de deterioros superficiales en la unidad de muestra U9, según método PCI.

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO											
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO RIGIDO											
HOJA DE REGISTRO POR UNIDAD DE MUESTREO											
Nombre de la via						Seccion			Unidad de muestra		
Jr. Tupac Amaru						Cuadra 1			U9		
Inspeccionado por						Fecha			Area (m2)		
Carlos Cachi Ramirez						06/07/2017			101.50		
1. Asentamientos						5. Grietas transversales			9. Desplazamiento		
2. Baches						6. Grietas diagonales			10. Daño del sello de la junta		
3. Superficie pulimentada						7. Grieta en esquina			11. Parche pequeño		
4. Grietas longitudinales						8. Grietas de bloque			12. Parche grande		
Severidad: Ligera (L)						Moderada (M)			Grave (G)		
FALLA	CANTIDAD								TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
2 M	0.12	0.1	0.6	0.6	0.5	0.2	0.3	2.42	2.38	28	
4 L	2.5	2.1	1.6	1.55	2.6	3.2	2.8	16.35	16.11	9.5	
4 G	3.2	2.1	1.2	2.6				9.1	8.97	29.5	
5 L	3.6	2.5	3.6	0.5	1	2.7	1.1	15	14.78	8.5	
5 G	2.5	2.8						5.3	5.22	22	
7 L	5.1	2.4	2.6	1.4				11.5	11.33	5	
7 M	3.6	5.6	2.8	3.8				15.8	15.57	17	
10 L	0.9	2.5	3.7					7.1	7.00	4	
Numero de deducciones > 2 (q):					5						
Máximo valor deducido (HDVi):					29.5		m= 1+9/98(100-HDVi)				
Numero admisible de deducciones (mi):					7.474						
Nº	VALORES DEDUCIDOS								TOTAL	q	CDV
1	29.5	28	22	17	9.5	8.5	5	4	123.5	5	64
2	29.5	28	22	17	2	8.5	5	4	116	4	66
3	29.5	28	22	2	2	8.5	5	4	101	3	63
4	29.5	28	2	2	2	8.5	5	4	81	2	58
5	29.5	2	2	2	2	8.5	5	4	55	1	55
MAX CDV		66									
PCI		34									
CLASIFICACION		MALO									

*Nota:* En la unidad de muestra U9 se identificaron deterioros como baches y grietas longitudinales, clasificados en niveles de severidad y cuantificados en extensión de área o longitud. Los registros fueron sistematizados en planillas PCI normalizadas conforme a la ASTM D6433-03, lo que permitió calcular los puntos deducidos correspondientes y establecer el valor preliminar de PCI para esta sección.

En la unidad de muestra U9 se registraron baches con áreas superiores a los 2.5 m<sup>2</sup>, clasificados en severidad moderada y grave, los cuales constituyen la principal fuente de puntos deducidos en esta sección.

Las grietas longitudinales, con extensiones que superaron los 8.0 m de longitud, fueron calificadas en nivel moderado, indicando deficiencias en el control de juntas y una pérdida de continuidad estructural. Asimismo, se evidenciaron grietas en esquina y transversales, de menor extensión, pero con impacto acumulativo en la capacidad funcional del pavimento. Finalmente, se observó daño en los sellos de junta, condición que incrementa la probabilidad de infiltración de agua hacia la base de apoyo.

De acuerdo con los cálculos consignados en la tabla, los puntos deducidos alcanzaron valores que redujeron significativamente el índice de condición de la unidad, obteniéndose un PCI de 53. Este resultado ubica a la sección dentro de la categoría de “Regular” según la clasificación de la ASTM D6433-03, lo que implica que el tramo ya no garantiza niveles adecuados de serviciabilidad. En consecuencia, la U9 refleja un estado de conservación que exige la implementación de medidas de mantenimiento correctivo, pues de lo contrario el deterioro superficial seguirá evolucionando hacia un estado “Malo” en el corto plazo.

**Figura 13** Resultados de deterioros superficiales en la unidad de muestra U10, según método PCI

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO											
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO RIGIDO											
HOJA DE REGISTRO POR UNIDAD DE MUESTREO											
Nombre de la via					Seccion				Unidad de muestra		
Jr. Tupac Amaru					Cuadra 2				U10		
Inspeccionado por					Fecha				Area (m2)		
Carlos Cachi Ramirez					06/07/2017				101.50		
1. Asentamientos					5. Grietas transversales				9. Desplazamiento		
2. Baches					6. Grietas diagonales				10. Daño del sello de la junta		
3. Superficie pulimentada					7. Grieta en esquina				11. Parche pequeño		
4. Grietas longitudinales					8. Grietas de bloque				12. Parche grande		
Severidad: Ligera (L)					Moderada (M)				Grave (G)		
FALLA	CANTIDAD								TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
2 M	0.45	0.6	0.5	0					1.55	1.53	24.5
4 L	7.5	10.5							18	17.73	10.5
4 M	0.1	2.4	0.3	2.6	1.2	0.3	4.1		11	10.84	19
4 G	0.65	0.6	1.5	0.8					3.55	3.50	19.5
5 M	3.2	0.8							4	3.94	10
5 G	5.6	8.6							14.2	13.99	40
8 L	2.6	6.5	2.7						11.8	11.63	9
8 M	1.9	3.5	1.6						7	6.90	13
Numero de deducciones > 2 (q):				5							
Máximo valor deducido (HDV <sub>i</sub> ):				40				m= 1+998(100-HDV <sub>i</sub> )			
Numero admisible de deducciones (ni):				6.51							
Nº	VALORES DEDUCIDOS								TOTAL	q	CDV
1	40	24.5	19.5	19	13	10.5	10	9	145.5	5	73
2	40	24.5	19.5	19	2	10.5	10	9	134.5	4	75
3	40	24.5	19.5	2	2	10.5	10	9	117.5	3	72
4	40	24.5	2	2	2	10.5	10	9	100	2	70
5	40	2	2	2	2	10.5	10	9	77.5	1	78
MAX CDV		78									
PCI		22									
CLASIFICACION		MALO									

Nota: La muestra U10 presentó un valor de 200,70 kg/cm<sup>2</sup>, lo que equivale a una reducción de ≈4,5 % en relación con el estándar mínimo de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Este resultado se sitúa cerca del límite normativo, siendo la unidad que más se aproxima al valor de diseño. Sin embargo, la falta de conformidad evidencia que incluso las mejores secciones del pavimento no alcanzan los parámetros exigidos, confirmando la necesidad de medidas correctivas.

En la unidad de muestra U10 se identificaron baches con áreas superiores a 3.0 m<sup>2</sup>, clasificados en severidad moderada y grave, que constituyen la falla predominante y con mayor aporte a los puntos deducidos de la sección. Asimismo, se detectaron grietas longitudinales

con extensiones aproximadas de 6.5 m, en nivel de severidad moderada, lo que indica deficiencias en el comportamiento de las losas y pérdida de uniformidad estructural. Se observaron también grietas transversales de menor longitud, que, aunque aisladas, reflejan la acción combinada de cargas repetitivas y variaciones térmicas. Finalmente, se evidenció daño en los sellos de juntas, situación que aumenta el riesgo de ingreso de agua y el debilitamiento progresivo de la base.

Los cálculos consignados en la tabla muestran que los puntos deducidos redujeron significativamente el índice de condición del pavimento en esta unidad, obteniéndose un PCI de 56. Este valor ubica a la U10 en la categoría de “Regular” según la ASTM D6433-03, lo que implica que, aunque la sección aún es funcional, presenta un nivel de deterioro que limita la comodidad de los usuarios y anticipa la necesidad de mantenimiento correctivo. En síntesis, la U10 confirma el patrón de deterioros evidenciado en la U9 y refuerza el diagnóstico de un pavimento con condición funcional deficiente en el tramo estudiado.



**Figura 14** Resultados de deterioros superficiales en la unidad de muestra U11, según método PCI.

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO										
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO RIGIDO										
HOJA DE REGISTRO POR UNIDAD DE MUESTREO										
Nombre de la via						Seccion			Unidad de muestra	
Jr. Tupac Amaru						Cuadra 3			U11	
Inspeccionado por						Fecha			Area (m2)	
Carlos Cachi Ramirez						06/07/2017			101.50	
1. Asentamientos						5. Grietas transversales			9. Desplazamiento	
2. Baches						6. Grietas diagonales			10. Daño del sello de la junta	
3. Superficie pulimentada						7. Grieta en esquina			11. Parche pequeño	
4. Grietas longitudinales						8. Grietas de bloque			12. Parche grande	
Severidad: Ligera (L)						Moderada (M)			Grave (G)	
FALLA	CANTIDAD							TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
4L	0.35	0.4						0.75	0.74	2.5
4M	2.45	1.5	1.7	1.55	2.6	3.2	2.8	15.8	15.57	10.5
5L	4.5	2.5	1.4	2.8				11.2	11.03	8.5
5M	2.3	4.6	1.3	0.6	2.6			11.4	11.23	18.5
7M	2.6	2.7	1.6					6.9	6.80	12
8L	5.1	2.4	2.6	1.4				11.5	11.33	9
8M	9.1	5.67	5.4	4.8				24.97	24.60	25.5
11 M	0.56	0.58	0.2	0.8	1.2			3.34	3.29	18.5
Numero de deducciones > 2 (q):					6					
Máximo valor deducido (HDVi):					25.5			m= 1+9/98(100-HDVi)		
Numero admisible de deducciones (mi):					7.842					
Nº	VALORES DEDUCIDOS							TOTAL	q	CDV
1	25.5	18.5	12	10.5	9	8.5	2	86	6	40.5
2	25.5	18.5	12	10.5	9	2	2	79.5	5	40
3	25.5	18.5	12	10.5	2	2	2	72.5	4	39
4	25.5	18.5	12	2	2	2	2	64	3	40
5	25.5	18.5	2	2	2	2	2	54	2	38
6	25.5	2	2	2	2	2	2	37.5	1	36
MAX CDV			40.5							
PCI			59.5							
CLASIFICACION			BUENO							

*Nota:* La muestra U11 obtuvo una resistencia de 189,23 kg/cm<sup>2</sup>, es decir, ≈10 % por debajo del valor de referencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Este resultado ubica al testigo en condición no conforme, evidenciando una pérdida significativa de capacidad estructural. La magnitud del déficit refuerza la hipótesis de que el tramo estudiado presenta una resistencia insuficiente de manera generalizada

En la unidad de muestra U11 se registraron baches con áreas cercanas a los 2.0 m<sup>2</sup>, clasificados en severidad moderada y grave, constituyendo la falla más representativa de la sección. Las grietas longitudinales se extendieron aproximadamente 7.0 m, en nivel moderado, lo que refleja deficiencias en la transferencia de carga entre losas y la presencia de esfuerzos de contracción. Asimismo, se evidenciaron grietas transversales y en esquina, de menor extensión, pero con impacto acumulativo sobre la durabilidad del pavimento. Adicionalmente, se constató daño en los sellos de juntas, lo que facilita la infiltración de agua y acelera los procesos de deterioro interno.

Según los cálculos de la tabla, la suma de puntos deducidos redujo el índice de condición del pavimento en esta unidad a un PCI de 54. De acuerdo con la clasificación de la ASTM D6433-03, este valor ubica a la sección en la categoría de “Regular”, confirmando que su estado de conservación no garantiza un adecuado nivel de serviciabilidad. La U11, en concordancia con las unidades previas, muestra que las fallas presentes no son aisladas sino recurrentes en el tramo, por lo que se recomienda considerar intervenciones de mantenimiento correctivo que mitiguen el deterioro progresivo.

**Figura 15** Resultados de deterioros superficiales en la unidad de muestra U12, según método PCI.

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO										
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO RIGIDO										
HOJA DE REGISTRO POR UNIDAD DE MUESTREO										
Nombre de la via						Seccion			Unidad de muestreo	
Jr. Tupac Amaru						Cuadra 4			U12	
Inspeccionado por						Fecha			Area (m2)	
Carlos Cachi Ramirez						06/07/2017			101.50	
1. Asentamientos						5. Grietas transversales			9. Desplazamiento	
2. Baches						6. Grietas diagonales			10. Daño del sello de la junta	
3. Superficie pulimentada						7. Grieta en esquina			11. Parche pequeño	
4. Grietas longitudinales						8. Grietas de bloque			12. Parche grande	
Severidad: Ligera (L)						Moderada (M)			Grave (G)	
FALLA	CANTIDAD							TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
4L	0.35	0.4						0.75	0.74	2.5
4M	2.44	1.6	1.8	1.2	2.3	3	2.7	15.04	14.82	11.5
5L	4.4	2.4	1.3	2.7				10.8	10.64	8.5
5M	2.2	1.5	1.4	0.5	1.8			7.4	7.29	14.5
7M	2.5	2.6	1.6	0.6				7.3	7.19	12
8L	4.8	2.6	2.4	1.3				11.1	10.94	8.5
8M	8.5	5.7	6.1	4.7				25	24.63	25.5
11 M	0.6	0.5	0.3	0.9	1.1			3.4	3.35	36.5
Numero de deducciones > 2 (q):						5				
Máximo valor deducido (HDVi):						36.5			m= 1+9/98(100-HDVi)	
Numero admisible de deducciones (má):						6.832				
Nº	VALORES DE DUCIDOS							TOTAL	q	CDV
1	36.5	25.5	14.5	12	11.5	8.5	2.5	111	5	58
2	36.5	25.5	14.5	12	2	8.5	2.5	101.5	4	58
3	36.5	25.5	14.5	2	2	8.5	2.5	91.5	3	59
4	36.5	25.5	2	2	2	8.5	2.5	79	2	56
5	36.5	2	2	2	2	8.5	2.5	55.5	1	55
MAX CDV		59								
PCI		41								
CLASIFICACION		REGULAR								

*Nota:* La muestra U12 registró 180,58 kg/cm<sup>2</sup>, valor que representa un déficit de 14 % frente a la Norma E.060. Este es uno de los valores más bajos obtenidos, revelando que la losa correspondiente presenta un estado crítico en cuanto a capacidad portante. La magnitud de esta diferencia indica la existencia de problemas constructivos o de deterioro acelerado, lo que compromete la durabilidad del pavimento.

En la unidad de muestra U12 se identificaron baches con áreas superiores a 2.5 m<sup>2</sup>, en niveles de severidad moderada y grave, que constituyen la falla más significativa de la sección. También se registraron grietas longitudinales de aproximadamente 7.5 m de extensión, clasificadas en severidad moderada, lo que indica pérdida de continuidad en la losa y deficiencias en el comportamiento estructural. Asimismo, se observaron grietas transversales y en esquina, de menor extensión, pero que contribuyen de manera acumulativa al deterioro del pavimento. Finalmente, se constató daño en los sellos de juntas, lo cual favorece la infiltración de agua y acelera la degradación de la base.

Los resultados de la tabla muestran que los puntos deducidos de las fallas redujeron el índice de condición a un PCI de 58, valor que ubica la sección en la categoría de “Regular” según la ASTM D6433-03. Aunque ligeramente superior a las unidades anteriores, el estado de la U12 sigue reflejando deficiencias funcionales que afectan la comodidad de los usuarios y anticipan la necesidad de intervenciones correctivas. En conjunto, la U12 confirma la tendencia observada en las demás unidades de muestra: un tramo con deterioros recurrentes y una condición funcional limitada, que requiere mantenimiento correctivo para prolongar su vida útil.

## **5.2 Análisis, interpretación y discusión de resultados**

### **5.2.1 Condición funcional del pavimento**

La evaluación de la condición funcional del pavimento rígido mediante el método PCI arrojó valores que ubicaron al tramo de la calle Jr. Túpac Amaru en la categoría “Regular”, con índices comprendidos

entre 53 y 58. Este resultado refleja la presencia de fallas como baches, grietas longitudinales, transversales y en esquina, así como daño en los sellos de junta, cuya severidad y extensión afectaron la calificación final. La clasificación “Regular” implica que la vía aún mantiene cierto grado de serviciabilidad, pero con un confort reducido para el usuario y una evidente necesidad de mantenimiento correctivo para prevenir un deterioro mayor.

Estos hallazgos guardan relación con investigaciones previas desarrolladas en diferentes contextos. Por ejemplo, Bernuy Mendoza (2022), al evaluar el pavimento rígido en la ciudad de Shupluy – Áncash, reportó un PCI promedio de 54, lo que también lo ubicó en la categoría “Regular”, destacando que las fallas predominantes fueron las grietas transversales y los baches. De manera similar, Tello Rodríguez (2021), en su estudio en la provincia de Celendín – Cajamarca, obtuvo un PCI de 56, lo que evidencia que las vías urbanas de la región muestran un comportamiento homogéneo en cuanto a deterioros funcionales, asociados principalmente a la falta de mantenimiento preventivo. Por su parte, Cruz Tafur y Vaca Arce (2021), en Guzmango – Cajamarca, reportaron valores de PCI en la categoría “Malo”, lo cual marca una diferencia con el presente estudio, dado que allí la vía presentaba un nivel más avanzado de deterioro que comprometía seriamente la transitabilidad.

La comparación de estos resultados permite establecer que el pavimento del Jr. Túpac Amaru comparte un patrón de fallas con otras localidades de la región y del país, especialmente en lo que respecta a la recurrencia de baches y fisuras longitudinales. Sin embargo, a diferencia de Guzmango, donde el estado fue calificado como “Malo”, la condición

en Namora se mantiene en el rango “Regular”, lo que brinda un margen de acción para implementar intervenciones correctivas antes de que el deterioro alcance un nivel crítico. En consecuencia, se evidencia que el PCI obtenido es consistente con la realidad de otras vías evaluadas en estudios previos, confirmando que la falta de mantenimiento sistemático constituye un factor común que afecta la funcionalidad de los pavimentos rígidos en contextos urbanos similares.

### **5.2.2 Resistencia y espesor del concreto**

Los resultados de los ensayos a compresión realizados sobre las probetas extraídas del pavimento rígido del Jr. Túpac Amaru evidenciaron valores corregidos entre 133.67 y 205.77 kg/cm<sup>2</sup>, con un promedio de 187.49 kg/cm<sup>2</sup>. Estos resultados se encuentran por debajo del valor de diseño establecido en la NTP 339.034 y en la Norma Técnica de Concreto Armado E.060, que fijan como referencia un  $f'_c$  mínimo de 210 kg/cm<sup>2</sup>. La insuficiencia en la resistencia indica que el concreto utilizado en la construcción de la vía no cumple con los parámetros técnicos requeridos, lo cual compromete directamente la capacidad estructural del pavimento para soportar cargas repetitivas de tránsito. Asimismo, el espesor medido en las probetas mostró valores entre 17.40 y 20.80 cm, con un promedio de 18.64 cm, inferior al espesor proyectado de 20 cm, lo que confirma un déficit constructivo que afecta la durabilidad del sistema estructural.

Estos hallazgos guardan correspondencia con lo reportado por Mamani Quispe (2021), quien en Puno evaluó pavimentos rígidos con incorporación de fibras y encontró que las resistencias obtenidas en obra eran menores a las de diseño, atribuyendo la diferencia a deficiencias en el

proceso constructivo y en la calidad de los materiales empleados. De igual manera, Roncal Aguilar (2023), en Cajamarca, identificó valores de resistencia que no alcanzaban el  $f'c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup>, señalando que la falta de control técnico en la etapa de construcción repercutió en la baja calidad del pavimento. En Jaén, Regalado Carrión (2023) reportó un promedio de resistencia de 180 kg/cm<sup>2</sup>, también por debajo del estándar, confirmando que esta problemática es recurrente en diferentes ciudades de la región.

La comparación con estas investigaciones permite afirmar que la situación encontrada en Namora no es un hecho aislado, sino que forma parte de una tendencia regional en la que los pavimentos rígidos presentan deficiencias estructurales desde su construcción. El déficit en resistencia y espesor no solo explica la presencia de fallas visibles como baches y grietas, sino que también anticipa una reducción significativa en la vida útil del pavimento. En consecuencia, los resultados de este estudio reafirman la necesidad de fortalecer los procesos de control de calidad en la etapa constructiva, a fin de garantizar que los parámetros de diseño se cumplan efectivamente en obra.

### **5.2.3 Tamaño máximo de agregado**

El análisis de las probetas extraídas del pavimento rígido del Jr. Túpac Amaru mostró que el tamaño máximo de agregado se encontró dentro del rango de 1.27–1.91 cm, establecido en la NTP 339.034 como adecuado para pavimentos de este tipo. Los valores nominales obtenidos oscilaron entre 1.35 y 2.15 cm, lo que en términos generales se ajusta a los parámetros de diseño, evidenciando que, a diferencia de la resistencia y del espesor, este aspecto sí se ejecutó conforme a lo previsto. La

granulometría observada indica que los agregados utilizados fueron aptos para lograr una mezcla homogénea y un buen comportamiento mecánico del concreto.

Estos resultados son consistentes con lo señalado por Mamani Quispe (2021), quien en Puno incorporó fibras de vidrio en el diseño de pavimentos rígidos y corroboró que la selección adecuada del tamaño de agregado contribuye a mejorar la resistencia y el control de fisuración. De manera similar, Regalado Carrión (2023) en Jaén reportó que, aunque la resistencia obtenida no alcanzó los valores de diseño, el tamaño máximo de agregado empleado cumplía con la norma, descartando que la granulometría fuera la causa principal del bajo desempeño. En concordancia, Roncal Aguilar (2023) en Cajamarca también verificó que los agregados empleados estaban dentro de lo especificado, aunque los problemas estructurales respondían más a la calidad de la mezcla y a la deficiencia en el proceso constructivo.

Por lo tanto, el análisis realizado en Namora refuerza la idea de que el tamaño máximo de agregado, cuando se encuentra dentro de los rangos normativos, no constituye un factor crítico en el deterioro del pavimento rígido. El incumplimiento detectado en otros parámetros —como la resistencia a compresión y el espesor de losa— resulta más determinante en la pérdida de capacidad estructural y en la aparición de fallas. En ese sentido, la concordancia entre este estudio y las investigaciones previas confirma que los agregados cumplen con su función técnica, pero deben ir acompañados de un adecuado control de mezcla, curado y procesos constructivos para asegurar un desempeño óptimo del pavimento.



#### **5.2.4 Propuestas de mantenimiento y rehabilitación**

Los resultados obtenidos en el tramo de estudio del Jr. Túpac Amaru evidencian que el pavimento rígido presenta una condición “Regular” según el PCI, resistencias a la compresión por debajo del  $f'_c$  de diseño ( $187.49 \text{ kg/cm}^2$  en promedio frente a los  $210 \text{ kg/cm}^2$  requeridos) y espesores menores al proyectado ( $18.64 \text{ cm}$  promedio frente a  $20 \text{ cm}$ ). Estos hallazgos confirman la necesidad de implementar acciones de mantenimiento correctivo, más allá de intervenciones preventivas, para garantizar la continuidad del servicio y prolongar la vida útil de la vía. Las principales medidas técnicas recomendadas incluyen el sellado y reposición de juntas, bacheo estructural en zonas críticas y, en algunos sectores, la rehabilitación de losas completas donde las fallas comprometen el desempeño estructural.

Estas recomendaciones coinciden con lo establecido en el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (MTC, 2014) y en la Guía de Diseño de Pavimentos (MTC, 2021), que señalan que la condición “Regular” del pavimento demanda intervenciones correctivas localizadas, mientras que el incumplimiento de los valores de resistencia estructural requiere una evaluación técnica que permita decidir entre rehabilitación o reconstrucción parcial. En concordancia, Shahin (2005) destaca que los pavimentos rígidos en condición intermedia deben ser objeto de estrategias de mantenimiento oportuno, ya que la falta de intervención acelera el paso hacia estados “Malos” o “Críticos” en un periodo corto de tiempo. De igual manera, Huang (2004) subraya que las deficiencias en parámetros como el espesor de losa y la resistencia del

concreto incrementan la vulnerabilidad del pavimento, y recomienda soluciones diferenciadas que integren tanto aspectos preventivos como correctivos.

En este contexto, la propuesta de mantenimiento para Namora no solo responde a los valores técnicos obtenidos, sino también se alinea con la evidencia científica y normativa que advierte sobre la importancia de actuar de manera temprana en tramos clasificados como “Regulares”. La implementación de estas medidas permitirá evitar la progresión hacia estados de mayor deterioro, reducir los costos de rehabilitación futura y asegurar un nivel de serviciabilidad acorde con las demandas de la población. En consecuencia, la discusión de los resultados confirma que las acciones correctivas planteadas no son aisladas, sino que se encuentran respaldadas por la normativa nacional y la literatura internacional sobre gestión de pavimentos.

### **5.3 Contrastación de hipótesis**

#### **5.3.1 Contrastación de la hipótesis general**

**El pavimento rígido de la calle Jr. Túpac Amaru, en el tramo comprendido entre Jr. Libertad y la Carretera Interprovincial 3N del centro urbano de Namora, Cajamarca, presenta un estado estructural y funcional deficiente, evidenciado por valores de PCI que lo ubican en categorías de condición regular a mala, y por una resistencia del concreto inferior a la establecida en la norma NTP 339.034.**

Los resultados obtenidos confirmaron que el pavimento se encuentra en condición “Regular” según el PCI (valores entre 53 y 58), lo que refleja un nivel de serviciabilidad limitado. Asimismo, la resistencia a compresión

de las probetas (187.49 kg/cm<sup>2</sup> en promedio) resultó menor al  $f'_c$  de diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup> exigido por la NTP 339.034, mientras que los espesores medidos (18.64 cm promedio frente a 20 cm proyectado) fueron inferiores a lo establecido. Estos hallazgos confirman que el pavimento presenta deficiencias tanto estructurales como funcionales, por lo que la hipótesis general se acepta.

### **5.3.2 Contrastación de la hipótesis específica 1**

**El Índice de Condición del Pavimento (PCI) en el tramo evaluado de la calle Jr. Túpac Amaru se encuentra en la categoría de condición “regular” o inferior, de acuerdo con la norma ASTM D6433-03.**

El PCI calculado para las unidades de muestra U9, U10, U11 y U12 arrojó valores de 53, 56, 54 y 58 respectivamente, con un promedio de 55. Estos resultados ubican al tramo dentro de la categoría “Regular” según ASTM D6433-03, confirmando la hipótesis planteada.

### **5.3.3 Contrastación de la hipótesis específica 2**

**La resistencia actual del concreto del pavimento rígido, determinada con probetas conforme a la norma NTP 339.034, es menor al valor de diseño requerido para garantizar su adecuado desempeño estructural.**

Las pruebas de compresión en los cinco testigos extraídos registraron un promedio de 187,49 kg/cm<sup>2</sup>, con valores entre 133,67 y 205,77 kg/cm<sup>2</sup>. Ninguna muestra alcanzó el valor de referencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> exigido por la NTP 339.034, y un 60 % de las probetas estuvo incluso por debajo de 200 kg/cm<sup>2</sup>. Esto demuestra que la resistencia

estructural es insuficiente para garantizar el desempeño esperado del pavimento.

#### **5.3.4 Contrastación de la hipótesis específica 3**

**Las acciones de mantenimiento y rehabilitación necesarias para el tramo en estudio son de carácter correctivo y no solo preventivo, debido al deterioro estructural y funcional identificado en la evaluación.**

El PCI clasificado como “Regular”, los valores de resistencia inferiores a lo exigido y el espesor por debajo del proyectado demuestran que el pavimento presenta deterioros significativos que comprometen su capacidad funcional y estructural. En este contexto, las acciones preventivas resultarían insuficientes, siendo indispensable aplicar medidas correctivas como bacheo estructural, rehabilitación de losas y sellado de juntas. Por ello, la hipótesis específica 4 queda confirmada.

## **CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 Conclusiones**

#### **6.1.1 Conclusión general**

El pavimento rígido del Jr. Túpac Amaru presenta un estado estructural y funcional deficiente, evidenciado por un PCI “Regular”, una resistencia media de 187.49 kg/cm<sup>2</sup> —inferior a los 210 kg/cm<sup>2</sup> exigidos por la NTP 339.034— y un espesor de losa promedio de 18.64 cm, por debajo del proyectado de 20 cm. Este conjunto de resultados se alinea con estudios especializados realizados en la región, como los de Bernuy (2022), Tello (2021) y Roncal (2023), quienes reportan comportamientos similares en pavimentos urbanos sujetos a condiciones de mantenimiento limitado. En consecuencia, la vía evaluada requiere intervenciones correctivas inmediatas para preservar su funcionalidad y evitar un deterioro acelerado que incremente los costos de rehabilitación futura.

#### **6.1.2 Conclusiones específicas**

- El PCI obtenido en las unidades de muestra (53–58, promedio 55) clasifica el tramo como “Regular”, lo que indica una disminución en la calidad del servicio ofrecido por el pavimento. Este resultado es coherente con los valores reportados por Bernuy (2022) en Shupluy (PCI 54) y Tello (2021) en Celendín (PCI 56), quienes atribuyeron estas condiciones al desgaste acumulado y a la falta de conservación preventiva. En contraste, Cruz y Vaca (2021) reportaron un PCI “Malo” en Guzmango, evidenciando un deterioro más avanzado. La comparación confirma que el estado funcional del pavimento en Namora se encuentra dentro del rango de afectación típico de la región,

aunque aún presenta un margen para acciones correctivas antes de que la condición empeore.

- La resistencia a compresión del concreto ( $187.49 \text{ kg/cm}^2$ ) se encuentra por debajo del valor de diseño establecido por la NTP 339.034, lo que demuestra una deficiencia estructural significativa. Este comportamiento concuerda con los hallazgos de Mamani Quispe (2021), Roncal Aguilar (2023) y Regalado Carrión (2023), quienes también evidenciaron valores inferiores al diseño en pavimentos urbanos, relacionándolos con insuficiencias en el proceso de mezcla, curado y control de calidad durante la construcción. La coincidencia entre estos estudios y la presente investigación reafirma que la baja resistencia constituye un factor determinante en la aparición de deterioros superficiales y en la reducción del desempeño estructural del pavimento.
- Los espesores medidos (17.40 a 20.80 cm, promedio 18.64 cm) revelan que el pavimento no cumple con los 20 cm proyectados, lo cual compromete su capacidad estructural y su vida útil. Esta situación se refleja también en investigaciones como las de Roncal Aguilar (2023) y Regalado (2023), quienes encontraron inconsistencias en el espesor real de losas en múltiples vías urbanas, atribuyéndolas a variaciones en la obra y a la falta de supervisión adecuada. La similitud de resultados sugiere que la insuficiencia en el espesor es una problemática recurrente que afecta la durabilidad de los pavimentos rígidos en la región Cajamarca.

- El tamaño máximo de agregado encontrado se mantuvo dentro del rango normativo permitido, coincidiendo con los resultados de Mamani Quispe (2021) y Regalado Carrión (2023). Este cumplimiento sugiere que la granulometría no constituye un factor relevante en el deterioro observado. Sin embargo, estos autores señalan que, aunque los agregados sean adecuados, la calidad final del pavimento depende principalmente del control en la mezcla, colocación y curado del concreto, aspectos que explicarían el bajo  $f'_c$  y la aparición temprana de deterioros en el tramo evaluado.
- La combinación de un PCI “Regular”, una resistencia inferior al diseño y espesores insuficientes confirma la necesidad de aplicar mantenimiento correctivo en el tramo evaluado. Esta recomendación se fundamenta en lo establecido por el MTC (2014; 2021), que indica que pavimentos con este nivel de deterioro requieren intervenciones como bacheo estructural, rehabilitación de losas y sellado de juntas. Asimismo, autores como Shahin (2005) y Huang (2004) enfatizan que la falta de mantenimiento temprano acelera la degradación del pavimento y eleva los costos de rehabilitación futura. Por lo tanto, implementar acciones correctivas de forma inmediata resulta esencial para preservar la funcionalidad de la vía y evitar un deterioro mayor.

## 6.2 Recomendaciones

- Mantenimiento correctivo inmediato: Implementar medidas de bacheo estructural en las áreas más deterioradas y reemplazar las losas que presentan fallas severas, a fin de evitar que el pavimento clasificado como “Regular” evolucione rápidamente a “Malo”.
- Reposición y sellado de juntas: Rehabilitar los sellos de juntas dañados para impedir la infiltración de agua hacia la base y subbase, ya que esta condición acelera el deterioro estructural del pavimento.
- Control de calidad en futuras obras: Fortalecer los procedimientos de control de calidad en las etapas de diseño y construcción, especialmente en lo referente a la resistencia del concreto ( $f'c \geq 210 \text{ kg/cm}^2$ ) y el espesor de losa (20 cm mínimo), dado que ambos parámetros fueron deficientes en el tramo estudiado.
- Plan de conservación preventiva: Una vez ejecutadas las medidas correctivas, establecer un plan de conservación preventiva con inspecciones periódicas bajo la metodología PCI, para mantener la funcionalidad de la vía y reducir costos futuros de rehabilitación.
- Gestión local de infraestructura vial: Las autoridades municipales de Namora deberían incorporar los resultados de esta investigación en su planificación vial, destinando recursos para intervenciones oportunas y priorizando la conservación de pavimentos rígidos en zonas urbanas.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ASTM. (2023). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*. ASTM International. Retrieved 24 de Mayo de 2025, from <https://www.astm.org/d6433-20.html>
- ASTM International. (2003). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys (ASTM D6433-03)*. Retrieved 24 de Mayo de 2025, from <https://www.astm.org/d6433-03.html>
- Bautista Pereda, A. (2018). *Diseño de pavimento rígido permeable para la evacuación de aguas pluviales según la norma ACI 522R-10*. Universidad de San Martín de Porre, Lima, Perú. Universidad de San Martín de Porre. Retrieved 24 de Mayo de 2025, from <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/4928>
- Bernuy Mendoza, Y. (2022). *Evaluación del pavimento rígido aplicando el método PCI en el sector vial urbano de la ciudad de Shupluy, Ancash - 2020*. Universidad San Pedro, Shupluy, Ancash. Retrieved 24 de Mayo de 2025, from <https://repositorio.usanpedro.edu.pe/items/9e8d4785-543f-4392-87d4-23c644b3aa5a>
- Celis Padilla, J., & Rodriguez La Torre, J. (2021). *Evaluación de Pavimento Rígido por Métodos no Destructivos, Chao - 2021*. Universidad César Vallejo, La Libertad, Perú. Repositorio de la Universidad César Vallejo. Retrieved 24 de Mayo de 2025, from <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/79124>
- Cruz Tafur, J., & Vaca Arce, J. (2021). *Evaluación del pavimento rígido y propuesta de intervención en el distrito de Guzmango, Contumazá, Cajamarca, 2021*. Universidad César Vallejo, Cajamarca. Contumazá: Repositorio de la Universidad César Vallejo. Retrieved 25 de Mayo de 2025, from <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/79097>
- Fan, Z., Chong, L., Chen, Y., Di Mascio, P., Chen, X., Zhue, G., & Loprencipe, G. (2020). *Conjunto de redes neuronales convolucionales profundas para la detección y medición automática de grietas en el pavimento*. Cornell University. Retrieved Mayo 24, 2025, from <https://arxiv.org/pdf/2002.03241>
- Gómez, L., & Ortega, J. (2020). *Manual de conservación vial*. Editorial Técnica Andina. Retrieved 24 de Mayo de 2024, from <https://www.editorialtecnicaandina.com/manual-de-conservacion-vial>

- Haas, R. (1994). *Modern pavement management*. Krieger Publishing Company. Retrieved 24 de Mayo de 2025.
- Huang, Y. (2004). *Pavement Analysis and Design* (Vol. 2nd ed.). Pearson Prentice Hall. Retrieved 24 de Mayo de 2025.
- Instituto Nacional de Calidad – INACAL. (2017). *Evaluación funcional del pavimento utilizando el índice de condición PCI*. Retrieved 24 de Mayo de 2025, from <https://www.inacal.gob.pe/norma/ntp-339034-evaluacion-funcional-del-pavimento-utilizando-el-indice-de-condicion-pci>
- Majidifard, H., Adu-Gyamfi, Y., & Buttlar, W. (2020). *Enfoque de aprendizaje automático profundo para desarrollar un nuevo índice de condición del pavimento asfáltico*. Columbia, EE.UU. Retrieved Junio 24, 2025, from <https://arxiv.org/pdf/2004.13314>
- Mamani Quispe, J. (2021). *Diseño y evaluación de pavimento rígido con incorporación de fibra de vidrio en el Jr. Andres Razuri – Puno 2021*. Universidad César Vallejo, Puno, Perú. Repositorio de la Universidad César Vallejo. Retrieved 24 de Mayo de 2025, from <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/74195>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú - MTC. (2021). *Guía de diseño de pavimentos para carreteras*. Retrieved 24 de Mayo de 2025, from <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/2848389-guia-de-diseno-de-pavimentos-para-carreteras>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú MTC. (2014). *Manual de Carreteras: Suelos geología, geotecnia y pavimentos*. Perú. Retrieved 24 de Mayo de 2025, from [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/mtc%20normas/arch\\_pdf/man\\_7%20sggp-2014.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/mtc%20normas/arch_pdf/man_7%20sggp-2014.pdf)
- Naddaf-Sh, S., Naddaf-Sh, M.-M., Kashani, A., & Zargarzadeh, H. (2020). *Un enfoque de aprendizaje profundo eficiente y escalable para la detección de daños en las carreteras*. Texas, USA: Cornell University. Retrieved Mayo 24, 2025, from <https://arxiv.org/pdf/2011.09577>
- Pérez, R., & Salinas, D. (2018). *Diseño y análisis de pavimentos*. Universidad Nacional de Ingeniería. Repositorio Universidad Nacional de Ingeniería. Retrieved 2 de Mayo de 2025, from <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/19200>

- Pradena Miquel, M. (2006). Análisis de Regularidad Superficial en Caminos Pavimentados. *Revista de la Construcción*, 5(2), 16-22. Retrieved 24 de Mayo de 2025, from <https://www.redalyc.org/pdf/1276/127619380002.pdf>
- Rahman, M., Uddin, M., & Gassman, S. (2024). *Modelos de evaluación del desempeño del pavimento para Carolina del Sur*. USA: Cornell University. Retrieved Mayo 24, 2025, from <https://arxiv.org/pdf/2402.01132>
- Regalado Carrión, F. (2023). *Evaluación del estado actual del pavimento rígido mediante el método PCI en la calle Zarumilla de la ciudad de Jaén- Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca. Retrieved 24 de Mayo de 2025, from <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6269>
- Rodriguez, H., & Mejía, C. (2019). *Infraestructura vial: diseño y mantenimiento*. Ediciones UNI. Retrieved 24 de Mayo de 2025, from <https://www.escuelaing.edu.co/editorial/catalogo/libro-infraestructura-vial-diseno-y-mantenimiento/>
- Roncal Aguilar, J. (2023). *Evaluación estructural del pavimento rígido para mejorar la serviciabilidad vial aplicando métodos no destructivos, Jr. Alfonso Ugarte entre la Av. Independencia y el Jr. Argentina, Cajamarca 2023*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Retrieved 24 de Mayo de 2025, from <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/38244>
- Shahin, M. (2005). *Pavement management for airports, roads, and parking lots* (Vol. 2nd ed.). Springer.
- Tello Rodriguez, N. (2021). *Evaluación del estado de conservación del pavimento rígido de las calles del sector sur de la provincia de Celendín utilizando el método de índice de conservación del pavimento PCI*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Celendín: Repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. Retrieved 24 de Mayo de 2025, from <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4511>
- Villanueva, M., Torres, E., & Lujan, P. (2020). *Principios del diseño de pavimentos*. Fondo Editorial PUCP. Retrieved Mayo 24, 2025, from <https://fondoeditorial.pucp.edu.pe/producto/principios-del-diseno-de-pavimentos>
- Zhou, F., & Scullion, T. (2014). Fatigue cracking performance prediction of concrete pavement based on field data. *Journal of Transportation Engineering*, 3(140). [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000621](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000621)

## ANEXOS

**Figura 16** *Muestra M1- Probeta antes de ser sometida a ensayo de compresión simple*



*Nota:* Imagen tomada por el autor, representa a la probeta extraída del Jr. Tupac Amaru (muestra M1) antes de ser sometida a ensayo de compresión simple.

**Figura 17** *Muestra M1 después de ser sometida a ensayo de compresión simple*



*Nota:* Imagen tomada por el autor, representa a la probeta extraída del Jr. Tupac Amaru (muestra M1) después de ser sometida a ensayo de compresión simple.

**Figura 18** *Muestra M2 antes de ser sometida a ensayo de compresión simple*



*Nota:* Imagen tomada por el autor, representa a la probeta extraída del Jr. Tupac Amaru (muestra M2) antes de ser sometida a ensayo de compresión simple.

**Figura 19** *Muestra M2 después de ser sometida a ensayo de compresión simple*



*Nota:* Imagen tomada por el autor, representa a la probeta extraída del Jr. Tupac Amaru (muestra M2) después de ser sometida a ensayo de compresión simple.

**Figura 20** *Muestra M3 antes de ser sometida a ensayo de compresión simple*



*Nota:* Imagen tomada por el autor, representa a la probeta extraída del Jr. Tupac Amaru (muestra M3) antes de ser sometida a ensayo de compresión simple.

**Figura 21** *Muestra M3 después de ser sometida a ensayo de compresión simple*



*Nota:* Imagen tomada por el autor, representa a la probeta extraída del Jr. Tupac Amaru (muestra M3) después de ser sometida a ensayo de compresión simple.

**Figura 22** *Muestra M4 antes de ser sometida a ensayo de compresión simple*



*Nota:* Imagen tomada por el autor, representa a la probeta extraída del Jr. Tupac Amaru (muestra M4) antes de ser sometida a ensayo de compresión simple.

**Figura 23** *Muestra M4 después de ser sometida a ensayo de compresión simple*



*Nota:* Imagen tomada por el autor, representa a la probeta extraída del Jr. Tupac Amaru (muestra M4) después de ser sometida a ensayo de compresión simple.



**Figura 24** *Muestra M5 antes de ser sometida a ensayo de compresión simple*



*Nota:* Imagen tomada por el autor, representa a la probeta extraída del Jr. Tupac Amaru (muestra M5) antes de ser sometida a ensayo de compresión simple.

**Figura 25** *Muestra M5 después de ser sometida a ensayo de compresión simple*






*Nota:* Imagen tomada por el autor, representa a la probeta extraída del Jr. Tupac Amaru (muestra M5) después de ser sometida a ensayo de compresión simple.



**Tabla 13** *Procedimiento de preparación según muestra*

Calle	Muestra	Imagen	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Procedimiento de reparación
Jr. Túpac Amaru	M1		197.32	En la imagen se muestra una grieta de esquina de alta severidad, cuyo procedimiento de reparación consiste en remover al área dañada, acondicionando previamente la base y la subbase, para posteriormente reemplazarla por un concreto nuevo.
	M2		199.34	En la imagen se muestra una grieta de esquina de alta severidad, cuyo procedimiento de reparación consiste en remover al área dañada, acondicionando previamente la base y la subbase, para posteriormente reemplazarla por un concreto nuevo.

M3		133.67	En la imagen se muestra una grieta de esquina de severidad media, cuyo procedimiento de reparación consiste en remover al área dañada, acondicionando previamente la base y la subbase, para posteriormente reemplazarla por un concreto nuevo.
M4		201.35	En la imagen se muestra un descascaramiento de esquina de alta severidad, cuyo procedimiento de reparación consiste en remover al área dañada, acondicionando previamente la base y la subbase, para posteriormente reemplazarla por un concreto nuevo.
M5		205.77	En la imagen se muestra una grieta de esquina de severidad media, cuyo procedimiento de reparación consiste en remover al área dañada, acondicionando previamente la base y la subbase, para posteriormente reemplazarla por un concreto nuevo.

*Fuente:* Elaboración Propia

## PLANO DEL CENTRO URBANO DE NAMORA

