

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

**“APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA PCI Y EL  
USO DE LA VIGA BENKELMAN EN EL  
DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE UN  
PAVIMENTO FLEXIBLE UBICADO EN EL  
TRAMO 2 DE LA CARRETERA CANGALLO,  
AYACUCHO- 2024”**

Tesis para optar al título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autores:**

Jose Maria Macavilca Evaristo

Luis Fernando Perez Huacre

**Asesor:**

Mg. Ing. Jvan Jovanovic Aguirre

<https://orcid.org/0000-0003-1609-1704>

Lima - Perú

2024

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(A)	Neicer Campos Vasquez
	Nombre Y Apellidos

Jurado 2	Erick Humberto Rabanal Chavez
	Nombre Y Apellidos

Jurado 3	Jvan Jovanovic Aguirre
	Nombre Y Apellidos

## INFORME DE SIMILITUD

### APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA PCI Y EL USO DE LA VIGA BENKELMAN EN EL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE UBICADO EN EL TRAMO 2 DE LA CARRETERA CANGALLO, AYACUCHO- 2024

#### INFORME DE ORIGINALIDAD



#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.unsa.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>2</b>	<b>normas.imt.mx</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.upao.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Politécnica de Madrid</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>5</b>	<b>Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>kupdf.net</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.unjfsc.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

**TABLA DE CONTENIDO**

JURADO EVALUADOR .....	2
INFORME DE SIMILITUD .....	3
DEDICATORIA .....	4
AGRADECIMIENTO .....	5
TABLA DE CONTENIDO .....	6
ÍNDICE DE TABLAS .....	10
ÍNDICE DE FIGURAS .....	11
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	13
RESUMEN .....	14
ABSTRACT .....	15
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	16
1.1. Realidad problemática .....	16
A nivel Internacional .....	19
1.2. Antecedentes.....	21
A nivel Nacional.....	21
A nivel Local .....	23
Definiciones Conceptuales .....	24
Índice de condición de pavimentos (PCI).....	24
Grado de la condición del pavimento .....	24
Viga Benkelman .....	25

Bases Teóricas .....	26
Procedimiento de inspección por el método PCI.....	26
Fallas en pavimentos asfálticos .....	26
Procedimiento de medición .....	31
Determinación del PCI de la sección.....	31
Cálculo de deflexión.....	32
1.4. Formulación del problema.....	36
<b>1.4.1. Problema general</b> .....	36
<b>1.4.2. Problemas específicos</b> .....	36
1.5. Objetivos.....	36
Objetivo general .....	36
Objetivos específicos.....	36
1.6. Hipótesis .....	37
Hipótesis general .....	37
Hipótesis específicas.....	37
1.7. Justificación .....	37
Justificación teórica .....	37
Justificación práctica .....	37
Justificación metodológica .....	38
CAPITULO II. METODOLOGÍA .....	39
2.1. Tipo, enfoque y diseño de la investigación .....	39

2.1.1	Tipo de investigación según finalidad.....	39
2.1.2	Tipo de investigación según enfoque. ....	39
2.1.3	Tipo de investigación según diseño.....	39
2.2.	Población y muestra .....	39
2.2.1.	Población .....	39
2.2.2.	Muestra .....	40
2.3.	Técnicas e instrumentos para recolección de datos .....	42
2.3.1.	Técnicas de recolección de datos.....	42
2.3.2.	Instrumentos .....	42
2.4.	Procedimiento.....	46
2.1.1.	Procedimiento del objetivo 1 .....	46
2.1.2.	Procedimiento del objetivo 2.....	48
2.1.3.	Procedimiento del objetivo 3.....	50
2.5.	Análisis de Datos .....	50
2.6.	Aspectos éticos .....	50
CAPÍTULO III. RESULTADOS .....		51
3.1.	Evaluación del pavimento flexible con la viga Benkelman .....	51
3.2.	Evaluación del pavimento flexible con el método PCI .....	55
3.3.	Estrategias de mantenimiento en función de la condición del pavimento.....	62
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....		65
4.1.	Discusiones.....	65

Limitaciones .....	65
Interpretación comparativa .....	66
Implicancias .....	70
4.2. Conclusiones.....	71
4.3. Recomendaciones .....	73
REFERENCIAS .....	74
ANEXOS .....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Fallas en pavimentos asfálticos.....	26
Tabla 2 Condición del pavimento a partir de la deflexión y el radio de curvatura .....	35
Tabla 3 Matriz de operacionalización.....	38
Tabla 4 Condición de la carretera según deflexiones del ensayo de viga Benkelman .....	53
Tabla 5 Tramos de evaluación de la carretera en estudio .....	55
Tabla 6 Número de unidades de evaluación por tramo de carretera .....	56
Tabla 7 PCI por unidad de muestra .....	59
Tabla 8 Condición del pavimento según los métodos de evaluación aplicados .....	63
Tabla 9 Cuadro comparativo de hallazgos realizados .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Deterioro de pavimento flexible (Diario ABC, 2019) .....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2. Deterioro en calle Bagaceña en Costa Rica (Granados,2021) .....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3. Deterioro en carreteras de Ayacucho (Tacuri 2021) .....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 4. Índice de Condición de Pavimento (PCI) y escala de graduación. ....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 5. Esquema del equipo de medición Benkelman(MMP 4 07 021, 2017).....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 6. Factor de corrección por temperatura para pavimentos estabilizados. ....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 7. Factor de corrección por temperatura pavimentos con bases estabilizadas .....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 8. Correlación entre deflexiones, radio de curvatura y estado del pavimento (Lino, 2021). ....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 9: Ubicación de la zona de estudio. ....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 10: Punto inicial y final de la trayectoria Cangallo - Huancapi.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 11: Fallas geológicas y estructurales en la carretera Cangallo. ....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 12: Regla de Medición. ....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 13. Cinta Métrica. ....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 14. Cono de Seguridad vial. ....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 15. Yeso Martell.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 16. Formato de Registro de fallas PCI.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 17. Formato de Registro de fallas Viga Benkelman.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 18. Viga Benkelman y camión .....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 19. Ubicación de la Viga Benkelman en el camión .....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 20. Viga Benkelman y llanta del camión .....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 21. Aplicación del ensayo con la Viga Benkelman. ....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 22. Aplicación del ensayo con la Viga Benkelman. ....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 23. División de la vía en secciones. ....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 24. Medición del tramo a evaluar. ....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 25. Registro de daños en el tramo localizado.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 26. Ubicación del camión para el ensayo de viga Benkelman. ....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 27. Ubicación de la viga Benkelman durante el ensayo. ....</i>	<i>52</i>

<i>Figura 28. Distribución de resultados de deflexiones y radios de curvatura. ....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 29. Curva con cambio de sección en la carretera. ....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 30. Valor deducido para fallas tipo piel de cocodrilo.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 31. Grafica de valores deducidos corregidos. ....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 32. Condición del pavimento según método PCI. ....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 33. Distribución porcentual de la condición del pavimento en la carretera. ....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 34. Distribución porcentual de las fallas del pavimento en la carretera. ....</i>	<i>61</i>

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	<i>Ponderado del Área de muestra adicionales(PCI)</i> .....	31
Ecuación 2.	<i>Ponderado del Área de las unidades adicionales(PCI)</i> .....	32
Ecuación 3.	<i>Unidad de Muestra(PCI)</i> .....	32
Ecuación 4.	<i>Calculo de deflexión.</i> .....	33
Ecuación 5.	<i>Corrección de Temperatura (V. Benkelman)</i> .....	34
Ecuación 6.	<i>Radio de Curvatura(V. Benkelman)</i> .....	35
Ecuación 7.	<i>Método de Evaluación del (PCI)</i> .....	56

## RESUMEN

El presente estudio tuvo por objetivo aplicar la metodología PCI y el uso de la Viga Benkelman en el desempeño estructural de un pavimento flexible. Bajo este esquema, la investigación utilizó una metodología aplicada, no experimental, de enfoque cuantitativo y de corte transversal, teniendo de muestra 23.550 km en el tramo 2 de la carretera Cagallo – Huancapi.

Para el desarrollo se realizaron distintas visitas a la zona de estudio, donde se aplicó primeramente la evaluación por el método PCI, dividiendo la carretera en cuatro tramos distintos en función del ancho de la sección de pavimento. Posteriormente, para los ensayos con la viga Benkelman, los puntos de análisis se colocaron cada 400 metros. De esta manera, se recogieron datos de 58 secciones de pavimento y 60 medidas de deflexiones. Los resultados obtenidos demostraron que la carretera presenta en promedio una condición buena en la estructura de pavimento y una subrasante en mal estado según el análisis de las deflexiones, y una condición superficial muy buena según el método PCI. Se encontró que los resultados de ambos métodos convergen, por lo que resultan fiables e incluso complementarios entre ellos.

Finalmente, se propuso como estrategia de mantenimiento la aplicación de un sello tipo slurry seal, dado que las fallas detectadas son de carácter superficial.

**Palabras claves:** PCI, Viga Benkelman, Pavimento flexible, Mantenimiento, Rehabilitación.

## **NOTA**

El contenido de la investigación no se encuentra disponible en **acceso abierto** por determinación de los propios autores, en concordancia con en el Texto Integrado del Reglamento RENATI (artículo 12), la Directiva N° 004-2016-CONCYTEC-DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, así como la Ley N° 29733, Ley de Protección de Datos Personales.

## REFERENCIAS

- Álvarez, A. (25 de septiembre de 2018). *Cómo repercute el mal estado de las carreteras en el transporte de mercancías terrestres*. Recuperado el 03 de junio de 2022, de sertrans: <https://www.sertrans.es/trasporte-terrestre/como-repercute-el-mal-estado-de-las-carreteras-en-el-transporte-de-mercancias-terrestres/>
- Andrade, C., Machado, I., & Rufino, J. (2015). Metodología de análisis de la condición del pavimento a partir del cuenco de deflexión. *Revista Infraestructura Vial*, 17(29), 24-32. Recuperado el 03 de junio de 2022, de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/infraestructura/v17n29/2215-3705-infraestructura-17-29-00024.pdf>
- ASTM D 5340. (2004). *Índice de condición de pavimentos en Aeropuertos (PCI)*. Pensilvania: ASTM International.
- ASTM D 6433. (2003). *Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos*. Pensilvania: ASTM Internacional.
- Balarezo, J. (2017). *Evaluación estructural usando viga Benkelman aplicada a un pavimento*. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3135>.
- Banco Mundial. (20 de abril de 2020). *Desarrollo urbano*. Recuperado el 02 de junio de 2022, de Banco mundial: <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#1>
- Burga, M. (2019). *Evaluación de la superficie del pavimento flexible en la Av. Industrial aplicando el método del PCI e índice de rugosidad, Chimbote - Áncash 2019. Tesis (Ingeniero Civil)*. Chimbote: Universidad César Vallejo. Recuperado el 01 de junio de 2022, de

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/45832/Burga\\_MM-E-SD.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/45832/Burga_MM-E-SD.pdf?sequence=5&isAllowed=y)

Carrasco, S. (2017). *Metodología de la investigación científica*. Lima: Editorial San Marcos.

Carrasco, S., & Vizhñay, C. (2019). *Evaluación estructural vial para Azogues mediante el análisis de deflexiones aplicando la viga Benkelman. Tesis (Ingeniero Civil)*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33520>.

Diario ABC. (23 de enero de 2019). España suspende en la conservación de las carreteras y estado del pavimento. *ABC*. Recuperado el 30 de junio de 2022, de [https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-espana-suspende-conservacion-carreteras-y-estado-pavimento-201901230217\\_noticia.html](https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-espana-suspende-conservacion-carreteras-y-estado-pavimento-201901230217_noticia.html)

Díaz, D. (2021). *Evaluación del estado superficial y capacidad estructural de pavimentos flexibles mediante el índice de condición del pavimento y deflectometría en calles y avenidas del cercado del distrito de Pimentel 2020*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/3787>.

Fernández, M. (2020). *Determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera Cajamarca-Celendín-Balsas, tramo Chaquilpampa-Santa Rosa de Chaquil, mediante el análisis deflectométrico*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3733>.

Garza, J. (10 de agosto de 2020). *Costa Rica es el país de Latinoamérica con la red vial pavimentada en peor estado*. Recuperado el 03 de junio de 2022, de La república:

<https://www.larepublica.net/noticia/costa-rica-es-el-pais-de-latinoamerica-con-la-red-vial-pavimentada-en-peor-estado>

González, H., Ruiz, P., & Guerrero, D. (2018). Propuesta de metodología para la evaluación de pavimentos mediante el índice de condición del pavimento (PCI). *Ciencia en su PC*, 1(4), 58-71. Recuperado el 01 de junio de 2022, de <https://www.redalyc.org/journal/1813/181358738015/html/>

Granados, G. (10 de agosto de 2021). Rompen calles heredianas y las dejan en mal estado. *Diario Extra*. Recuperado el 30 de junio de 2022, de <https://www.diarioextra.com/Noticia/detalle/456969/rompen-calles-heredianas-y-las-dejan-en-mal-estado>

Hernández, O. (19 de marzo de 2019). *CCL: El 80% de las carreteras del Perú está en mal estado*. Recuperado el 02 de junio de 2022, de Logística 360: <https://www.logistica360.pe/ccl-el-80-de-las-carreteras-del-peru-esta-en-mal-estado/#:~:text=%E2%80%9CLas%20lluvias%20y%20el%20stress,de%20larga%20duraci%C3%B3n%E2%80%9D%2C%20agreg%C3%B3>.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.

Horak, E. (2008). Benchmarking the structural condition of flexible pavements with deflection bowl parameters. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 2-9. <http://www.scielo.org.za/pdf/jsaice/v50n2/01.pdf>.

Lino, K. (2021). *Comportamiento estructural del pavimento flexible mediante método no destructivo del km 62+000 al km 63+000 de la carretera Federico Basadre, Ucayali 2021. Tesis (Ingeniero Civil)*. Lima: Universidad César Vallejo. Recuperado el 01 de junio de 2022

- López, G., Pérez, A., Garnica, P., & Garduño, F. (2018). *Evaluación estructural de pavimentos con métodos no destructivos*. México: Instituto Mexicano de Transporte. Recuperado el 03 de junio de 2022, de <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=461&IdBoletin=172>
- MMP 4 07 021. (2017). *Determinación de las deflexiones con equipo de medición estática*. México: Instituto Mexicano de Transporte.
- Palomino, J., Peña, J., Zeballos, G., & Orizano, L. (2015). *Metodología de la investigación. Guía para la elaborar un proyecto en salud y educación*. Lima- Perú: San Marcos.
- Rios, E. (2017). *Evaluación de fallas estructurales del pavimento flexible por métodos no destructivos en la carretera Puno - Ilave, Región Puno. Tesis (Ingeniero civil)*. [Tesis de pregrado, Universidad Alas Peruanas]. <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/2525?show=full>.
- Rivas, E. (2018). *Análisis estructural del pavimento flexible de la calle El Paisaje entre by pass y calle Víctor Vélez del cantón Portoviejo. Tesis (Ingeniero Civil)*. Manabí: Universidad estatal del sur de Manabí. Recuperado el 01 de junio de 2022, de <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1397/1/UNESUM-ECUADOR-ING.CIVIL-2018-43.pdf>
- Sánchez, G. (28 de marzo de 2019). *Método de evaluación de Pavimentos "PCI"*. Recuperado el 03 de junio de 2022, de Academia: [https://www.academia.edu/31818229/M%C3%A9todo\\_de\\_Evaluaci%C3%B3n\\_de\\_Pavimentos\\_PCI\\_Pavement\\_Condition\\_Index\\_Pavimentos\\_Flexibles](https://www.academia.edu/31818229/M%C3%A9todo_de_Evaluaci%C3%B3n_de_Pavimentos_PCI_Pavement_Condition_Index_Pavimentos_Flexibles)
- Tacuri, F. (15 de marzo de 2022). *Vías en mal estado afectan al turismo en Ayacucho. Jornada*. Recuperado el 30 de junio de 2022, de

Aplicación de la metodología Pci y el uso de la viga Benkelman en el desempeño estructural de un pavimento flexible ubicado en el tramo 2 de la carretera cangallo, Ayacucho - 2024

<https://www.jornada.com.pe/turismo/item/7244-vias-en-mal-estado-afectan-al-turismo-en-ayacucho>

Vaca, M. (31 de octubre de 2020). *Crecimiento poblacional: los grandes retos de las ciudades*. Recuperado el 02 de junio de 2022, de CEPEI: <https://cepei.org/documents/crecimiento-poblacional-los-grandes-retos-de-las-ciudades/>