

Evaluación de un pavimento flexible aplicando el método pavement condition index - PCI

Assessment of a flexible pavement applying the pavement condition index - PCI method

Lucy Cassandra Torres-Torres¹ ; Sócrates Pedro Muñoz-Pérez²

¹Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, ttorreslucy@crece.uss.edu.pe

²Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú, mperezsp@ucvvirtual.pe

Autor de correspondencia: Sócrates Pedro Muñoz-Pérez: mperezsp@ucvvirtual.edu.pe

Fecha de recepción: 6 marzo 2022 Fecha de Aceptación: 30 julio de 2022

Resumen– Toda calzada pavimentada permite la accesibilidad e interconexión entre zonas rurales y urbanas, contribuyendo además con la disminución de la indigencia y el desarrollo socioeconómico de las diferentes ciudades del Perú y del mundo. La presente investigación tuvo como objetivo aplicar el método Pavement Condition Index (PCI) para determinar la condición técnica superficial de un pavimento flexible. El área de estudio fue la av. Chiclayo, conformada por 3 vías, siendo de interés las dos laterales, pavimentadas con material asfáltico. Se inventariaron 343 fallas a lo largo de los 6.30 km de la calzada con dirección Este a Oeste (av. Agricultura - Panamericana Norte), mientras que para la otra calzada en dirección Oeste a Este (Panamericana Norte - av. Agricultura), se evaluaron 324 unidades de muestreo, presentándose en mayor cantidad las fallas de “desprendimiento de agregados (falla superficial)” y la de “ahuellamiento (falla estructural)”. Respecto a la condición de servicio, el pavimento en la dirección Este a Oeste presentó un PCI de 38, lo que lo calificó en una condición de servicio “malo”, similar a la calzada de sentido contrario para la que se obtuvo un PCI de 23; es decir, presentó una condición de servicio “muy malo”. Finalmente se efectuó el ensayo de “Extracción de asfalto”, normado en la ASTM D 2172, con la cual se buscó conocer la cantidad de bitumen presente en la superficie de rodadura, que de acuerdo con los resultados obtenidos presenta un desgaste, lo que estaría incidiendo en la generación y propagación de fallas.

Palabras clave– Índice de condición del pavimento, condición de servicio, severidad, fallas, mantenimiento.

Abstract– Every paved road allows accessibility and interconnection between rural and urban areas, also contributing to the reduction of poverty and the socioeconomic development of the different cities of Peru and the world. The present research aimed to apply the Pavement Condition Index (PCI) method to determine the surface technical condition of a flexible pavement. The study area was av. Chiclayo, made up of 3 lanes, the two lateral ones being of interest, paved with asphalt material. 343 faults were inventoried along the 6.30 km of the road with an east-west direction (Av. Agricultura - Panamericana Norte), while for the other road in a west-east direction (Panamericana Norte - Av. Agricultura), they were evaluated 324 sampling units, with the “aggregate detachment (surface failure)” and “rutting (structural failure)” faults occurring in a greater number. Regarding the service condition, the pavement in the east-west direction presented a PCI of 38, which qualified it in a “bad” service condition, similar to the road in the opposite direction for which a PCI of 23, that is, it presented a “very bad” service condition. Finally, the “Extraction of Asphalt” test was carried out, regulated in ASTM D 2172, with which it was sought to know the amount of bitumen present on the rolling surface, which, according to the results obtained,

Citar este artículo como: L. Torres-Torres y S. Muñoz-Pérez, “Evaluación de un pavimento flexible aplicando el método Pavement Condition Index - PCI”, ITECKNE, 20, (1), 2023, pp. 45 - 57 DOI: <https://doi.org/10.15332/iteckne.v20i1.2919>

shows wear, which it would be influencing the generation and propagation of faults.

Keywords– Pavement Condition Index, service condition, severity, failures, maintenance.

1. INTRODUCCIÓN

La av. Chiclayo, uno de los principales intercambios viales de la región Lambayeque, conecta a sus 3 provincias, como son Ferreñafe, Chiclayo y Lambayeque; por lo que la pavimentación de esta vía en el 2012 significó un gran aporte para el crecimiento económico y desarrollo social de la región; así se comparte lo descrito por Sabaruddin y Deni [1], quienes refieren que la existencia de una vía contribuye al crecimiento económico del comercio, la pesca, la agricultura y otros sectores de la sociedad.

La presente investigación estuvo relacionada con la determinación de la condición del pavimento flexible de la av. Chiclayo, a partir de la identificación de las fallas superficiales y estructurales, donde con el pasar de los años se ha visto deteriorado por la falta de mantenimiento, por factores no considerados como parte de su diseño, por las excesivas combinaciones de carga del tráfico circulante, por condiciones climáticas, entre otros; de ahí el interés de cada cierto tiempo evaluar su condición de servicio, con el fin de proponer medidas de rehabilitación para su mantenimiento [2, 3].

En ese contexto, el método empleado para dicha evaluación fue el Pavement Condition Index (PCI), normado por la American Society for Testing and Materials (ASTM D6433), el cual proporciona una indicación de la condición actual del pavimento, y toma la forma de una calificación numérica, siendo 0 la más deficiente y 100 la mejor [4]. Asimismo, el PCI respecto a otros métodos de evaluación es mucho más práctico, toda vez que es una metodología subjetiva que se basó en la inspección y observación, en la que se hizo una evaluación sistemática de las condiciones de la calzada al inspeccionar la vía y se ingresaron las observaciones en una base de datos para una evaluación adicional [5].

Con el formato de evaluación del método PCI se realizó una valoración de las fallas superficiales y estructurales; en esa línea, Sotil [6], respecto a las fallas estructurales, indica que estas deficiencias implican un desgaste del conjunto estructural de la vía que al ser sometido a cargas de tráfico vehicular sufren agrietamientos relacionados con la alteración por tensión de cada capa. Asimismo, respecto a las fallas superficiales [6] indica que este tipo de fallas se producen cuando la estructura no brinda un tránsito adecuado, donde las unidades vehiculares no transitan cómodamente. Vale indicar que la característica principal de la aparición y propagación de patologías en los pavimentos es la falta de control que debe realizarse a nivel de diseño, construcción y mantenimiento [7].

Entre las causas que han generado las fallas en el pavimento flexible de la av. Chiclayo se podría mencionar la

no consideración del tráfico circulante con sus respectivas cargas de diseño, deficiente estudio de mecánica de suelos, espesores mínimos del pavimento, crecimiento del parque automotor, condiciones ambientales desfavorables como el fenómeno de el Niño - Niña, entre otros; por lo que ante ello fue imprescindible realizar la evaluación, teniendo en cuenta además que son el medio por el cual se transportan las personas para ir de un lugar a otro en la ciudad de Chiclayo y así mantener comunicados a las 3 provincias de la región Lambayeque [8]. Así se comparte lo referido por Setyawan et al. [9] y Oblitas et al. [10] quienes indican que numerosos factores causan daños a las vías, por lo que la vida restante de la estructura existente y el mantenimiento de la carretera a largo plazo son impredecibles.

Autores como Nurjanah et al. [11] hacen referencia al método PCI, resaltando su eficiencia para la determinación de la condición de los pavimentos flexibles; así, por ejemplo, en su investigación aplicada a dos carreteras en Kendari - Indonesia evaluaron la vulnerabilidad del daño de las calzadas empleando el método PCI. En función a ello, la puntuación PCI obtenida como indicador de daño mostró condiciones moderadas con un PCI = 53 y área de daño superficial = 34.42%, por lo que como medidas de mejora según el Standard Bina Marga recomendaron parchear y agregar capas de nuevo pavimento.

Por su parte, Dávila et al. [12] en función a la evaluación superficial efectuada en el 2017 mediante el método PCI a la vía canal de la av. Chiclayo, determinaron que el 83% se encontraba en mal estado, proponiendo como medida de mejora su rehabilitación, la cual debería consistir en mejoras estructurales, con base en una serie de acciones correctivas.

En la ciudad de Chiclayo, en temporadas como de el Niño donde se presentan fuertes precipitaciones, la av. Chiclayo se ve afectada por los aniegos; al respecto, Elshaer et al. [13] dan a conocer que la evaluación del desempeño estructural de los pavimentos inundados es crucial para reducir el daño inducido después de las inundaciones. Así, el objetivo de su estudio fue presentar un enfoque simplificado para investigar el impacto de diferentes niveles de agua subterránea en el rendimiento de las estructuras de la calzada. Sus resultados mostraron que la capacidad estructural del pavimento disminuye significativamente cuando las capas base y subrasante están completamente saturadas, y que el pavimento comienza a recuperarse una vez que el nivel del agua de la superficie cae por debajo de la capa base.

En los últimos 30 años la ciudad de Chiclayo ha evolucionado ocho veces, sin embargo, las vías a cargo de las entidades estatales no han estado a la altura de la demanda [14]. Al respecto, la av. Chiclayo conocida como la "Interconexión Vial Chiclayo – Lambayeque – Ferreñafe", es una de las principales avenidas de la región Lambayeque, con una longitud de 6.30 km aproximadamente, conformada por 3 vías, cada una de 2 carriles, donde el pavimento de la vía central es de concreto y sus dos vías laterales son de pavimento flexible. Su construcción se dio a inicios del 2010

y fue terminada parcialmente 2 años después; sin embargo, a los pocos meses de puesta en servicio empezó a presentar fallas que eran de fácil reconocimiento visual, tanto en la vía central construida de pavimento rígido, como en las vías laterales de pavimento flexible.

En esa línea, la investigación tuvo como objetivo determinar la condición del pavimento flexible de la av. Chiclayo a partir de la metodología PCI, buscando así una alternativa de solución a una problemática que inició poco tiempo después que la obra de pavimentación de la avenida fue entregada en el 2012; han pasado 3 gobiernos municipales y poco o nada han hecho para mejorar esta principal avenida de la ciudad. Cabe mencionar que con una vía en buenas condiciones se reducirían los tiempos de viajes, se evitarían más accidentes, se mejoraría la calidad de vida de las personas a partir de ofrecer más comodidad y seguridad a conductores y peatones [15].

2. METODOLOGÍA

La muestra de estudio estuvo conformada por 180 unidades de muestreo, distribuidas en 90 unidades para la calzada de la margen derecha, y en otras 90 para la calzada de la margen izquierda, toda vez que se trató de una vía con 3 carriles, 2 pavimentados con asfalto y 1 con concreto (Fig. 1); en esa línea, en el punto 3.1 se describe con mayor detalle respecto a la determinación de la población y muestra de las unidades de muestreo.

La investigación fue de tipo cuantitativa - explicativa, cuyo diseño fue experimental - transversal, en el que las técnicas de recopilación de información fueron la observación, el análisis documental y el procesamiento de datos. Para un mejor tratamiento de la información el estudio se dividió en 5 etapas, que fueron:

- Inventariar las fallas estructurales y superficiales de las dos vías laterales de la av. Chiclayo, a través de inspecciones visuales en campo, bajo los lineamientos de la normativa ASTM D6433 [15].
- Determinar el grado de severidad de las fallas estructurales y superficiales del pavimento flexible de la av.

Chiclayo, los cuales fueron desde un nivel bajo hasta un nivel alto.

- Determinar la condición de servicio del pavimento flexible de la av. Chiclayo, a partir del índice PCI [4], con lo cual se determinó que hubo algunas muestras que presentaron una condición de "Excelente", así como otras que presentaron una condición de "Fallado".
- Proponer alternativas de rehabilitación para el mantenimiento del pavimento flexible de la av. Chiclayo, en función del nivel de severidad y condición de servicio evaluados. Dichas actividades de mantenimiento sugeridas fueron desde bacheos superficiales hasta la aplicación de una nueva carpeta asfáltica.
- Determinar la cantidad de material bituminoso presente en la superficie de rodadura del pavimento flexible de la av. Chiclayo mediante el ensayo ASTM D 2172 "Extracción de Asfalto" [16], con lo cual se corroboró el desgaste actual del pavimento, al haber obtenido para las 4 muestras ensayadas en laboratorio, porcentajes de contenido de asfalto por debajo del 5.6% y 5.8% que son los valores recomendados.

3. RESULTADOS

3.1 Determinación de la población y muestra de las unidades de muestreo

a. Población

La población estuvo conformada por la av. Chiclayo, la cual tiene 2 vías laterales de pavimento flexible, cada una de estas de 7.00 m de ancho, iniciando en la intersección con la av. Agricultura (distrito de José Leonardo Ortiz) y que después de recorrer una longitud de 6300.00 m (6.30 km) termina en la intersección con la Panamericana Norte que va para Lambayeque. Sumando ambos recorridos laterales pavimentados con asfalto hacen un total de 12.60 km, vale indicar que el pavimento del carril central es de concreto (pavimento rígido), tal como se observa en la Fig. 1.

Fig. 1 ANCHO DE CALZADAS PAVIMENTADAS CON ASFALTO DE LA AV. CHICLAYO



Fuente; Los autores.

TABLA I.
LONGITUDES DE UNIDADES DE MUESTREO ASFÁLTICAS

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5.00 m	46.00 m
5.50 m	41.80 m
6.00 m	38.30 m
6.50 m	35.40 m
7.30 m (máximo)	31.50 m

Fuente: Manual PCI de Vásquez [4].

b. Número total de unidades de muestreo (N)

Para el presente estudio se consideró primero analizar las fallas de la calzada derecha (respecto a la Fig. 1), que inicia en la intersección con la av. Agricultura y culmina en la intersección con la Panamericana Norte (dirección Este a Oeste). Asimismo, se consideró analizar la vía cada 1.00 km, tal como lo realizado por [12] en la evaluación al pavimento rígido de la vía canal de la av. Chiclayo (calzada central de la Fig. 1)). Vale indicar que para la evaluación de la calzada de la margen izquierda se inició en el Km. 6+300.00, en sentido contrario a la evaluación de la calzada derecha, e igualmente cada 1.00 km.

TABLA II.
TRAMOS DE ANÁLISIS PARA LAS CALZADAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. CHICLAYO

Unidades de muestreo	Calzada derecha (av. Agricultura – Pana. Norte)	Calzada izquierda (Pana. Norte – av. Agricultura)
S-01 al S-15	Km. 0+000.00 – Km. 1+015.00	Km. 6+300.00 – Km. 5+285.00
S-16 al S-30	Km. 1+050.00 – Km. 2+065.00	Km. 5+250.00 – Km. 4+235.00
S-31 al S-45	Km. 2+100.00 – Km. 3+115.00	Km. 4+200.00 – Km. 3+185.00
S-45 al S-60	Km. 3+150.00 – Km. 4+165.00	Km. 3+150.00 – Km. 2+135.00
S-61 al S-75	Km. 4+200.00 – Km. 5+215.00	Km. 2+100.00 – Km. 1+085.00
S-76 al S-90	Km. 5+250.00 – Km. 6+265.00	Km. 1+050.00 – Km. 0+000.00

Fuente: Los autores.

Es así que en función a lo descrito y a los datos de la Tabla I se obtiene el número de unidades por evaluarse (N), según la ecuación (1):

$$N = \frac{L_{total}}{L_i} = \frac{1000.00m}{35.00m} = 28.57 \quad (1)$$

$$N = 29(\text{total de unidades de muestreo})$$

Donde, L_{total} es la longitud de análisis de cada tramo, es decir 1.00 km (1000.00 m) y L_i la longitud de cada unidad de muestreo.

Asimismo, Vásquez [4] refiere que el área de muestreo debe estar en el rango de $230.00 \text{ m}^2 \pm 93.00 \text{ m}^2$, es decir entre 323.00 m^2 y 137.00 m^2 , por lo que el área de 245.00 m^2 ($7.00 \text{ m} * 35.00 \text{ m}$) de cada unidad de muestreo considerada en la presente investigación se encuentra en dicho rango.

c. Unidades mínimas de muestreo para evaluación (n)

La cantidad mínima de unidades que van a examinarse se obtiene aplicando la fórmula dada en el Manual PCI [4], la cual proporciona un estimado del PCI ± 5 de la media verdadera con una fiabilidad del 95%, (2)

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\left(\left(\frac{e^2}{4}\right) * (N-1) + \sigma^2\right)} = \frac{29 * (10)^2}{\left(\left(\frac{(5)^2}{4}\right) * (29-1) + (10)^2\right)} = 10.5 \quad (2)$$

$$n = 11(\text{unidades mínimas a evaluarse por cada 1km})$$

Donde, n son las unidades mínimas a evaluarse por calzada cada 1.00 km (11), N el total de unidades en 1.00 km de vía (29), e el error aceptable (5%) y σ la desviación estándar PCI inicial (10).

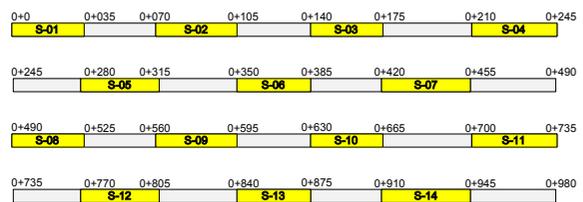
d. Selección de las unidades para evaluación (i)

Se recomienda que las unidades seleccionadas se ubiquen proporcionalmente distanciadas a lo largo de la vía, cuyo rango se calcula con (3):

$$i = \frac{N}{n} = \frac{\text{unidades de muestra disponibles en 1.00 km}}{\text{unidades mínimas a evaluarse}} = \frac{29}{11} = 2.64 \approx 2 \quad (3)$$

Por tanto, en función al rango de muestreo (i) obtenido, se calculó el PCI de 1 muestra cada 2 unidades de muestreo, así se tuvo que evaluar las unidades, S-01, S-03, S-05, S-07, etc., en ambas calzadas laterales de pavimento flexible.

Fig. 2 DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES DE MUESTREO EN EL PRIMER KM DE LA AV. CHICLAYO



Fuente: Los autores.

En suma, al ser 14 unidades de muestreo por kilómetro, a lo largo de los 6.30 km que tiene la av. Chiclayo, se obtuvo un total de 90 unidades de muestreo que se analizaron.

3.2 Inventariado de las fallas estructurales y superficiales de las dos vías laterales de la av. Chiclayo

Esta etapa de la investigación se realizó en campo a partir de la aplicación de fichas PCI como las establecidas por Vásquez [4], en las cuales se registraron el tipo de falla, su severidad y sus cantidades parciales en función a sus unidades de medida. Los cálculos de densidades, valores deducidos y valores del PCI, se calcularon en gabinete.

3.3 Aplicación de la metodología PCI en 02 muestras representativas de la av. Chiclayo

A continuación, en la Fig. 5 se presenta la hoja de evaluación de la muestra N° 40 de la calzada que va de Este a Oeste (av. Agricultura - Panamericana Norte), la misma que se eligió por tener la mayor cantidad de fallas estructurales y superficiales, por tener un PCI y CONDICIÓN representativo de toda la calzada (Malo), así como por estar ubicada en una zona estratégica, en este caso, cerca de la parte central de la vía (km. 2+730.00 – km. 2+765.00).

De manera similar y complementaria, en la Fig. 4 se presenta la hoja de evaluación de la muestra N° 28 de la calzada que va de Oeste a Este (Panamericana Norte - av. Agricultura), la misma que se eligió por tener la mayor cantidad de fallas estructurales y superficiales, por tener un PCI y CONDICIÓN representativo de toda la calzada (Muy malo), así como por estar ubicada en una zona estratégica, en este caso, cerca de la parte central de la vía (km. 4+410.00 – km. 4+375.00).

3.4 Severidad de las fallas estructurales y superficiales del pavimento de la av. Chiclayo

En la Tabla III y en la Fig. 5 se presentan a modo de resumen los resultados del análisis de los 6.30 km de la av. Chiclayo en la dirección Este a Oeste, de los cuales se infiere que las fallas más frecuentes en esta calzada son el “desprendimiento de agregados”, los “ahuellamientos”, los “Abultamientos y hundimientos”, con 89; 88 y 53 fallas, respectivamente, con diferentes niveles de severidad, desde bajos a altos. En el caso de los “desprendimientos” y “ahuellamientos”, estos se presentan prácticamente en todas las unidades de muestreo de la calzada, que en promedio son 90. Asimismo, en función a la Tabla III y la Fig. 5 se infiere que más son las fallas estructurales que las superficiales, teniéndose 190 versus 153, respectivamente. El tramo comprendido entre el km. 2+100.00 – 3+115.00 es el que más fallas presenta, con un total de 66. Asimismo, indicar que en toda la calzada que va de Este a Oeste las patologías que se identificaron en menor proporción fueron las “Exudaciones”, “Grietas de borde” y los “Desplazamientos”.

Fig. 3. HOJA DE EVALUACIÓN DE LA UNIDAD DE MUESTREO N° 40 UBICADA EN EL KM. 2+730.00 - 2+765.00 DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. CHICLAYO EN LA DIRECCIÓN ESTE A OESTE (AV. AGRICULTURA - PANAMERICANA NORTE)

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN		"Evaluación del pavimento flexible aplicando el método Pavement Condition Index (PCI) en la Av. Chiclayo, región Lambayeque".	
Unidad de muestreo	: S-40		
Tramo de análisis (km)	: Km. 2 + 730.00 - Km. 2 + 765.00		
Longitud de análisis (m)	: 35.00 m		
Ancho de análisis (m)	: 7,00 m		
Área de muestreo (m ²)	: 245.00 m ²		

N°	Tipos de fallas	Unidad
01	Piel de cocodrilo (falla estructural)	m ²
02	Exudación (falla superficial)	m ²
03	Arietamiento en bloque (falla estructural)	m ²
04	Abultamientos y hundimientos (falla estructural)	m
05	Corrugaciones (falla estructural)	m ²
06	Depresiones (falla estructural)	m ²
07	Grietas de borde (falla superficial)	m
08	Grietas de reflexión de junta (falla superficial)	m
09	Desnivel carri - bamba (falla superficial)	m
10	Grietas longitudinales y transversales (falla estructural)	m
11	Parqueo (falla superficial)	m ²
12	Desprendimiento de agregados (falla superficial)	m ²
13	Baches (falla estructural)	und
14	Ahuellamiento (falla estructural)	m ²
15	Desplazamiento (falla estructural)	m ²
16	Grieta parabólica (falla superficial)	m ²
17	Hinchamiento (falla estructural)	m ²
18	Pulimiento de agregados (falla superficial)	m ²
19	Cruce de vía ferroviaria (falla superficial)	m ²

Esquema	

Clasificación (PCI)	
85 - 100	Excelente
70 - 85	Muy bueno
55 - 70	Bueno
40 - 55	Regular
25 - 40	Malo
10 - 25	Muy Malo
0 - 10	Fallado

Nivel de severidad	
Low (bajo)	L
Medium (medio)	M
High (alto)	H

Falla	Severidad	Cantidades parciales					Total	Densidad (%)	Valor deducido (VD)
01	H	1.5					1.5	0.61	24.50
04	H	7.0					7.0	2.86	49.69
10	H	12.0					12.0	4.90	22.28
11	M	3.6					3.6	1.47	12.07
12	M	4.0					4.0	1.63	9.60
14	M	4.5					4.5	1.84	24.14
							Total		142.27

Valor Deducido Corregido (VDC).									
N°	Valores Deducidos					VDT	q	VDC	
1	49.69	24.50	24.14	22.28	12.07	9.60	142.3	6	68.91
2	49.69	24.50	24.14	22.28	12.07	2.00	134.7	5	69.34
3	49.69	24.50	24.14	22.28	2.00	2.00	124.6	4	70.30
4	49.69	24.50	24.14	2.00	2.00	2.00	104.3	3	85.16
5	49.69	24.50	2.00	2.00	2.00	2.00	82.2	2	59.31
6	49.69	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	59.7	1	59.69
							Máximo VDC		70.30

Índice de Condición del Pavimento (PCI) = 100 - (Total VD o Máx. VDC)

PCI = 100 - 70.30

PCI = 29.70

Condición del estado del pavimento (PCI): **Malo**

Fig. 4 HOJA DE EVALUACIÓN DE LA UNIDAD DE MUESTREO N° 28 UBICADA EN EL KM. 4+410.00 - 4+375.00 DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. CHICLAYO EN LA DIRECCIÓN OESTE A ESTE (PANAMERICANA NORTE - AV. AGRICULTURA)

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIEN		*Evaluación del pavimento flexible aplicando el método Pavement Condition Index (PCI) en la Av. Chiclayo, región Lambayeque*.							
Unidad de muestreo	: S-28								
Tramo de análisis (km)	: Km. 4 + 410.00 - Km. 4 + 375.00								
Longitud de análisis (m)	: 35.00 m								
Ancho de análisis (m)	: 7.00 m								
Área de muestreo (m²)	: 245.00 m²								
N°	Tipos de fallas		Unidad						
01	Piel de cocodrilo (falla estructural)		m²						
02	Exudación (falla superficial)		m²						
03	Arietamiento en bloque (falla estructural)		m²						
04	Abultamientos y hundimientos (falla estructural)		m						
05	Corrugaciones (falla estructural)		m²						
06	Depresiones (falla estructural)		m²						
07	Grietas de borde (falla superficial)		m						
08	Grietas de reflexión de junta (falla superficial)		m						
09	Desnivel carril – berma (falla superficial)		m						
10	Grietas longitudinales y transversales (falla estructural)		m						
11	Parcheo (falla superficial)		m²						
12	Desprendimiento de agregados (falla superficial)		m²						
13	Baches (falla estructural)		und						
14	Ahuellamiento (falla estructural)		m²						
15	Desplazamiento (falla estructural)		m²						
16	Grieta parabólica (falla superficial)		m²						
17	Hinchamiento (falla estructural)		m²						
18	Pulimiento de agregados (falla superficial)		m²						
19	Cruce de vía ferroviaria (falla superficial)		m²						
Clasificación (PCI)									
85 - 100		Excelente							
70 - 85		Muy bueno							
55 - 70		Bueno							
40 - 55		Regular							
25 - 40		Malo							
10 - 25		Muy Malo							
0 - 10		Fallado							
Nivel de severidad									
Low (bajo)		L							
Medium (medio)		M							
High (alto)		H							
Falla	Severidad	Cantidades parciales				Total	Denalidad (%)	Valor deducido (VD)	
03	H	20.0				20.0	8.16	26.41	
04	H	4.0				4.0	1.63	40.72	
10	H	12.0				12.0	4.90	22.28	
12	H	40.0				40.0	16.33	49.91	
14	M	5.0				5.0	2.04	25.50	
18	H	40.0				40.0	16.33	5.40	
						Total		170.22	
Valor Deducido Corregido (VDC).									
N°	Valores Deducidos					VDT	q	VDC	
1	49.91	40.72	26.41	25.50	22.28	5.40	170.2	6	81.07
2	49.91	40.72	26.41	25.50	22.28	2.00	166.8	5	83.73
3	49.91	40.72	26.41	25.50	2.00	2.00	146.5	4	65.92
4	49.91	40.72	26.41	2.00	2.00	2.00	123.0	3	74.67
5	49.91	40.72	2.00	2.00	2.00	2.00	98.6	2	70.04
6	49.91	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	59.9	1	59.91
						Máximo VDC			83.73
Índice de Condición del Pavimento (PCI) = 100 - (Total VD o Máx. VDC) PCI = 100 - 83.73 PCI = 16.27 Condición del estado del pavimento (PCI): Muy Malo									

TABLA III.

FALLAS ESTRUCTURALES Y SUPERFICIALES DE LAS UNIDADES DE MUESTREO COMPRENDIDAS ENTRE EL KM. 0+000.00 AL KM. 6+300.00 (TODAS) DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. CHICLAYO EN LA DIRECCIÓN ESTE A OESTE (AV. AGRICULTURA - PANAMERICANA NORTE)

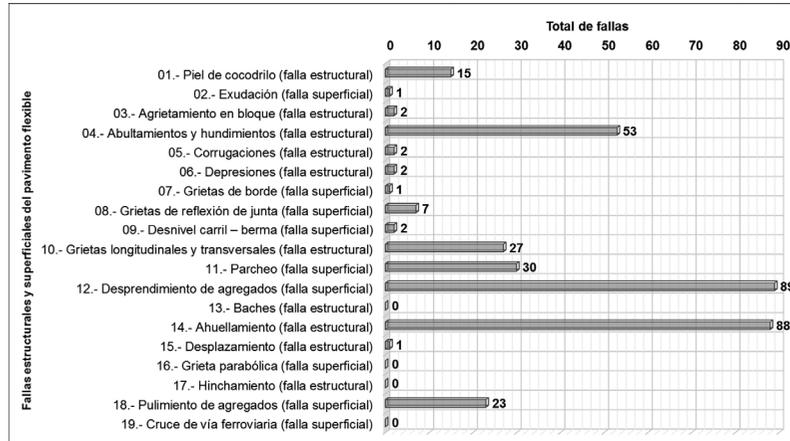
Tipos de fallas	Und.	Severidad de fallas			Número de fallas	
		Bajo (L)	Medio (M)	Alto (H)	Cantidad	%
01.- Piel de cocodrilo (falla estructural)	m²	---	---	335.75	15	4.37%
02.- Exudación (falla superficial)	m²	32.00	---	---	1	0.29%
03.- Agrietamiento en bloque (falla estructural)	m²	2.50	---	18.00	2	0.58%
04.- Abultamientos y hundimientos (falla estructural)	m	30.00	66.50	370.00	53	15.45%
05.- Corrugaciones (falla estructural)	m²	---	15.00	15.00	2	0.58%
06.- Depresiones (falla estructural)	m²	---	---	8.50	2	0.58%
07.- Grietas de borde (falla superficial)	m	---	10.00	---	1	0.29%
08.- Grietas de reflexión de junta (falla superficial)	m	---	3.00	89.00	7	2.04%
09.- Densivel carril – berma (falla superficial)	m	---	15.00	17.00	2	0.58%
10.- Grietas longitudinales y transversales	m	11.00	72.00	213.50	27	7.87%
11.- Parcheo (falla superficial)	m²	27.55	54.30	100.05	30	8.75%
12.- Desprendimiento de agregados (falla superficial)	m²	438.75	1512.45	1135.40	89	25.95%
13.- Baches (falla estructural)	und	---	---	---	0	0.00%
14.- Ahuellamiento (falla estructural)	m²	223.90	352.55	200.70	88	25.66%
15.- Desplazamiento (falla estructural)	m²	---	---	6.00	1	0.29%
16.- Grieta parabólica (falla superficial)	m²	---	---	---	0	0.00%
17.- Hinchamiento (falla estructural)	m²	---	---	---	0	0.00%
18.- Pulimiento de agregados (falla superficial)	m²	---	---	411.25	23	6.71%
19.- Cruce de vía ferroviaria (falla superficial)	m²	---	---	---	0	0.00%
Total					343	100.00%

Fuente: Los autores.

De las 343 fallas identificadas entre el Km. 0+000.00 al Km. 6+300.00 del pavimento flexible de la av. Chiclayo en la dirección Este a Oeste (av. Agricultura - Panamericana Norte)

se tuvo que 50 fallas, un 14.58% presentaron un nivel de severidad "bajo"; 109 fallas, 31.78% presentaron un nivel "medio" y, 184 fallas, 53.64% presentaron un nivel "alto".

Fig. 5. FALLAS ESTRUCTURALES Y SUPERFICIALES DE LAS UNIDADES DE MUESTREO COMPRENDIDAS ENTRE EL KM. 0+000.00 AL KM. 6+300.00 (TODAS) DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. CHICLAYO EN LA DIRECCIÓN ESTE A OESTE (AV. AGRICULTURA - PANAMERICANA NORTE)



Fuente: Los autores.

En la Tabla IV, así como en la Fig. 7, se presentan, a modo de resumen, los resultados del análisis de los 6.30 km de la av. Chiclayo en la dirección Oeste a Este, de los cuales se infiere que las fallas más frecuentes en esta calzada son el "desprendimiento de agregados", los "ahuellamientos", los "Abultamientos y hundimientos"; con 89, 86 y 39 fallas, respectivamente, con diferentes niveles de severidad, desde bajos a altos. En el caso de los "desprendimientos" y "ahuellamientos", estos se presentan prácticamente en todas las

unidades de muestreo de la calzada, que en promedio son 90. Asimismo, en función a la Tabla IV y Fig. 7 se infiere que más son las fallas estructurales que las superficiales, teniéndose 178 versus 146, respectivamente. El tramo comprendido entre el km. 6+300.00 - 5+285.00 es el que más fallas presenta, con un total de 62, seguido por el tramo 5+250.0 - 4+235.0 que registra 57. Asimismo, indicar que en toda la calzada las fallas que se identificaron en menor proporción fueron las "Exudaciones", "Desnivel carril - berma" y "Desplazamientos".

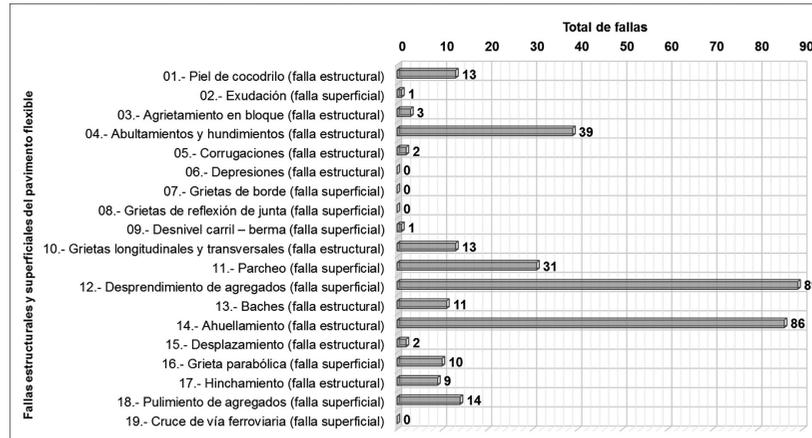
TABLA IV.

FALLAS ESTRUCTURALES Y SUPERFICIALES DE LAS UNIDADES DE MUESTREO COMPRENDIDAS ENTRE EL KM. 6+300.00 AL KM. 0+000.00 (TODAS) DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. CHICLAYO EN LA DIRECCIÓN OESTE A ESTE (PANAMERICANA NORTE - AV. AGRICULTURA)

Tipos de fallas	Und.	Severidad de fallas			Número de fallas	
		Bajo (L)	Medio (M)	Alto (H)	Cantidad	%
01.- Piel de cocodrilo (falla estructural)	m ²	---	72.00	498.00	13	4.01%
02.- Exudación (falla superficial)	m ²	---	---	50.00	1	0.31%
03.- Agrietamiento en bloque (falla estructural)	m ²	---	---	45.00	3	0.93%
04.- Abultamientos y hundimientos (falla estructural)	m	---	40.00	265.00	39	12.04%
05.- Corrugaciones (falla estructural)	m ²	---	6.70	7.50	2	0.62%
06.- Depresiones (falla estructural)	m ²	---	---	---	0	0.00%
07.- Grietas de borde (falla superficial)	m	---	---	---	0	0.00%
08.- Grietas de reflexión de junta (falla superficial)	m	---	---	---	0	0.00%
09.- Desnivel carril - berma (falla superficial)	m	---	12.00	---	1	0.31%
10.- Grietas longitudinales y transversales	m	---	35.00	119.00	13	4.01%
11.- Parcheo (falla superficial)	m ²	---	83.50	358.00	31	9.57%
12.- Desprendimiento de agregados (falla superficial)	m ²	---	1146.00	3471.00	89	27.47%
13.- Baches (falla estructural)	und	---	---	31.00	11	3.40%
14.- Ahuellamiento (falla estructural)	m ²	6.00	310.70	194.80	86	26.54%
15.- Desplazamiento (falla estructural)	m ²	---	7.50	6.00	2	0.62%
16.- Grieta parabólica (falla superficial)	m ²	---	14.75	115.50	10	3.09%
17.- Hinchamiento (falla estructural)	m ²	---	87.75	61.50	9	2.78%
18.- Pulimiento de agregados (falla superficial)	m ²	---	7.00	635.50	14	4.32%
19.- Cruce de vía ferroviaria (falla superficial)	m ²	---	---	---	0	0.00%
Total					324	100.00%

Fuente: Los autores.

Fig. 6. FALLAS ESTRUCTURALES Y SUPERFICIALES DE LAS UNIDADES DE MUESTREO COMPRENDIDAS ENTRE EL KM. 6+300.00 AL KM. 0+000.00 (TODAS) DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. CHICLAYO EN LA DIRECCIÓN OESTE A ESTE (PANAMERICANA NORTE - AV. AGRICULTURA)



Fuente: Los autores.

De las 324 fallas identificadas entre el Km. 6+300.00 al Km. 0+000.00 del pavimento flexible de la av. Chiclayo en la dirección Oeste a Este (Panamericana Norte - av. Agricultura) se tuvo que una falla, el 0.31% presentó un nivel de severidad “bajo”; 100 fallas, el 30.86% presentaron un nivel “medio” y, 223 fallas, 68.83% presentaron un nivel de severidad “alto”.

3.5 Alternativas de rehabilitación para el mantenimiento del pavimento flexible de la av. Chiclayo en 02 tramos representativos

A continuación, en la Tabla V se presentan las alternativas de rehabilitación en función a la condición del pavimento, del PCI y de las fallas representativas de las unidades de muestreo comprendidas en el tercer tramo de análisis (km. 2+100.00 - km. 3+115.00) de la av. Chiclayo en la dirección Este a Oeste

(av. Agricultura - Panamericana Norte), la misma que se eligió por estar ubicada en la parte central de la calzada, así como por el hecho de que en este tramo se encuentra la unidad de muestreo N° 40 que se describe en el punto 3.3 y que se presenta en la Fig. 3.

En la misma línea, en la Tabla VIII se presentan las alternativas de rehabilitación en función a la condición del pavimento, del PCI y de las fallas representativas de las unidades de muestreo comprendidas en el tercer tramo de análisis (km. 5+250.00 - km. 4+115.00) de la av. Chiclayo en la dirección Oeste a Este (Panamericana Norte - av. Agricultura), la misma que se eligió por estar ubicada en la parte central de la calzada, así como por el hecho de que en este tramo se encuentra la unidad de muestreo N° 28 que se describe en el punto 3.3 y que se presenta en la Fig. 4.

TABLA V.

ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN PARA FALLAS REPRESENTATIVAS DE LAS UNIDADES DE MUESTREO COMPRENDIDAS EN EL TERCER TRAMO DE ANÁLISIS (KM. 2+100.00 AL KM. 3+115.00) DE LA AV. CHICLAYO EN LA DIRECCIÓN ESTE A OESTE (AV. AGRICULTURA - PANAMERICANA NORTE)

Und. de muestra	Área (m²)	Prog. inicial (km)	Prog. final (km)	PCI	Condición	Falla más representativa de la unidad de muestreo	Actividades de mantenimiento
S-31	245	2 + 100.00	2 + 135.00	38	Malo	Pulimiento de agregados	Reciclado en frío o en caliente
S-32	245	2 + 170.00	2 + 205.00	51	Regular	Abultamientos y hundimientos	Capa asfáltica de fricción y/o sello
S-33	245	2 + 240.00	2 + 275.00	54	Regular	Abultamientos y hundimientos	Capa asfáltica de fricción y/o sello
S-34	245	2 + 310.00	2 + 345.00	57	Bueno	Grietas longitudinales y transversales	Fresado
S-35	245	2 + 380.00	2 + 415.00	50	Regular	Abultamientos y hundimientos	Capa asfáltica de fricción y/o sello
S-36	245	2 + 450.00	2 + 485.00	53	Regular	Desprendimiento de agregados	Capa asfáltica de fricción y/o sello
S-37	245	2 + 520.00	2 + 555.00	20	Muy Malo	Abultamientos y hundimientos	Nueva carpeta
S-38	245	2 + 590.00	2 + 625.00	10	Muy Malo	Abultamientos y hundimientos	Nueva carpeta
S-39	245	2 + 660.00	2 + 695.00	18	Muy Malo	Abultamientos y hundimientos	Nueva carpeta
S-40	245	2 + 730.00	2 + 765.00	30	Malo	Grietas longitudinales y transversales	Reciclado en frío o en caliente
S-41	245	2 + 800.00	2 + 835.00	16	Muy Malo	Piel de cocodrilo	Nueva carpeta
S-42	245	2 + 870.00	2 + 905.00	22	Muy Malo	Ahuellamiento	Nueva carpeta
S-43	245	2 + 940.00	2 + 975.00	25	Muy Malo	Desprendimiento de agregados	Nueva carpeta
S-44	245	3 + 010.00	3 + 045.00	39	Malo	Grietas de reflexión de junta	Reciclado en frío o en caliente
S-45	245	3 + 080.00	3 + 115.00	21	Muy Malo	Desprendimiento de agregados	Nueva carpeta

Fuente: Los autores.

TABLA VI.

ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN PARA FALLAS REPRESENTATIVAS DE LAS UNIDADES DE MUESTREO COMPRENDIDAS EN EL TERCER TRAMO DE ANÁLISIS (KM. 5+250.00 AL KM. 4+235.00) DE LA AV. CHICLAYO EN LA DIRECCIÓN OESTE A ESTE (PANAMERICANA NORTE - AV. AGRICULTURA)

Und. de muestra	Área (m ²)	Prog. inicial (km)	Prog. final (km)	PCI	Condición	Falla más representativa de la unidad de muestreo	Actividades de mantenimiento
S-16	245	5 + 250.00	5 + 215.00	28	Malo	Desprendimiento de agregados	Reciclado en frío o en caliente
S-17	245	5 + 180.00	5 + 145.00	17	Muy Malo	Abultamientos y hundimientos	Nueva carpeta
S-18	245	5 + 110.00	5 + 075.00	58	Bueno	Ahuellamiento	Fresado
S-19	245	5 + 040.00	5 + 005.00	19	Muy Malo	Pulimiento de agregados	Nueva carpeta
S-20	245	4 + 970.00	4 + 935.00	12	Muy Malo	Abultamientos y hundimientos	Nueva carpeta
S-21	245	4 + 900.00	4 + 865.00	49	Regular	Grietas longitudinales y transversales	Capa asfáltica de fricción y/o sello
S-22	245	4 + 830.00	4 + 795.00	7	Fallado	Piel de cocodrilo	Nueva carpeta
S-23	245	4 + 760.00	4 + 725.00	49	Regular	Ahuellamiento	Capa asfáltica de fricción y/o sello
S-24	245	4 + 690.00	4 + 655.00	17	Muy Malo	Desprendimiento de agregados	Nueva carpeta
S-25	245	4 + 620.00	4 + 585.00	6	Fallado	Desprendimiento de agregados	Nueva carpeta
S-26	245	4 + 550.00	4 + 515.00	13	Muy Malo	Piel de cocodrilo	Nueva carpeta
S-27	245	4 + 480.00	4 + 445.00	12	Muy Malo	Desprendimiento de agregados	Nueva carpeta
S-28	245	4 + 410.00	4 + 375.00	16	Muy Malo	Agrietamiento en bloque	Nueva carpeta
S-29	245	4 + 340.00	4 + 305.00	23	Muy Malo	Desprendimiento de agregados	Nueva carpeta
S-30	245	4 + 270.00	4 + 235.00	0	Fallado	Desprendimiento de agregados	Nueva carpeta

Fuente: Los autores.

3.6 Condición de servicio y alternativas de rehabilitación para el mantenimiento del pavimento flexible de la av. Chiclayo, en función del índice PCI

En la Tabla VII se presentan las Actividades de Mantenimiento, los rangos del Índice de Condición del Pavimento (PCI) y la Condición de Servicio de las 90 unidades de muestreo de la calzada que va en dirección Este a Oeste de la av. Chiclayo. El área promedio de muestreo fue de 245.00 m², la longitud de muestra fue de 35.00 m, el máximo PCI de entre las 90 unidades de muestreo fue de 82 (muy bueno), el mínimo de 0 (fallado), y el PCI promedio de 38, correspondiéndole la condición de "malo". Para las condiciones de "muy

bueno" se propone realizar un "mantenimiento preventivo rutinario", como un bacheo superficial, para las condiciones de "regular" se sugiere realizar un "mantenimiento correctivo" como, por ejemplo, aplicar una capa asfáltica de fricción y/o sello, y para la condición de "muy malo" y/o "fallado" se sugiere realizar una "reconstrucción" como, por ejemplo, aplicar una nueva carpeta asfáltica. De la Fig. 8 se infiere que del total de unidades de muestreo 3 están en la condición de "muy bueno", representando el 3.33% del total; 14 en la condición de "bueno", representando el 15.56%; 26 en la condición de "regular", representando el 28.89%; 20 en la condición de "malo", representando el 22.22%; 18 en la condición de "muy malo", representando el 20.00% y 9 en la condición de "fallado", representando el 10.00% del total.

TABLA VII.

RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DEL PCI DE LAS UNIDADES DE MUESTREO COMPRENDIDAS ENTRE EL KM. 0+000.00 AL KM. 6+300.00 DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. CHICLAYO EN LA DIRECCIÓN ESTE A OESTE (AV. AGRICULTURA - PANAMERICANA NORTE)

Actividades de mantenimiento	Rango	Condición	Unidades de muestreo	
			Total	%
Mantenimiento rutinario.	85 – 100	Excelente	0	0.00%
Mantenimiento preventivo.	70 – 85	Muy bueno	3	3.33%
Rehabilitación.	55 – 70	Bueno	14	15.56%
Rehabilitación mayor o acción diferida.	40 – 55	Regular	26	28.89%
	25 – 40	Malo	20	22.22%
Reconstrucción.	10 – 25	Muy malo	18	20.00%
	0 – 10	Fallado	9	10.00%
Total			90	100.00%

Fuente: Los autores.

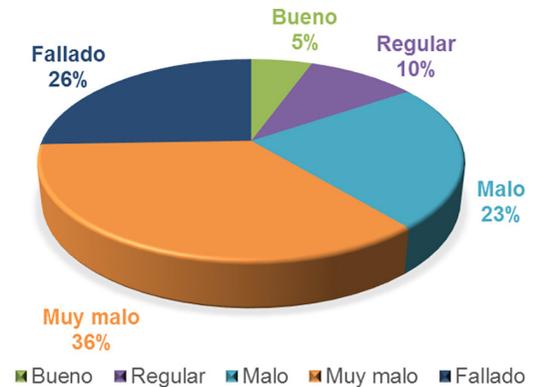
Fig. 7. CONDICIÓN DE LAS UNIDADES DE MUESTREO COMPRENDIDAS ENTRE EL KM. 0+000.00 AL KM. 6+300.00 DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. CHICLAYO EN LA DIRECCIÓN ESTE A OESTE (AV. AGRICULTURA - PANAMERICANA NORTE)



Fuente: Los autores.

En la Tabla VIII se presentan las Actividades de Mantenimiento, los rangos del Índice de Condición del Pavimento (PCI) y la Condición de Servicio de las 90 unidades de muestreo de la calzada que va en dirección Oeste a Este de la av. Chiclayo. El máximo PCI de entre las 90 unidades de muestreo fue de 62 (bueno), el mínimo de 0 (fallado), y el PCI promedio de 23, correspondiéndole la condición de "muy malo". Para las condiciones de "bueno" se propone realizar una "rehabilitación", como un reciclado en frío o en caliente, para las condiciones de "regular" se sugiere realizar un "mantenimiento correctivo" como, por ejemplo, aplicar una capa asfáltica de fricción y/o sello, y para la condición de "muy malo" y/o "fallado" se sugiere realizar una "reconstrucción", como aplicar una nueva carpeta asfáltica. De la Fig. 9 se infiere que del total de unidades de muestreo 5 están en la condición de "bueno", representando el 5.56%; 9 en la condición de "regular", representando el 10.00%; 21 en la condición de "malo", representando el 23.33%; 32 en la condición de "muy malo", representando el 35.56% y 23 en la condición de "fallado", representando el 25.56% del total.

Fig. 8 CONDICIÓN DE LAS UNIDADES DE MUESTREO COMPRENDIDAS ENTRE EL KM. 6+300.00 AL KM. 0+000.00 DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. CHICLAYO EN LA DIRECCIÓN OESTE A ESTE (PANAMERICANA NORTE - AV. AGRICULTURA)



Fuente: Los autores.

3.7 Determinación de la cantidad de material bituminoso presente en la superficie de rodadura del pavimento flexible de la av. Chiclayo mediante el ensayo ASTM D 2172 "Extracción de Asfalto"

Siguiendo la normativa ASTM D 2172 [16] de la calzada en dirección Este a Oeste (av. Agricultura - Panamericana Norte) se extrajeron 2 muestras de la superficie de rodadura, específicamente del km. 2+000.00 y km. 4+000.00, a las cuales se les aplicó el ensayo "Extracción de Asfalto", donde se obtuvo que la cantidad de material bituminoso no se encontraba dentro del rango requerido, toda vez que la primera muestra presentó un contenido de asfalto del 5.29% y la segunda un contenido de 5.14%, valores que según el expediente técnico del diseño de la carpeta asfáltica del pavimento, están por debajo de los considerados inicialmente, a saber, 5.6% a 5.8%.

TABLA VIII.

RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DEL PCI DE LAS UNIDADES DE MUESTREO COMPRENDIDAS ENTRE EL KM. 6+300.00 AL KM. 0+000.00 DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. CHICLAYO EN LA DIRECCIÓN OESTE A ESTE (PANAMERICANA NORTE - AV. AGRICULTURA).

Actividades de mantenimiento	Rango	Condición	Unidades de muestreo	
			Total	%
Mantenimiento rutinario.	85 - 100	Excelente	0	0.00%
Mantenimiento preventivo.	70 - 85	Muy bueno	0	0.00%
Rehabilitación.	55 - 70	Bueno	5	5.56%
Rehabilitación mayor o acción diferida.	40 - 55	Regular	9	10.00%
	25 - 40	Malo	21	23.23%
Reconstrucción.	10 - 25	Muy malo	32	35.56%
	0 - 10	Fallado	23	25.56%
Total			90	100.00%

Fuente: Los autores.

Asimismo, de la calzada comprendida entre el Km. 6+300.00 al Km. 0+000.00 en dirección Oeste a Este (Panamericana Norte - av. Agricultura) se extrajeron 2 muestras de la superficie de rodadura, específicamente del km. 6+000.00 y km. 3+000.00, donde se obtuvo que el contenido óptimo de asfalto tampoco se encontraba dentro del rango requerido, presentando la tercera muestra un contenido de asfalto del 5.02% y la cuarta un contenido de 5.20%, valores por debajo de los considerados inicialmente en el diseño de la carpeta asfáltica del pavimento (5.6% a 5.8%).

Vale precisar que la elección de la ubicación de las muestras fue porque en estas zonas se evidenció mayor cantidad de fallas, por estar en la parte central de ambas calzadas, así como porque cerca de estas progresivas se ubicaron las muestras y

tramos representativos que se explican en el punto 3.3 y 3.5, respectivamente.

TABLA IX.
CONTENIDO DE ASFALTO DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS CON LA ASTM D 2172 "EXTRACCIÓN DE ASFALTO"

Muestra	Peso inicial de la muestra de asfalto	Peso del asfalto	Porcentaje del contenido de asfalto
Muestra 1	47.80 g	904.20 g	5.29%
Muestra 2	46.30 g	900.10 g	5.14%
Muestra 3	45.80 g	911.70 g	5.02%
Muestra 4	47.20 g	907.80 g	5.20%

Fuente: Los autores.

Fig. 9 REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS DE EXTRACCIÓN DE ASFALTO



Fuente: Los autores.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se analizó cada calzada lateral de la av. Chiclayo de manera independiente, habiendo iniciado por la vía que va con dirección de Este a Oeste que comienza en la intersección con la av. Agricultura y termina en la intersección con la Panamericana Norte, cada 1.00 km., así se concuerda con lo realizado por Dávila et al. [12], quienes analizaron el pavimento rígido de la Vía Canal de la av. Chiclayo cada 1000 m, haciendo una evaluación más minuciosa de cada tramo, donde el intervalo de muestreo fue 2, y no cada 11 muestras si se hubiesen considerado los 6300.00 m de longitud de la avenida, por lo que se difiere con lo realizado por Tineo [17] quien empleó los 4.97 km de la avenida Canto Grande (en Lima), para la evaluación de su PCI, habiendo obtenido un intervalo de muestreo de 4, dejando así 3 unidades por evaluar (cada 3 unidades de muestreo).

Se inventariaron 190 fallas estructurales y 153 fallas superficiales entre el Km. 0+000.00 al Km. 6+300.00 del pavimento flexible de la av. Chiclayo en la dirección Este a Oeste (av. Agricultura - Panamericana Norte), con un total de 343 fallas, destacando la de "desprendimiento de agregados (falla superficial)", y la de "ahuellamiento (falla estructural)", con 89 y 88 fallas, respectivamente. Asimismo, se inventariaron 178 fallas estructurales y 146 fallas superficiales entre el Km. 6+300.00 al Km. 0+000.00 del pavimento flexible en la dirección Oeste a Este (Panamericana Norte - av. Agricultura), observando un total de 324 fallas, 19 menos que en la calzada anterior, destacando la de "desprendimiento de agregados (falla superficial)", y la de "ahuellamiento (falla estructural)", con 89 y 86 fallas, respectivamente. Fueron 180 unidades de muestreo entre ambas calzadas, y en prácticamente todas se presentaron las fallas antes mencionadas. Vale indicar

además que en total se identificaron y evaluaron 667 fallas entre ambas calzadas.

Las actividades de mantenimiento van desde realizar “bacheos superficiales” hasta la reconstrucción con una nueva “carpeta asfáltica”, tal como se sugiere y presenta en la Tabla V y Tabla VI para fallas representativas de las unidades de muestreo comprendidas en el tercer tramo de análisis (por calzada), a saber, en el tramo del km. 2+100.00 - km. 3+115.00 que va de Este a Oeste (av. Agricultura – Panamericana Norte), y el tramo del km. 5+250.00 - km. 4+115.00 que va de Oeste a Este (Panamericana Norte – av. Agricultura), aceptando así lo recomendado por Vásquez [18] quienes proponen dichas medidas de rehabilitación. Aunado a ello, Elshaer et al. [13] hacen referencia a algo muy importante que se debe tener en cuenta en todo diseño vial, a saber, el drenaje, con el objeto de reducir daños en los pavimentos que se encuentren expuestos en algún momento al agua.

De todas las fallas evaluadas la que en mayor proporción se identificó fue la de “desprendimiento de agregados”, donde se observó la pérdida del ligante asfáltico en prácticamente todas las unidades de muestreo, y en diferentes niveles de severidad, así se puede indicar que el tramo comprendido entre el km. 5+900.00-km. 6+300.00, es el que más afectado se encuentra por este tipo de falla. De entre las causas a las cuales se le atribuye esta patología se tiene: la repetición de cargas de tránsito, deficiente calidad de los componentes de la mezcla bituminosa, desintegración y desprendimiento de los materiales, deficiente drenaje y mínimo espesor de la carpeta asfáltica. La propuesta de reparación que se recomienda es un tratamiento superficial, como una sobre-carpeta, un fresado y en el mejor de los casos la aplicación de una nueva carpeta asfáltica. En esa línea, se comparte la opinión de Siswanto et al. [8], quienes indican que al transitar un determinado tipo de tráfico por las vías y de manera constante (repetida), se produce un desgaste en la superficie y consigo la pérdida de material bituminoso en la superficie de rodadura que está en contacto con los neumáticos de los vehículos.

De manera similar a la falla de “desprendimiento de agregados”, se identificaron en prácticamente todas las unidades de muestreo la falla de “ahuellamientos” en forma de depresión que seguían las huellas de los neumáticos. De entre las causas a las cuales se le atribuye esta deficiencia se tiene: baja dosificación del material bituminoso y falta de un adecuado estudio de tránsito vehicular. La propuesta de reparación que se sugiere es aplicar una mezcla en caliente y/o un fresado de carpeta asfáltica. Con base en ello, se comparte la opinión de Semeida y El-Shabrawy [19], quienes resaltan la importancia de realizar estudios de tráfico previo a cualquier diseño de un pavimento, toda vez que de este dependerá su durabilidad. Del mismo modo, se comparte lo indicado por Tsiknas et al. [20], quienes destacan la importancia de diseñar adecuadamente el espesor del pavimento, debiéndose tener en cuenta los siguientes parámetros: volumen de tráfico, capacidad de soporte del suelo y la temperatura del ambiente. Definiendo con buen criterio en la etapa de diseño estos parámetros se

evitarán menos fallas a corto y largo plazo en los pavimentos asfálticos [21, 22].

El Gobierno Regional de Lambayeque, la Municipalidad Provincial de Chiclayo y la Municipalidad Distrital de José Leonardo Ortíz deben prestar mayor atención al mantenimiento de la av. Chiclayo, conocida también como la “Interconexión Vial Chiclayo – Lambayeque – Ferreñafe”, puesto que conecta las 3 provincias de la región. Es una de las principales vías de la ciudad de Chiclayo que ha contribuido en el desarrollo socioeconómico continuo desde su puesta en servicio en el 2012, requiriendo a la fecha se le apliquen acciones de mantenimiento, y en algunos tramos, su reconstrucción. Asimismo, se sugiere se haga un mejor control respecto a los vehículos de carga pesada que transitan por el pavimento flexible de la avenida.

5. REFERENCIAS

- [1] Sabaruddin y A. Deni, «Application of pavement condition index (PCI) on the assessment of the kalumata highway section of the city of south ternate», *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020.
- [2] P. Intini, N. Berloco, P. Colonna y V. Ranieri, «The impact of heavy vehicle traffic trends on the overdesign of flexible asphalt pavements», *Sustainability*, vol. 12, nº 7, 2020.
- [3] J. Zhang, X. Kong, D. Han y C. Wang, «Prediction model of asphalt pavement PCI of expressway under different maintenance conditions», *Beijing Gongye Daxue Xuebao/ Journal of Beijing University of Technology*, vol. 42, nº 1, pp. 74-80, 2016.
- [4] L. R. Vásquez Varela, Pavement Condition Índice para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, Manizales, 2002.
- [5] U. Kirbaş and K. Mustafa, “Estimating PCI Using Vibration Data for Asphalt Concrete Pavements”, *Structural, and Environmental Engineering*, no. 114, 2017.
- [6] A. Sotil Chávez, «Propuesta de sistema de gestión de pavimentos para municipalidades y gobiernos locales», *Revista Infraestructura Vial*, vol. 16, nº 28, pp. 13-24, 2014.
- [7] A. Sidess, A. Ravina y E. Oged, «A model for predicting the deterioration of the pavement condition index», *International Journal of Pavement Engineering*, 2020.
- [8] H. Siswanto, B. Supriyanto, Pranoto, Y. A. M. Putra y A. S. Huda, «Evaluation of road maintenance priority using PCI and road note 1 for Indonesian district roads», *Paper presented at the AIP Conference Proceedings*, 2018.
- [9] A. Setyawana, J. Nainggolan y A. Budiarto, «Predicting the remaining service life of road using pavement condition index», *Procedia Engineering*, vol. 125, pp. 417-423, 2015.
- [10] B. E. Oblitas Gastelo, I. I. Medina Cardozo y C. R. Paredes Asalde, «International Evenness Index And Pavement Condition Index For Defining Pavement Serviceability Levels», *Iteckne*, vol. 18, nº 2, 2021.
- [11] S. Nurjanah Ahmad, T. Harianto, L. Samang y M. Hustim, «Level vulnerability damage of pavement using Pavement Condition Index method», *MATEC Web of Conferences*, vol. 181, nº 11003, 2018.
- [12] D. J. Dávila Vidarte, N. E. Huangal Castañeda y W. A. Salazar Bravo, Artistas, Aplicación del método del PCI en la evaluación

- superficial del pavimento rígido de la vía canal de la avenida Chiclayo distrito José Leonardo Ortiz provincia de Chiclayo periodo 2016. [Art]. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2017.
- [13] M. Elshaer, M. Ghayoomi y J. S. Daniel, «Impact of subsurface water on structural performance of inundated flexible pavements», *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 20, n° 8, pp. 947-957, 2017.
- [14] K. E. Solis Burga y J. H. Vallejos Montenegro, Artists, Estudio y evaluación del pavimento flexible ubicado en la Av. Chinchaysuyo del tramo del paseo Yortuque empleando el método PCI y propuesta de rehabilitación del pavimento flexible. [Art]. Universidad Señor de Sipán, 2019.
- [15] American Society for Testing and Materials, Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys, ASTM International, 2004.
- [16] American Society for Testing and Materials, Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Asphalt Binder from Asphalt Mixtures-ASTM D 2172, 2000.
- [17] I. L. Tineo Oropeza, Artist, Evaluación del estado del pavimento asfáltico aplicando los métodos PCI y VIZIR para proponer alternativas de mantenimiento – Av. Canto Grande. [Art]. Universidad Ricardo Palma, 2019.
- [18] L. R. Vásquez Varela y F. J. García Orozco, «An overview of asphalt pavement design for streets and roads», *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, n° 98, pp. 10-26, 2021.
- [19] A. M. Semeida y M. El-Shabrawy, «Impact of pavement condition on passenger car traffic», *Gradjevinar*, vol. 68, n° 8, pp. 635-644, 2016.
- [20] A. Tsiknas, A. Athanasopoulou y G. P. Papageorgiou, «Evaluation of flexible pavement construction cost according to the design method», *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, vol. 173, n° 1, pp. 3-12, 2020.
- [21] P. H. Rijal y S. S. Medis, «Study of pavement condition index (PCI) relationship with international roughness index (IRI) on flexible pavement», *Les Ulis: EDP Sciences*, vol. 258, n° 03019, 2019.
- [22] G. Loprencipe y A. Pantuso, «A Specified Procedure for Distress Identification and Assessment for Urban Road Surfaces Based on PCI», *Coatings*, vol. 7, n° 5, pp. 65-90, 2017.