



Sistema Roadroid en la evaluación de la serviciabilidad vial

Jesus Eugenio Depaz Huertas¹

edepazh@unasam.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0003-0229-3046>

Universidad Nacional Santiago

Antúnez de Mayolo

Huaraz, Ancash, Perú

Hugo Flores Granados

hfloresg@unasam.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-0600-702X>

Universidad Nacional Santiago

Antúnez de Mayolo

Huaraz, Ancash, Perú

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar la efectividad del uso del sistema Roadroid en la evaluación de la serviciabilidad vial en la carretera PE-3N tramo Huaraz-Carhuaz. La metodología utilizada tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y diseño no experimental - transversal, con una población y muestra no probabilística: carretera PE-3N tramo Huaraz-Carhuaz con una extensión de 31 km. El procedimiento estuvo enfocado en la aplicación de los métodos Roadroid y Nivel y mira (método aceptado) para el cálculo del índice internacional de rugosidad e índice de serviciabilidad presente por ambos métodos, con la finalidad de conocer el grado de correlación de resultados. Los resultados, afirman la existencia de una correlación altamente fuerte en cuanto a resultados IRI generados por los métodos aplicados, expresado en un coeficiente de Pearson de 0,954; asimismo, respecto a los resultados PSI generados por ambos métodos en la extensión completa de la vía, generan un coeficiente de Spearman de 0,772 y 0,553 para el carril derecho e izquierdo de la vía respectivamente, lo cual evidencia una correlación buena. Finalmente, se concluyó que el uso del sistema Roadroid para la evaluación de la serviciabilidad vial en la carretera PE-3N tramo Huaraz – Carhuaz, es óptima.

Palabras clave: *sistema roadroid; serviciabilidad vial; índice de rugosidad internacional.*

¹ Autor Principal

Roadroid system in the evaluation of the road serviceability

ABSTRACT

The objective of the research was to determine the effectiveness of the use of the Roadroid system in the evaluation of road serviceability on the PE-3N highway, Huaraz-Carhuaz section. The methodology used had a quantitative approach, of an applied type and a non-experimental - cross-sectional design, with a non-probabilistic population and sample: PE-3N road, Huaraz-Carhuaz section with an extension of 31 km. The procedure was focused on the application of the Roadroid and Level and look methods (accepted method) for the calculation of the international roughness index and present serviceability index, in order to know the degree of correlation of results generated by both methods. The results confirm the existence of a highly strong correlation in terms of IRI results generated by the applied methods, expressed in a Pearson coefficient of 0,954; likewise, regarding the PSI results generated by both methods in the complete extension of the road, they generate a Spearman coefficient of 0,772 and 0,553 for the right and left lane of the road respectively, which shows a good correlation. Finally, it was concluded that the use of the Roadroid system for the evaluation of road serviceability on the PE-3N highway, Huaraz - Carhuaz section, is optimal.

Keywords: *roadroid system; road serviceability; international roughness index.*

Artículo recibido 29 abril 2023

Aceptado para publicación: 29 mayo 2023

INTRODUCCIÓN

La carretera es una infraestructura vital para apoyar actividades económicas y sociales de una nación, por lo tanto, es necesario gestionarla adecuadamente (Arianto y otros, 2018). El estado busca optimizar sus inversiones en mantenimiento vial, sin embargo, la falta de un sistema de gestión vial adecuado conduce a la ejecución de actividades de mantenimiento cuando la vida útil de la vía ha llegado a su peor estado (Quispe y otros, 2020). En tanto, la condición de la superficie de una carretera influye en el transporte sostenible, el cual se ve reflejado en la serviciabilidad vial (Arofah & Prahara, 2021)(Arofah y Prahara, 2021). La serviciabilidad vial es la capacidad y satisfacción que debe tener una vía de transporte en función a las necesidades de los usuarios en cuanto al nivel adecuado de confort y seguridad en el tránsito (Ahmed y otros, 2023). Es un indicador preciso que puede ser medido mediante la evaluación de la rugosidad de la superficie de la infraestructura vial (De Solminihac y otros, 2003). No obstante, la mala serviciabilidad vial se presenta recurrentemente en las diversas vías de transporte, afectando principalmente al usuario.

Las causas, son diversas, entre las principales está el deterioro por factores internos como la falta de capacidad de carga o volumen de tráfico (Putra y Suprpto, 2018); las condiciones del suelo, condiciones climatológicas, el material del pavimento y la falta de mantenimiento óptimo de la vía (Surbakti y Ginting, 2020). Por otro lado, los efectos de este problema, se tornan en el aumento de riesgo de accidentes vehiculares, peatonales y de ciclistas (AIPCR, 2015); la congestión, generación de contaminación del aire y el aumento proporcional de inversión en mantenimiento a largo plazo (Arora y otros, 2021); e impactos negativos en calidad de vida de las personas y la baja eficiencia en el transporte (OMS, 2015). Además, se ha demostrado que la baja serviciabilidad vial incide en el incremento lineal de emisión de CO₂ y consumo de combustible (Khan y otros, 2017). En síntesis, es de suma importancia el conocimiento de este factor con fines de reducir o mitigar el problema de forma inmediata.

La medición de la serviciabilidad rara vez se lleva a cabo de forma continua, debido a las limitaciones de herramientas o costos necesarios para implementarlas (Surbakti y Ginting, 2020). Por otro lado, estos estudios deben realizarse periódicamente, para determinar el nivel de servicio vial disponible y la planificación del mantenimiento (Lukman y otros, 2020). Para tal, uno de los parámetros objetivos para

medir la serviciabilidad vial es el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) (Arofah y Prahara, 2021). El IRI es el parámetro de condición más utilizado para evaluar las condiciones funcionales del pavimento (Arianto y otros, 2018). Es calculado a partir del análisis de un perfil alargado dividido por la longitud de la superficie medida, en unidades como metros por kilómetro (m/km) (Prahara y otros, 2021). El IRI expresa la relación del movimiento de suspensión acumulado de un vehículo y la distancia recorrida, es decir, se basa en la simulación de la respuesta de rugosidad de un automóvil viajando a 80 km/h (Hossain y otros, 2019).

Ante lo anterior, en la actualidad se desarrollan nuevas tecnologías que pretenden realizar evaluaciones objetivas y estandarizadas de la calidad de una estructura vial, dentro de estas se puede mencionar a Roadroid. Este, es la tecnología más barata y fiable que existe para medir el IRI (parámetro de la serviciabilidad vial), utilizada mediante un aplicativo, aquel que hace uso de un sensor de vibración integrado en un teléfono inteligente instalado en un vehículo, el cual registra, analiza y determina el IRI a través de las vibraciones generadas al recorrer una vía (Prahara y otros, 2021). Para tal, Roadroid está conectado a un sitio web para guardar los datos y es utilizado solo con teléfonos inteligentes Android (Achmadi y otros, 2017). El uso de la aplicación del Roadroid para la medición de la condición de la carretera puede proporcionar una forma eficiente, escalable, de fácil operatividad y de bajo costo con datos precisos (Hermawan y otros, 2017). Identificado el problema antes mencionado en la carretera PE-3N tramo Huaraz – Carhuaz, la presente investigación tiene como propósito buscar estandarizar el uso del Roadroid en la evaluación de la serviciabilidad vial como alternativa relevante en el área de ingeniería de transportes, siendo esta, una opción tecnológica, económica y de fácil manipulación.

Respecto a los antecedentes se puede mencionar a Arora y otros (2021) demostraron que los resultados del Roadroid son eficientes en un 72% empleando una motocicleta a 30 km/h en comparación al rugosímetro de Merlín. Surbakti y Ginting (2020), reconocieron la efectividad de Roadroid frente a otro aplicativo como Roughometer III, para tal, obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson de 0,8391 representando una correlación fuerte. Arianto y otros (2018), demostraron que los valores IRI del Roadroid colaboran con valores de índice de deterioro superficial para determinar acciones de mantenimiento eficientes. Hossain y otros (2019), demostraron que Roadroid es una herramienta generadora de resultados consistentes, validados en comparación con resultados más exactos pero

costosos como el de Rolling Profile y Laser Profile. Por otro lado, Mohammed (2015), demostró que, en extensiones urbanas, Roadroid aporta en resultados efectivos cuando la condición es severa. En el marco nacional, Manco (2020), al emplear un método aceptado como el rugosímetro de Merlín y Roadroid, demostró que existe una correlación positiva en cuanto a los resultados IRI por ambos métodos. Desde otro contexto, López (2019), demostró que los resultados IRI del Roadroid en comparación con el método del equipo Rooga, responde a un 77,64% de similitud. Asimismo, (Sánchez & Lloclla, 2019) Sánchez y Lloclla (2019), al emplear el método Roadroid y rugosímetro electrónico Bump integrator, generan resultados IRI con variaciones del 18,92%, en avenidas urbana. Esta investigación se justifica por el alcance en resultados que proporciona la aplicación Roadroid al optimizar resultados en tiempo y costo en comparación a otros métodos aceptados, normados y convencionales. Este estudio tiene como objetivo, determinar la efectividad del Sistema Roadroid para la evaluación de la serviciabilidad vial de la carretera PE-3N Huaraz – Carhuaz, mediante la correlación de resultados IRI y PSI generados por Roadroid y otro método aceptado como el Nivel y mira.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y nivel descriptivo – correlacional, con un diseño no experimental, cuyos resultados inicialmente se enmarcan en describir el IRI obtenido por los métodos Roadroid y Nivel y mira, para su posterior correlación mediante el cálculo del coeficiente de Pearson. Evidenciando la siguiente hipótesis: El uso del sistema Roadroid genera una evaluación óptima de la serviciabilidad vial en la carretera Huaraz – Carhuaz, 2023. Las variables de la investigación son: Sistema Roadroid y serviciabilidad vial. La población y muestra fue determinada como un estudio de caso, no probabilístico, la carretera PE-3N tramo Huaraz – Carhuaz. Cuya extensión completa tiene una longitud de 31 km. La técnica principal para realizar la investigación fue la observación en campo, empleando como herramientas: (01) vehículo particular, (01) smartphone, (01) nivel de ingeniero y mira, (01) formato de registro de campo, (01) cámara fotográfica. Respecto al procedimiento de recolección, procesamiento y análisis de la información se siguieron los siguientes pasos:

Primero, para la recolección de datos por el método Roadroid, inicialmente se compraron los derechos de usuario del aplicativo. En el horario de 01:00 a.m. y ubicados en el punto de inicio del tramo

(intersección de la Av. Centenario y Av. Willcahuain) se procedió a instalar el smarthphone en el parabrisas del vehículo (marca Toyota Yaris 2017) para realizar el recorrido a doble sentido de la vía. El vehículo fue seleccionado según lo indicado por Prahara y otros (2021), quien menciona que los vehículos medianos son aquellos que generan mayor tasa de precisión con Roadroid en comparación a otros vehículos.

Figura 1

Recolección de datos, Método Roadroid.



Segundo, respecto a la recolección de datos por el método Nivel y mira, se seleccionó la zona crítica de carretera en estudio, en total una longitud de 320 metros lineales (Km 600+500 al 600+820), donde se realizaron las mediciones con el nivel de ingeniero y mira topográfica a cada 25 centímetros trazado preliminarmente según lo indicado por (Arriaga y otros, 1998).

Figura 2

Recolección de datos por el método Nivel y mira



Tercero, para el procesamiento de la información por el método Roadroid, fueron descargados de la web central del aplicativo, cuyos datos descargados fueron solicitados a intervalos IRI a cada 100 y 5 metros en función a cada carril; aquellos que fueron procesados en Excel mediante gráficos para su mejor comprensión.

Cuarto, para el procesamiento de la información por el método Nivel y mira, se empleó el software ProVAL 3,61; cuyo objetivo fue calcular y graficar los IRI cada 5 metros al insertar los datos obtenidos en campo, para finalmente importarlas en formato excel.

Quinto, para el procesamiento de grado de correlación de datos se realizó mediante el coeficiente de Pearson. Para tal, se utilizaron los resultados IRI del tramo Km 600+500 al 600+820 a cada 5 metros obtenidos tanto por Roadroid, como por el método Nivel y mira. Para este paso se empleó el software estadístico informático SPSS. Según Putra y Suprpto (2018), el coeficiente de correlación Pearson se expresa en valores de $-1 < r < 1$, cuyo factor es positivo cuando existe una fuerte relación entre las variables, es decir mientras una aumenta la otra variable también sigue el mismo patrón, y cuyo factor es negativo cuando ocurre lo contrario.

Sexto, se generó la línea de tendencia, con los datos del quinto punto, se crearon ecuaciones de regresión lineal, exponencial y logarítmica para verificar la mejor tendencia en cuanto a los resultados, de esta manera la ecuación de regresión más favorable que facilite el cálculo IRI subjetivos por el método Nivel y mira en toda la extensión de la vía en estudio.

Séptimo, definido la ecuación de regresión lineal, se procedió a calcular el IRI en toda la extensión de la carretera por el método Nivel y mira.

Octavo, se procedió a calcular el índice de serviciabilidad en toda la vía tanto del carril derecho e izquierdo, el cual se encuentra en función al IRI obtenido por ambos métodos. Para tal, se utilizó el método del índice de serviciabilidad presente Sayers, el cual es una técnica ampliamente utilizada para calcular el PSI en función a la perfilometría de la carretera enfocado en la comodidad del usuario medida por las irregularidades del pavimento. Para Entonces, se empleó la siguiente ecuación proporcionada por Sayers:

$$PSI = \frac{5.0}{\exp\left(\frac{IRI}{5,5}\right)}$$

IRI: Índice de regularidad internacional; PSI: Índice de serviciabilidad presente

El PSI calculado se interpreta en una escala del 0 a 5, donde 5 representa una excelente comodidad para el usuario y 0 representa una pobre comodidad .

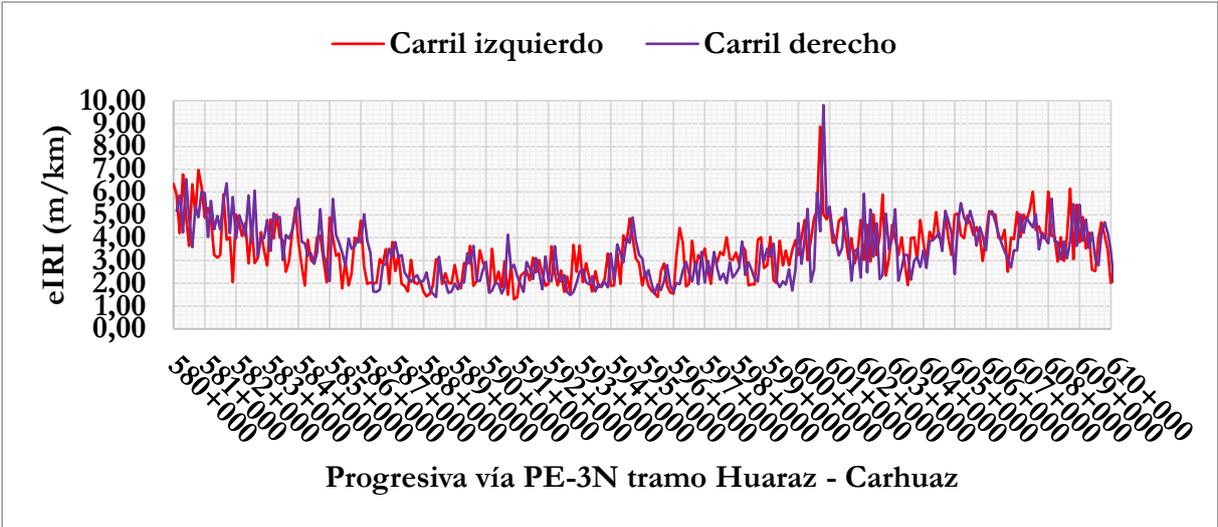
Finalmente, como último proceso, se procedió a calcular la correlación de resultados PSI obtenidos en toda la extensión de la vía empleando ambos métodos, para tal, se efectuó el cálculo por coeficiente de Spearman, para datos atípicos. Concluyendo con un cálculo de PSI por tramos de la carretera en estudio.

RESULTADOS

En la Figura 3, se describen los resultados del índice de rugosidad empleando el método Roadroid en el carril derecho e izquierdo en la totalidad de la vía en estudio.

Figura 3

IRI hallados empleando el método Roadroid en la carretera Huaraz - Carhuaz (carril derecho).



Nota. Gráfico procesado con resultados eIRI generados en Roadroid a cada 100 metros de extensión de la vía.

En la Tabla 1, se resumen los resultados eIRI por cada tramo de la vía en estudio, calculando la condición para el carril derecho e izquierdo según Roadroid.

Tabla 1

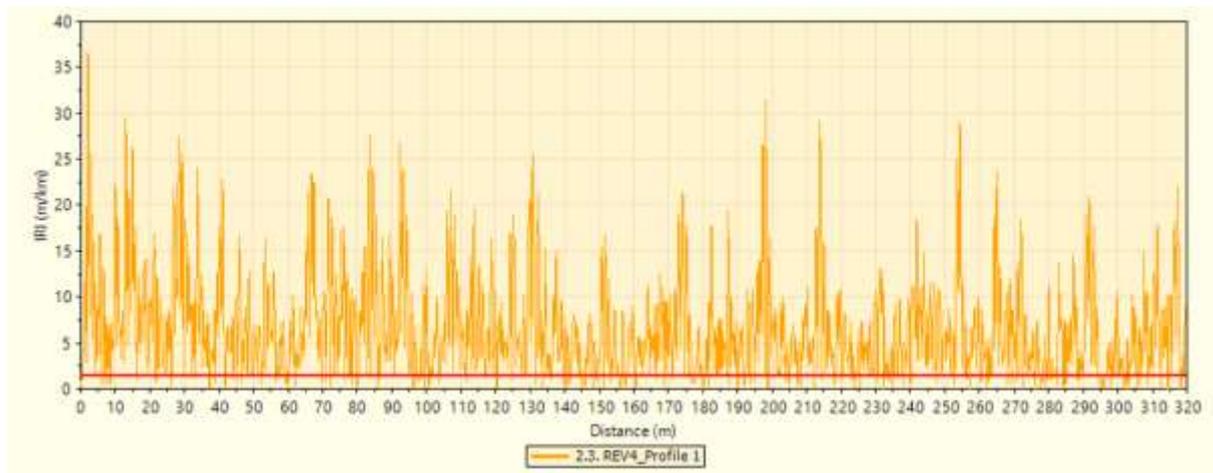
IRI promedio de la carretera Huaraz – Carhuaz (carril izquierdo), según tramos

Tramos	Código	Condición de la carretera según Roadroid	Carril derecho			Carril izquierdo		
			Longitud (m)	Porcentaje (%)	IRI promedio (m/km)	Longitud (m)	Porcentaje (%)	IRI promedio (m/km)
Huaraz - Taricá (Km 580+000 al 593+000)		Bueno	3600,00	27,69%	3,33	3900,0	27,69%	3,14
		Satisfactorio	4900,0	37,69%		5400,0	37,69%	
		No satisfactorio	3300,0	25,38%		3000,0	25,38%	
		Pobre	1200,0	9,23%		700,0	9,23%	
Taricá - Yungar (Km 593+000 al 597+800)		Bueno	2200,0	45,83%	2,54	1900,0	45,83%	2,71
		Satisfactorio	2300,0	47,92%		2300,0	47,92%	
		No satisfactorio	300,0	6,25%		600,0	6,25%	
		Pobre	0,0	0,00%		0,0	0,00%	
Yungar - Anta (Km 597+800 al 600+300)		Bueno	700,0	28,00%	2,88	700,0	28,00%	3,16
		Satisfactorio	1400,0	56,00%		1400,0	56,00%	
		No satisfactorio	400,0	16,00%		400,0	16,00%	
		Pobre	0,0	0,00%		0,0	0,00%	
Anta - Marcara (Km 600+300 al 605+100)		Bueno	500,0	10,20%	3,85	500,0	10,20%	4,09
		Satisfactorio	2100,0	42,86%		2100,0	42,86%	
		No satisfactorio	1900,0	38,78%		1900,0	38,78%	
		Pobre	400,0	8,16%		400,0	8,16%	
Marcara - Carhuaz (Km 605+100 al 611+000)		Bueno	300,0	5,17%	3,82	300,0	5,17%	3,93
		Satisfactorio	2400,0	41,38%		2400,0	41,38%	
		No satisfactorio	3000,0	51,72%		3000,0	51,72%	
		Pobre	100,0	1,72%		100,0	1,72%	
Total			31000,00			31000,00		

En la Figura 4, se detalla los IRI obtenido por el método aceptado Nivel y mira en la progresiva evaluada, generados en el software ProVAL 3,61.

Figura 4

IRI generados en el tramo evaluado km 600+500 al 600+820 del carril derecho de la carretera Huaraz-Carhuaz

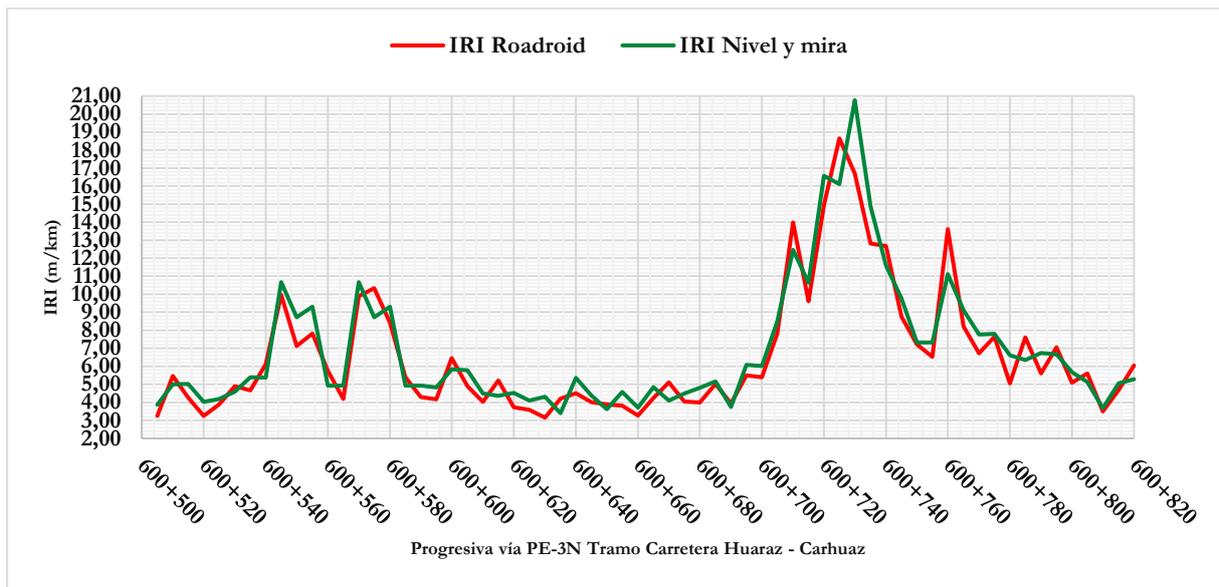


Nota. Gráfico generado en el software ProVAL 3,61; con los datos insertados capturados en campo con el Nivel y mira.

En la Figura 5, se muestran los resultados IRI a cada 5 metros, mediante un gráfico comparativo de los IRI calculados por ambos métodos empleados.

Figura 5

Gráfico comparativo de resultados IRI (método Roadroid) e IRI (método Nivel y mira) en el tramo Km 600+500 al 600+820.



En la Tabla 2, por medio del uso del software estadístico SPSS, se determina el coeficiente de correlación de Pearson con datos de la Figura 5.

Tabla 2

Correlación mediante el coeficiente de Pearson de resultados eIRI e IRI

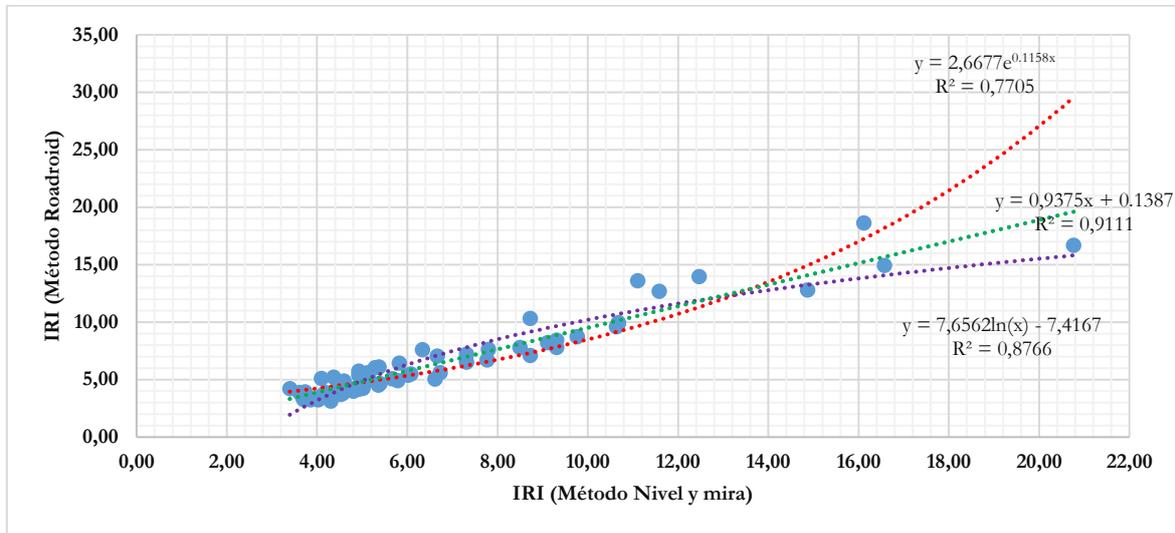
		Nivel y mira	Roadroid
Nivel y mira	Correlación de Pearson	1	,954**
	Sig. (bilateral)	-	0,000
	N	64	64
Roadroid	Correlación de Pearson	,954**	1
	Sig. (bilateral)	0,000	-
	N	64	64

** . La correlación es significativa en el Nivel 0,001 (bilateral)

Bajo los resultados de la Tabla 2, en la Figura 7 se detallan los resultados respecto a las líneas de tendencia lineal, exponencial y logarítmica que determinan los resultados del IRI por ambos métodos empleados.

Figura 6

Ecuaciones de regresión según el IRI obtenido por los métodos Roadroid y Nivel y mira, en el tramo Km 600+500 al 600+820



Hallado la línea de tendencia con mayor acercamiento en cuanto a los resultados (ecuación lineal), la Figura 8 y 9, exponen los resultados IRI por ambos métodos en toda la extensión de la vía y para cada carril.

Figura 7. *Gráfico comparativo del IRI hallado por ambos métodos en el carril derecho de la carretera Huaraz-Carhuaz*

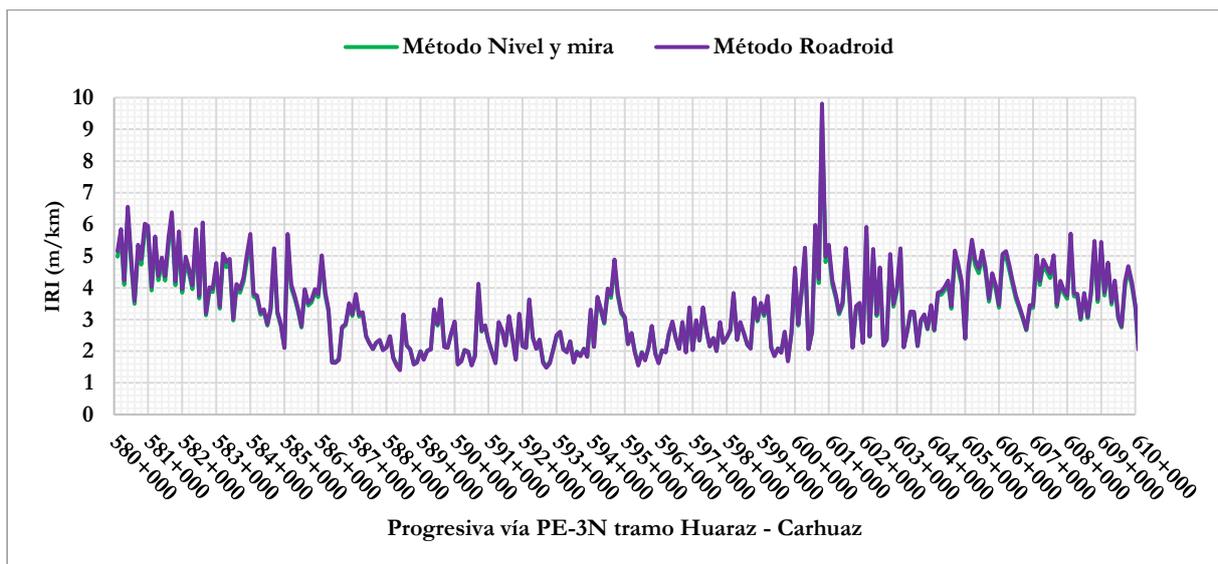
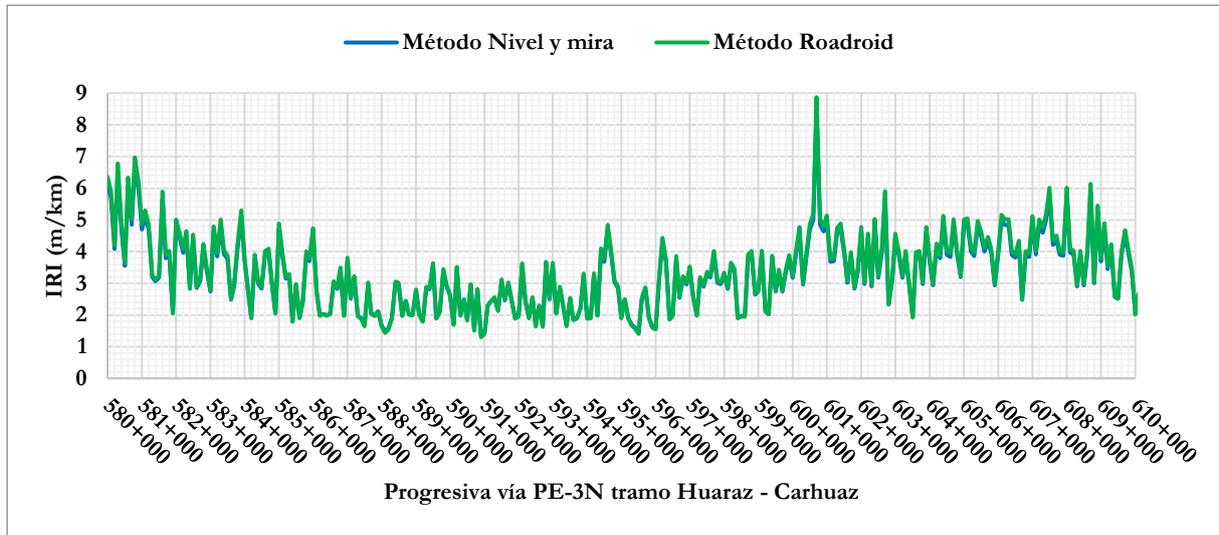


Figura 8. Gráfico comparativo del IRI hallado por ambos métodos en el carril izquierdo de la carretera Huaraz-Carhuaz.



Contando con los resultados IRI por ambos métodos, en la Figura 9 y 10, se exponen gráficamente los índices de serviciabilidad calculados en la extensión de la vía en estudio.

Figura 9. Gráfico comparativo del PSI hallado según el IRI (ambos métodos) en el carril derecho de la carretera Huaraz-Carhuaz

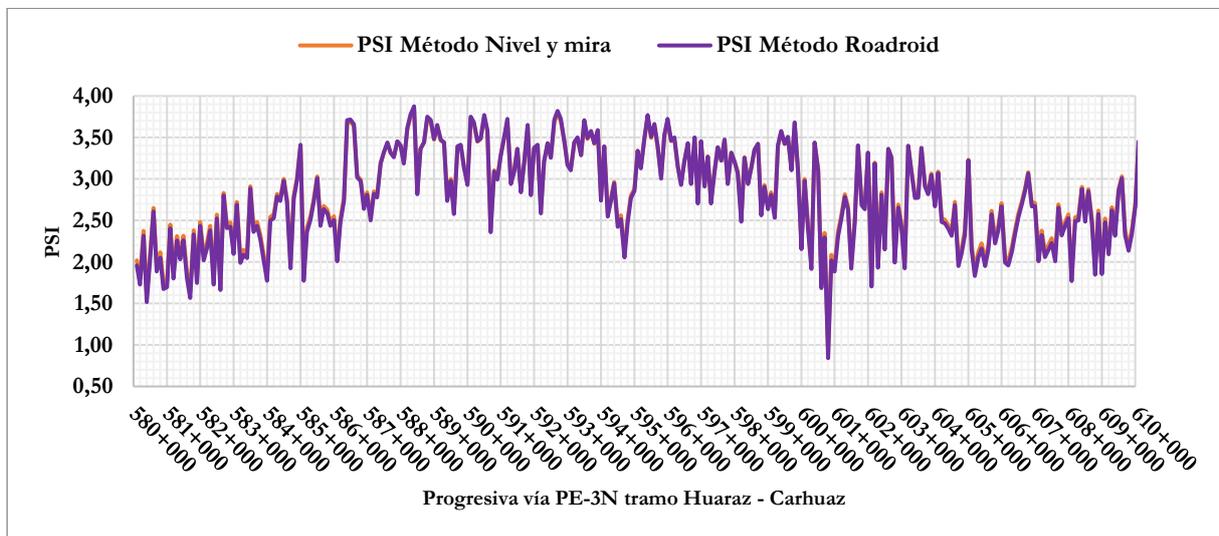
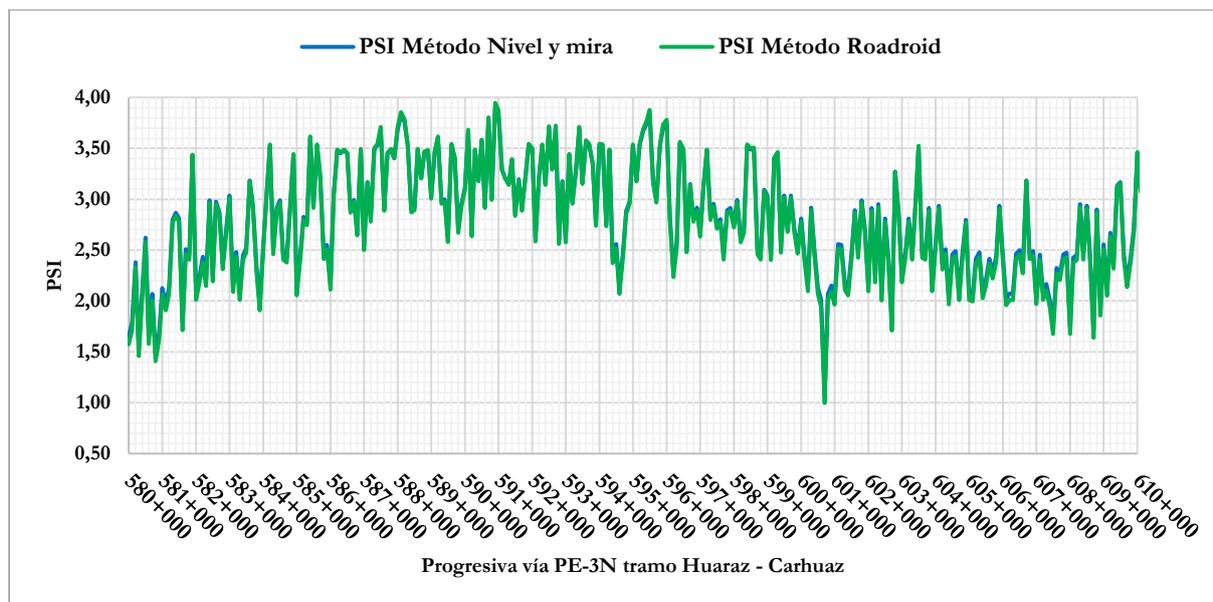


Figura 10.

Gráfico comparativo del PSI hallado según el IRI (ambos métodos) en el carril izquierdo de la carretera Huaraz-Carhuaz



Si enfocamos los resultados objetivos por tramos sobre la serviciabilidad vial, en la Tabla 3 se expone la correlación de estos resultados PSI por cada método.

Tabla 3

PSI según el eIRI y IRI hallados por tramos del carril derecho de la carretera Huaraz-Carhuaz.

Correlaciones		Carril derecho		Carril izquierdo		
		PSI Roadroid	PSI Nivel y mira	PSI Roadroid	PSI Nivel y mira	
Rho de Spearman	PSI Roadroid	Coefficiente de correlación	1	,772**	1	,553**
		Sig. (bilateral)	-	0,000	-	0,000
	PSI Nivel y mira	Coefficiente de correlación	,772**	1	,553**	1
		Sig. (bilateral)	0,000	-	0,000	-
	N	64	64	64	64	

** La correlación es significativa en el Nivel 0,001 (bilateral)

Además, en la Tabla 4, se detallan los resultados PSI por subtramos de la vía en estudio.

Tabla 4

PSI según el eIRI y IRI hallados por tramos del carril izquierdo de la carretera Huaraz-Carhuaz.

Tramos	Carril derecho		Carril izquierdo		Promedio por tramos	Calificación de serviciabilidad (NTP CE.010)
	PSI (Método Roadroid)	PSI (Método Nivel y mira)	PSI (Método Roadroid)	PSI (Método Nivel y mira)		
Huaraz - Tarica (Km 580+000 al 593+000)	2,81	2,83	2,89	2,91	2,86	Regular
Tarica - Yungar (Km 593+000 al 597+800)	3,18	3,18	3,09	3,10	3,14	Bueno
Yungar - Anta (Km 597+800 al 600+300)	3,00	3,02	2,93	2,95	2,98	Regular
Anta - Marcara (Km 600+300 al 605+100)	2,56	2,59	2,41	2,46	2,51	Regular
Marcara - Carhuaz (Km 605+100 al 611+000)	2,54	2,58	2,50	2,55	2,54	Regular
Promedio	2,82	2,84	2,76	2,79	2,80	Regular

DISCUSIÓN

Expuestos los resultados mediante gráficos, inicialmente se puede discutir que la correlación de resultados IRI (en el tramo 600+500 al 600+820) generados tanto por Roadroid como Nivel y mira, exponen en la Tabla 2 un coeficiente de Pearson de 0,954, es decir, una correlación altamente fuerte, según (Putra y Suprpto, 2018); lo cual demuestra que los resultados IRI estudiados por Roadroid tienen una efectividad considerable frente a los IRI generados mediante un método aceptado como el de Nivel y mira; asimismo, esto se corrobora con los hallazgos de Arora y otros (2021), Hossain y otros (2019), Manco (2020), quienes al emplear métodos aceptados y costosos como rugosímetro de Merlín, Rolling Profile y Laser Profile respectivamente, reafirman la efectividad del Roadroid frente a un método aceptado en cuanto al IRI resultante. Ahora, respecto a los valores del índice de serviciabilidad presente, calculados empleando los valores IRI hallados por los métodos Roadroid y Nivel y mira, tanto para carril derecho e izquierdo, demuestran en la Tabla 3 que, respecto al carril derecho existe un coeficiente de Spearman de 0,772 y para el carril izquierdo 0,553, lo cual representa una correlación buena y regular según (Martinez y otros, 2009) respectivamente, representando así la efectividad de Roadroid al evaluar la serviciabilidad vial de la carretera Huaraz - Carhuaz. Lo anterior, se puede enlazar frente a lo mencionado por Arianto y otros (2018) quienes demostraron que los valores IRI del Roadroid colaboran

con valores de índice de deterioro superficial para determinar acciones de mantenimiento como es el caso del índice de serviciabilidad presente. Finalmente, con los resultados observados, se acepta la hipótesis general, al corroborarse el uso efectivo del sistema Roadroid bajo una correlación buena de resultados en comparación a resultados PSI relativos generados a partir de la empleabilidad de un método aceptado como el de Nivel y mira.

CONCLUSIONES

El uso del sistema Roadroid para la evaluación de la serviciabilidad vial en la carretera PE-3N tramo Huaraz – Carhuaz, es óptima, lo cual queda evidenciado bajo la correlación de resultados PSI en comparación a un método aceptado como el Nivel y mira, cuyos resultados en coeficiente de correlación Spearman son 0,772 y 0,553 para el carril derecho e izquierdo respectivamente, lo cual representa una correlación buena en resultados según Martínez y otros (2009). Además, se puede puntualizar que mediante el método Sayers podemos procesar los valores IRI calculados por el sistema Roadroid y podemos conocer el índice de serviciabilidad presente de una vía con alta demanda vehicular. Finalmente, el tramo Huaraz – Carhuaz, cuenta con subtramos evaluados en cuanto al PSI calificados como comodidad regular presente según Roadroid y la normativa técnica peruana CE.010.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achmadi, F.; Suprpto, M.; & Setyawan, A. (2017). The Priority of Road Rehabilitation in Karanganyar Regency Using IRI Estimation from Roadroid. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 176(012033). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/176/1/012033>
- Ahmed, M.; Kays, H.; & Sadri, A. (2023). Centrality-based lane interventions in roads networks for improved level of service. *Applied Network Science*, 8(2). <https://doi.org/10.1007/s41109-023-00532-z>
- AIPCR. (2015). *Road Safety Manual a Guide for Practitioners*. Francia: Versión 1, World Road Association Mondiale de la Route.
- Arianto, T.; Suprpto, M.; & Syafi. (2018). Pavement Condition Assessment Using IRI from Roadroid and Surface Distress Index Method on National Road in Sumenep Regency. *2nd Internacional Conference on Advanced Material for Better Future, ICAMBF*, 333(012091). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/333/1/012091>

- Arofah, M.; & Prahara, E. (2021). Evaluate the accuracy of vehicle type on road surface condition survey using roadroid application. *729*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/729/1/012039>
- Arora, M.; Patel, M.; & Titiksh, A. (2021). Study of pavement unevenness using sensor-based smartphone. *Internacional Conference on Recent Trend and Innovation Civil Engineering ICRTICE* , 77, 879 - 898. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5195-6_64
- Arriaga, M.; Garnica, P.; & Rico, A. (1998). *Índice internacional de rugosidad en la red carretera de México*. Instituto Mexicano del Transporte. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf>
- De Solminihaç, T.; Salsilli, R.; & Kohler, E. (2003). Analysis of pavement serviceability for the AASHTO design method: The Chilean case. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 28, 143-160. https://www.researchgate.net/publication/258113357_Analysis_of_pavement_serviceability_for_the_AASHTO_design_method_The_Chilean_case
- Hermawan; Suprpto, M.; & Setyawan, A. (2017). The Use of International Roughness Index and Structural Number for Rehabilitation and Maintenance Policy of Local Highway. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 176(012031). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/176/1/012031>
- Hossain, M.; Tutumler, E.; Nikita, & Grimm, C. (2019). Evaluation of android-based cell phone applications to measure internacional roughness index of rural roads. *Internacional Conference on Transportation and Development: Smarter and Safer Mobility and Cities*, 359 - 370. <https://doi.org/10.1061/9780784482575.034>
- Khan, M.; Qiao, F.; & Yu, L. (2017). Wavelet Analysis to Characterize the Dependency of Vehicular Emissions on Road Roughness. *2641*(1), 111-125. <https://doi.org/10.3141/2641-14>
- López, J. (2019). *Comparación del índice de rugosidad internacional utilizando la aplicación Roadroid y el equipo Rooga en el pavimento, desde el Puente Cunas hasta el Puente Chupuro-Chupaca al año 2018*. Huancayo, Perú: Repositorio de la Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/6166>

- Lukman, M.; Halim, H.; & Z., S. (2020). The flatness levels of flexible road based on roadroid software in Perintis Kemerdekaan Street Makassar. *3rd Internacional Conference on Civil and Environmental Engineering*, 419(012008). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/419/1/012008>
- Manco, K. (2020). *Análisis de la variabilidad del índice de rugosidad internacional (IRI) de la carretera baños del Inca-Llacanora, utilizando el equipo Merlin y la aplicación Roadroid en un smartphone*. Cajamarca, Perú: Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
- Martinez, R.; Tuya, L. M.; Pérez, A.; & Cánovas, A. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman Caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017&lng=es&tlng=es.
- Mohammed, J. (2015). *Pavement Performance Measures Using Android Based Smart phone application*. Darussalam, Hyderabad, Telangana State: Osmania University.
- OMS. (2015). *Global Status Report on Road Safety*. Geneva, Suiza: World Health Organization.
- Prahara, E.; Nattadmadja, A.; Arofah, M.; & Pionar, R. (2021). Analysis of Vehicle type for Roadroid Application. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 794(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/794/1/012062>
- Putra, D.; & Suprpto, M. (2018). Assessment of the road based on PCI and IRI roadroid measurement. *195. MATEC web of conferences*. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819504006>
- Quispe, J.; Rioja, L.; Silvera, M.; & Reyes, J. (2020). Pavement management system to improve local road administration using PCI, IRI and PSI for pavement failures identification. *2020 Congreso Internacional de Innovación y Tendencia en Ingeniería, CONIITI 2020*(9240361). <https://doi.org/10.1109/CONIITI51147.2020.9240361>
- Sánchez, K.; & Lloclla, A. (2019). *Análisis comparativo del índice de rugosidad internacional del pavimento de la Av. La cultura de la ciudad del Cusco mediante el aplicativo para smartphone roadroid, rugosímetro electrónico Bump integrator B1-100A y Rugosímetro de Merlin*". Cusco, Perú: Repositorio de la Universidad Andina del Cusco. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/3155>

Surbakti, M.; & Ginting, P. (2020). Comparison of road inequality values using roughometer III and roadroid applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 801(012026). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/801/1/012026>