

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Creación del gemelo digital de infraestructura vial en base a  
fotogrametría**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Autor:**

Roly Elvis Huarsaya Soncco  
Pedro Juan Mayhua Mayhua

**Asesor:**

Mg. Edwin Parillo Escarsena

Juliaca, mayo de 2024

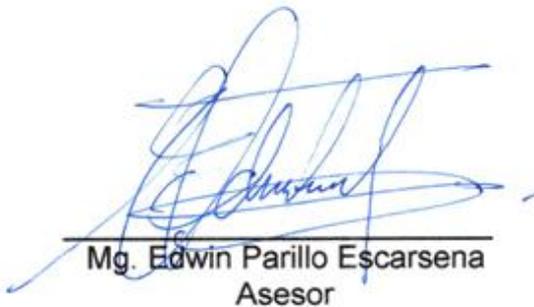
## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mg. Edwin Parillo Escarsena, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

### DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“CREACIÓN DEL GEMELO DIGITAL DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN BASE A FOTOGRAMETRÍA”** de los autores **Roly Elvis Huarsaya Soncco** y **Pedro Juan Mayhua Mayhua** tiene un índice de similitud de 18 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 20 días del mes de mayo del año 2024.



Mg. Edwin Parillo Escarsena  
Asesor



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 20 día(s) del mes de mayo del año 2024 siendo las 14:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Ing. Herson Duberly Pari Cusi, el (la) secretario(a): Mtro. Leonel Chahuarun Paucar y los demás miembros: Mg. Arnaldo Cahui Galarza y el (la) asesor(a) Mg. Edwin Parillo Escorsena

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Creación del gemelo digital de infraestructura vial en base a fotogrametría

del(los) bachiller(es): a) Pedro Juan Mayhua Mayhua  
 b) Roly Elvis Huarsaya Sorcco  
 c) .....

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Civil  
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Pedro Juan Mayhua Mayhua

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (b): Roly Elvis Huarsaya Sorcco

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (c): .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]  
 Presidente/a  
[Firma]  
 Asesor/a  
[Firma]  
 Bachiller (a)

[Firma]  
 Miembro  
[Firma]  
 Bachiller (b)

[Firma]  
 Secretario/a  
 \_\_\_\_\_  
 Miembro  
 \_\_\_\_\_  
 Bachiller (c)

# Creación del gemelo digital de infraestructura vial en base a fotogrametría

Huarsaya, Roly E <sup>1</sup>, Mayhua, Pedro J <sup>2</sup>

<sup>1</sup> (C) Universidad Peruana Unión (Juliaca-Puno, Perú). [roly.huarsaya@upeu.edu.pe](mailto:roly.huarsaya@upeu.edu.pe). ORCID: 0009-0001-9996-9326

<sup>2</sup> Universidad Peruana Unión (Juliaca-Puno, Perú). [pedro.mayhua@upeu.edu.pe](mailto:pedro.mayhua@upeu.edu.pe). ORCID: 0009-0002-8875-1775

## RESUMEN

La gestión vial demanda información actualizada sobre el estado de las carreteras, pero las inspecciones in situ demandan mucho tiempo y personal profesional, lo que conlleva a costos elevados. El GD (Gemelo Digital) es un enfoque innovador en términos de gestión, inspección y evaluación de carreteras. El objetivo es crear un GD en base a fotogrametría para determinar las alineaciones, secciones transversales, carriles, bermas y taludes, enfocado en la evaluación de la condición de la carretera. El proceso consta de cinco pasos: adquisición y procesamiento de datos, ajuste de alineación horizontal, ajuste de alineación vertical, procesamiento de secciones transversales y hermanamiento digital. El método cuasi experimental permite la aplicación controlada de técnicas como el suavizado por spline y filtro de Hampel para garantizar precisión. En el caso de estudio de 10km de la carretera de primera clase de la Red Vial Nacional PE-34B de la ruta Juliaca - Azángaro en la región de Puno, Perú. Los resultados validan la eficacia del método con alta precisión y eficiencia ( $RMSE = 0.37$ ;  $R^2 = 1$  y  $RMSE = 0.01$ ;  $R^2 = 1$ ) para el ajuste de la alineación horizontal y vertical respectivamente. Aunque la carretera no cumple con las dimensiones de carril y berma, su estado es bueno y tiene algunos defectos menores que requieren mantenimiento rutinario y reconstrucción de bermas. Concluyendo en la creación del gemelo digital sin requerir encuestas de campo y cumpliendo con los estándares de la ingeniería vial y es aplicable a carreteras existentes y sin documentación.

**Palabras clave:** Gemelo digital; Fotogrametría; carretera; Suavizado de spline, Filtro de Hampel

# **Building digital twins of road infrastructure based on photogrammetry**

## **ABSTRACT**

Road management demands updated information on road conditions, but on-site inspections require a lot of time and professional personnel, leading to high costs. The GD (Digital Twin) is an innovative approach in terms of road management, inspection, and evaluation. The objective is Building a GD based on photogrammetry to determine alignments, cross-sections, lanes, shoulders, and slopes, focusing on road condition assessment. The process comprises five steps: data acquisition and processing, horizontal alignment fitting, vertical alignment fitting, cross-section processing, and digital twinning. The quasi-experimental method allows controlled application of techniques such as smoothing spline and Hampel filter to ensure accuracy. In the case study of a 10 km segment of the first-class road of the PE-34B National Road Network from Juliaca to Azángaro in the Puno region, Peru, the results validate the method's effectiveness with high precision and efficiency (RMSE = 0.37;  $R^2 = 1$  and RMSE = 0.01;  $R^2 = 1$ ) for horizontal and vertical alignment fitting, respectively. Although the road does not meet lane and shoulder dimensions, its condition is good, with minor defects requiring routine maintenance and shoulder reconstruction. This concludes the building of the digital twin without requiring field surveys and complying with road engineering standards, applicable to existing roads without documentation.

**Keywords:** Digital twin; Photogrammetry; road; Smoothing spline, Hampel filter.