

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)

**FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**INFLUENCIA DE LA RIGIDEZ DEL PAVIMENTO EN LA
CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO UTILIZANDO
TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA VÍA
NACIONAL PE-26B**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
TRANSPORTES**

PRESENTADO POR:

Bach. ESPLANA CCORA, Karol Marielene

Bach. PÉREZ TORO, Christian

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCAVELICA – PERÚ

2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA



ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Huancavelica, a los veintidós días (22) del mes de junio del año 2021, siendo las diecisiete horas (17:00), se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los docentes: M.Sc. Marco Antonio LÓPEZ BARRANTES (PRESIDENTE), Arq. Abdon Dante OLIVERA QUINTANILLA (SECRETARIO), M.Sc. Iván Arturo AYALA BIZARRO (ASESOR), designados con Resolución de Decano N° 089-2021-FCI-UNH, de fecha 14 de mayo del 2021, a fin de proceder con la sustentación y calificación virtual mediante el aplicativo MEET del informe final de tesis titulado: "INFLUENCIA DE LA RIGIDEZ DEL PAVIMENTO EN LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO UTILIZANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA VÍA NACIONAL PE-26B", presentado por los Bachilleres Karol Marielene ESPLANA CCORA y Christian PEREZ TORO, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. Finalizada la sustentación virtual a horas...17:40...; se comunicó a los sustentantes y al público en general que los Miembros del Jurado abandonará el aula virtual para deliberar el resultado:

Karol Marielene ESPLANA CCORA

APROBADO POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

Christian PEREZ TORO

APROBADO POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

En señal de conformidad, firmamos a continuación:

[Signature]
Presidente

[Signature]
Secretario

[Signature]
Asesor

[Signature]
Vº Bº Decano

Título

INFLUENCIA DE LA RIGIDEZ DEL PAVIMENTO EN LA CONDICIÓN
SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO UTILIZANDO TÉCNICAS DE
INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA VÍA NACIONAL PE-26B



Autores

Bach. Esplana Ccora, Karol Marielene

Bach. Pérez Toro, Christian



Asesor

M.Sc. Ing. Iván Arturo Ayala Bizarro



Agradecimientos

A aquellas personas que formaron parte de nuestro desarrollo personal y profesional, a lo largo de nuestra formación.

- A quienes con amor nos cuidaron desde el primer suspiro que dimos en este mundo, haciendo de nosotros las personas que somos ahora, *nuestros queridos padres*.
- A nuestros compañeros de toda la vida, quienes estuvieron a nuestro lado y compartimos momentos gratos en nuestra vida, *nuestros hermanos*.
- A quienes nos regalaron una amistad sincera, *los amigos*.
- A quienes formaron parte de nuestra formación profesional en la carrera, *los docentes*.
- A esa personita que llegó a este mundo para llenar de amor nuestras vidas y enseñarnos a que con amor, esfuerzo y fe no hay dificultad que debe detenerte, *Mariel Abigail*.

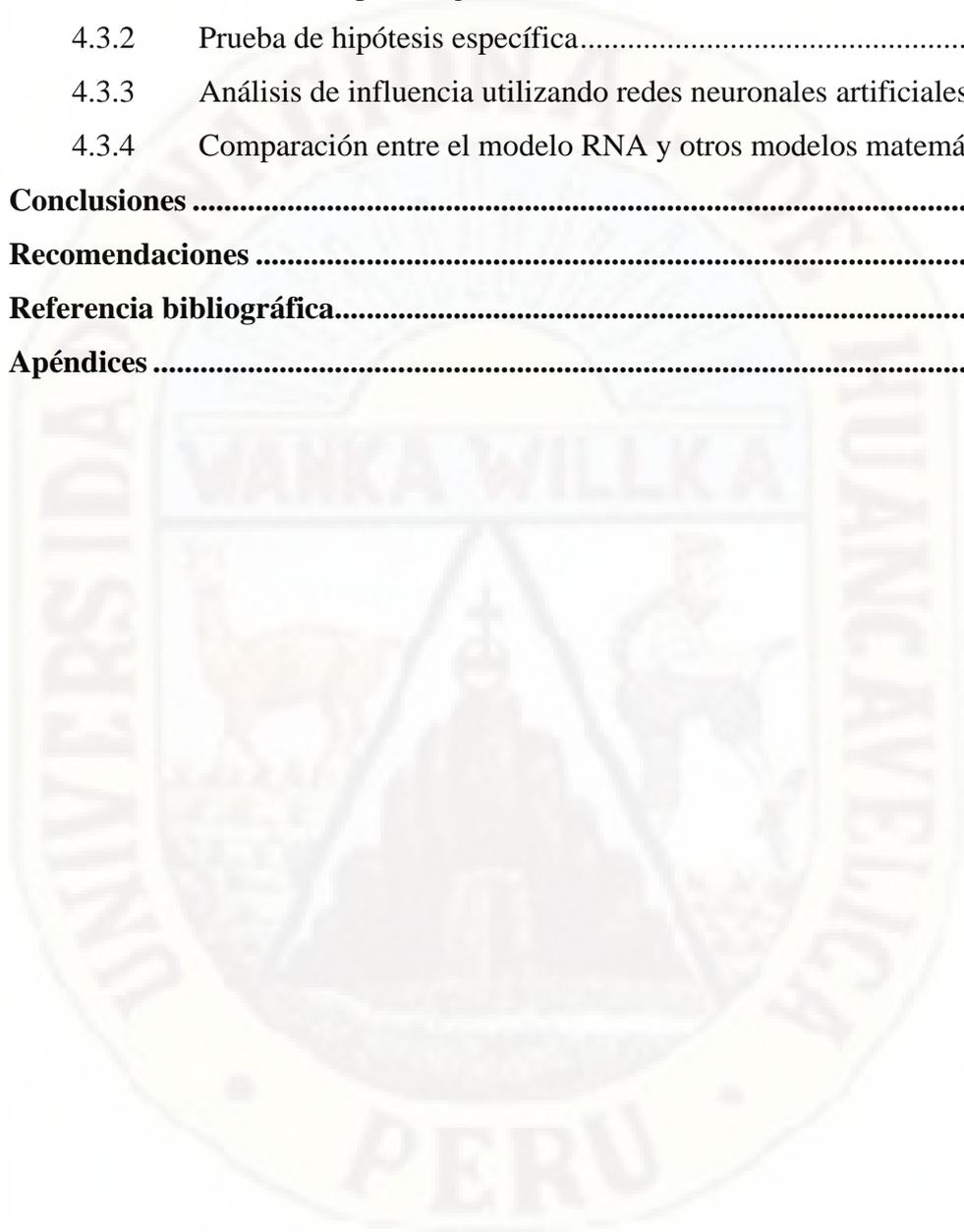
Los tesistas

Tabla de contenido

Acta de sustentación.....	ii
Título	iii
Autores	iv
Asesor	v
Agradecimientos.....	vi
Tabla de contenido	vii
Lista de contenido de tablas	x
Lista de contenido de figuras	xi
Resumen.....	xiii
Abstract.....	xv
Introducción	xvii
CAPÍTULO I.....	19
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.1 Descripción del problema.....	19
1.2 Formulación del problema.....	20
1.2.1 Problema general.....	20
1.2.2 Problemas específicos	20
1.3 Objetivos general y específico	20
1.3.1 Objetivo general	20
1.3.2 Objetivos específicos	21
1.4 Justificación.....	21
CAPÍTULO II	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1 Antecedentes	22
2.1.1 Antecedentes internacionales	22
2.1.2 Antecedentes nacionales	23
2.1.3 Antecedentes locales	24
2.2 Bases teóricas	25

2.2.1	Pavimento flexible	25
2.2.2	Rigidez del pavimento.....	25
2.2.3	Condición superficial del pavimento	35
2.2.4	Ciclo de vida del pavimento.....	43
2.2.5	Modelos de deterioro.....	45
2.2.6	Inteligencia artificial	46
2.3	Hipótesis	48
2.3.1	Hipótesis general.....	48
2.3.2	Hipótesis específicas	48
2.4	Definición de términos	49
2.5	Definición operativa de variables.....	50
CAPÍTULO III.....		52
MATERIALES Y MÉTODOS.....		52
3.1	Tipo de investigación	52
3.2	Nivel de investigación	52
3.3	Método de investigación	52
3.4	Diseño de investigación.....	52
3.5	Población y muestra	53
3.5.1	Población.....	53
3.5.2	Muestra.....	53
3.5.3	Muestreo.....	54
3.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	54
3.6.1	Técnicas.....	54
3.6.2	Instrumentos	54
3.7	Técnicas de procesamiento de análisis datos.....	55
3.8	Descripción de la prueba de hipótesis	57
CAPÍTULO IV		60
DISCUSIÓN DE RESULTADOS		60
4.1	Presentación e interpretación de datos	60
4.1.1	Rigidez del pavimento (variable independiente).....	60
4.1.2	Condición superficial del pavimento (variable dependiente).....	74

4.2	Discusión de resultados	79
4.3	Proceso de prueba de hipótesis.....	80
4.3.1	Prueba de hipótesis general.....	82
4.3.2	Prueba de hipótesis específica.....	82
4.3.3	Análisis de influencia utilizando redes neuronales artificiales	84
4.3.4	Comparación entre el modelo RNA y otros modelos matemáticos ...	89
	Conclusiones	95
	Recomendaciones	96
	Referencia bibliográfica.....	97
	Apéndices	100



Lista de contenido de tablas

Tabla 1. Módulo de resiliencia para diferentes valores de CBR en subrasante	28
Tabla 2. Módulo de resiliencia para diferentes valores de CBR en sub base	30
Tabla 3. Módulo de resiliencia para diferentes valores de CBR en base granular.....	31
Tabla 4. Calidad del drenaje según el tiempo requerido para la remoción del agua..	33
Tabla 5. Coeficiente de drenaje para base y sub base granular.....	34
Tabla 6. Clasificación de subrasante	34
Tabla 7. PCI, calificación y categoría de acción.....	39
Tabla 8. Definición operacional de variables.....	50
Tabla 9. Datos del número estructural corregido del pavimento	60
Tabla 10. Datos del número estructural construido del pavimento.....	64
Tabla 11. Datos del número estructural de la subrasante.....	69
Tabla 12. Clasificación de subrasante	71
Tabla 13. Datos de la condición superficial del pavimento	74
Tabla 14. Clasificación de la condición superficial del pavimento según PCI.....	76
Tabla 15. Resumen de resultados del análisis de datos.....	79
Tabla 16. Coeficientes de correlación entre variables	81
Tabla 17. Coeficientes de correlación entre variables y grado de significancia	82
Tabla 18. Valores de PCI medidos en campo y predichos por la red neuronal	87
Tabla 19. Valores de PCI medidos en campo y predichos por diferentes modelos ...	92
Tabla 20. Valores de coeficiente de determinación (R^2) de cada modelo.....	94
Tabla 21. Recolección de datos del número estructural corregido del pavimento... 100	
Tabla 22. Recolección de datos del número estructural construido del pavimento. 102	
Tabla 23. Recolección de datos del número estructural de la carpeta asfáltica	104
Tabla 24. Recolección de datos del número estructural de la base granular.....	106
Tabla 25. Recolección de datos del número estructural de la sub base	108
Tabla 26. Recolección de datos del número estructural de la subrasante	110
Tabla 27. Hoja de datos de deterioros por tipo y severidad	116

Lista de contenido de figuras

Figura 1. Estructura del pavimento flexible.....	25
Figura 2. Módulo de resiliencia y CBR para subrasante.....	29
Figura 3. Módulo de resiliencia y CBR para sub base.....	31
Figura 4. Módulo de resiliencia y CBR para base granular.....	32
Figura 5. Hoja de registro para evaluación superficial de pavimento flexible.....	37
Figura 6. Vista del software EvalPav Carreteras.....	38
Figura 7. Ciclo de vida del pavimento.....	44
Figura 8. Diagrama de procedimiento para el desarrollo de un modelo.....	45
Figura 9. Fases metodológicas de la investigación.....	56
Figura 10. Diagrama para el análisis de datos cuantitativos.....	57
Figura 11. Datos del número estructural corregido del pavimento.....	62
Figura 12. Diagrama de caja y bigotes del número estructural corregido.....	63
Figura 13. Histograma del número estructural corregido.....	64
Figura 14. Datos del número estructural construido del pavimento.....	66
Figura 15. Diagrama de caja y bigotes del número estructural construido.....	67
Figura 16. Histograma del número estructural construido.....	68
Figura 17. Datos de número estructural de la subrasante.....	71
Figura 18. Diagrama de torta del número estructural de la subrasante.....	71
Figura 19. Diagrama de caja y bigotes del número estructural de la subrasante.....	72
Figura 20. Histograma del número estructural de la subrasante.....	73
Figura 21. Datos del índice de condición del pavimento.....	76
Figura 22. Clasificación del pavimento en función del PCI.....	77
Figura 23. Diagrama de caja y bigotes del índice de condición del pavimento.....	78
Figura 24. Histograma del índice de condición del pavimento.....	78
Figura 25. Diagramas de correlación entre variables.....	80
Figura 26. Mapa de correlación entre variables.....	81
Figura 27. Código de la red neuronal.....	84
Figura 28. Arquitectura de red neuronal.....	85

Figura 29. Representación de modelo de red neuronal	86
Figura 30: Progreso de pérdida del modelo RNA.....	86
Figura 31. Valores de PCI medidos en campo y predichos por la red neuronal	88
Figura 32. Modelo lineal entre SNC y PCI.....	90
Figura 33. Modelo polinómica de segundo grado entre SNC y PCI.....	91
Figura 34. Modelo logarítmico entre SNC y PCI	92
Figura 35. Resultados del índice de condición del pavimento (PCI).....	112
Figura 36. Equipo de trabajo para el relevamiento de información en campo.	120
Figura 37. Realizando el relevamiento de información.	120
Figura 38. Materiales utilizados en el relevamiento de información.	121
Figura 39. Evidenciando la existencia de fallas superficiales en el pavimento.	121



Resumen

La condición superficial del pavimento es una variable que indica el estado en el que se encuentra un pavimento, esto a través del índice de condición del pavimento (PCI), que siguiendo una metodología normada por la ASTM D6433-20 permite cuantificar numéricamente la condición en un rango de 0 a 100, siendo 0 la peor condición posible y 100 la mejor condición posible. Esta variable depende de diversos factores que intervienen en la vía, como la rigidez del pavimento para soportar solicitaciones externas.

Por lo expuesto el objetivo de la presente investigación fue conocer de qué manera influye la rigidez del pavimento en la condición superficial del pavimento en la vía nacional PE-26B tramo Huancavelica – Lircay, con el propósito de establecer el comportamiento de la vía el cual permitirá una mejor gestión de la misma.

La investigación se desarrolló mediante el método científico, en un nivel de investigación explicativo, aplicando un diseño general no experimental – ex post facto, se evaluó la existencia de dependencia a través de la prueba de correlación de Spearman, por tratar con datos que no se ajustan a una curva de normalidad mediante test Shapiro-Wilk.

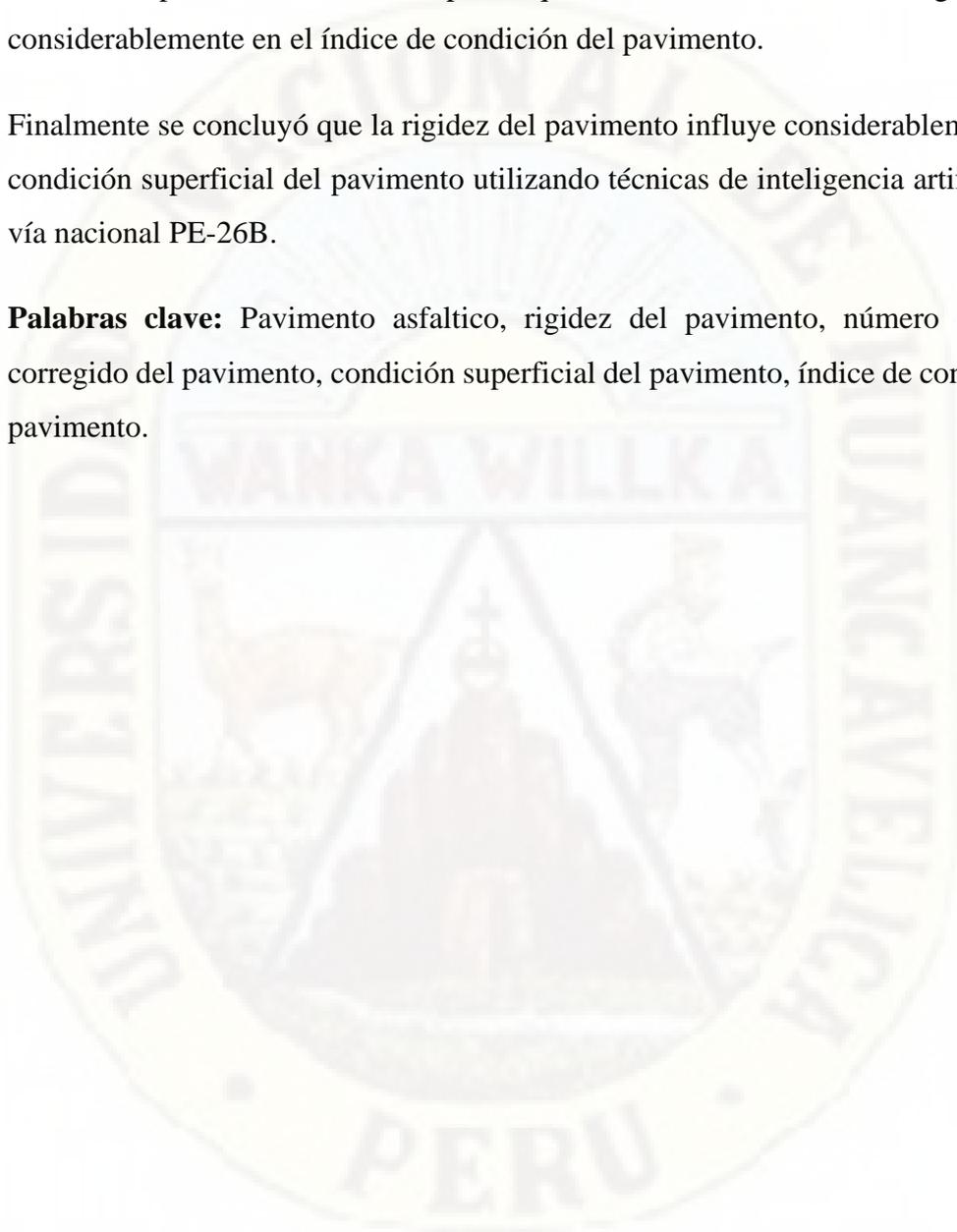
Se identificaron 70 unidades muestrales en los que se recolectó datos del número estructural corregido (SNC) y el índice de condición del pavimento (PCI), mediante la estadística descriptiva se evaluaron los datos, en ambos casos se evidenciaron la no normalidad de los datos, teniendo valores de $p < .001$ en la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, esto determinó la elección de la prueba de correlación no paramétrica Spearman, en el cual se encontró un coeficiente de correlación $r = .775$ con un nivel de significancia $p\text{-valor} < .001$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de independencia y se acepta como verdadera la hipótesis alterna de dependencia.

Establecido la existencia de correlación entre variables, se procedió a analizar dicha dependencia utilizando redes neuronales artificiales, creando un modelo inteligente que prediga el valor del índice de condición del pavimento (PCI) teniendo como dato

de ingreso el número estructural corregido (SNC), este modelo se ajustó bien a los datos teniendo un coeficiente de determinación de $R^2 = .9127$, que quiere decir una correlación positiva considerable, por lo que el número estructural corregido influye considerablemente en el índice de condición del pavimento.

Finalmente se concluyó que la rigidez del pavimento influye considerablemente en la condición superficial del pavimento utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B.

Palabras clave: Pavimento asfáltico, rigidez del pavimento, número estructural corregido del pavimento, condición superficial del pavimento, índice de condición del pavimento.



Abstract

The surface condition of the pavement is a variable that indicates the state in which a pavement is, this through the pavement condition index (PCI), which following a methodology regulated by ASTM D6433-20 allows to numerically quantify the condition in a range from 0 to 100, with 0 being the worst possible condition and 100 being the best possible condition. This variable depends on various factors involved in the road, such as the stiffness of the pavement to withstand external stresses.

Therefore, the objective of this research was to know how the stiffness of the pavement influences the surface condition of the pavement in the national road PE-26B section Huancavelica - Lircay, in order to establish the behavior of the road which will allow better management of it.

The research was developed using the scientific method, at an explanatory research level, applying a non-experimental general design - ex post facto, the existence of dependence was evaluated through the Spearman correlation test, for dealing with data that were not fit to a normality curve using the Shapiro-Wilk test.

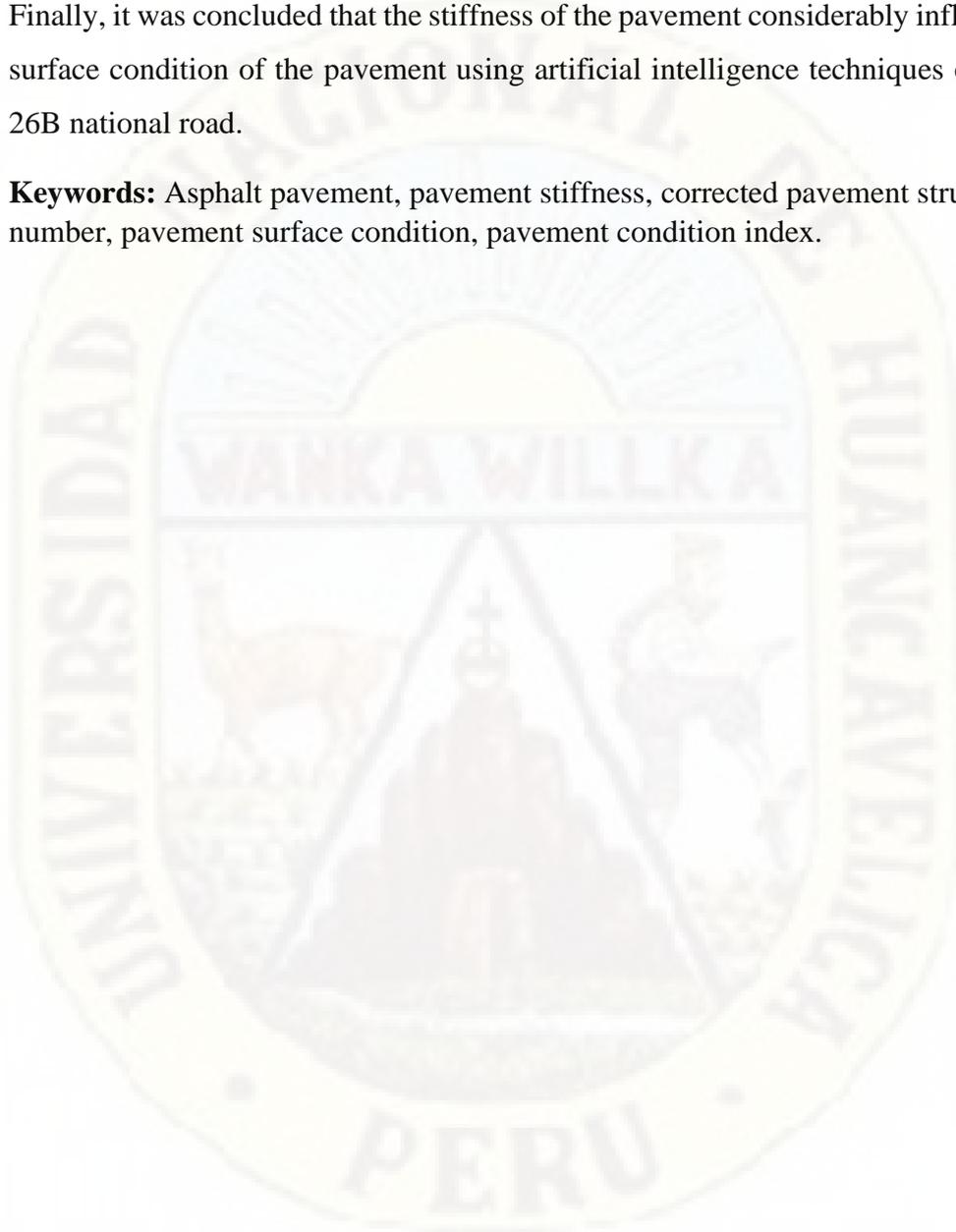
70 sample units were identified in which data of the corrected structural number (SNC) and the pavement condition index (PCI) were collected, through descriptive statistics the data were evaluated, in both cases the non-normality of the data was evidenced, having values of $p < .001$ in the Shapiro-Wilk normality test, this determined the choice of the Spearman non-parametric correlation test, in which a correlation coefficient $r = .775$ was found with a significance level of $p\text{-valor} < .001$, therefore, the null hypothesis of independence is rejected and the alternative hypothesis of dependence is accepted as true.

Once the existence of correlation between variables was established, said dependence was analyzed using artificial neural networks, creating an intelligent model that predicts the value of the pavement condition index (PCI) having as input data the corrected structural number (SNC), this The model fitted well to the data, having a coefficient of determination of $R^2 = .9127$, which means a considerable positive

correlation, so the corrected structural number considerably influences the pavement condition index.

Finally, it was concluded that the stiffness of the pavement considerably influences the surface condition of the pavement using artificial intelligence techniques on the PE-26B national road.

Keywords: Asphalt pavement, pavement stiffness, corrected pavement structural number, pavement surface condition, pavement condition index.



Introducción

Las vías de comunicación de una sociedad forman la espina dorsal de su desarrollo, pero además representa una gran inversión; por tal motivo es importante su estudio para comprender su comportamiento a lo largo de su vida útil, de tal manera implementar una adecuada conservación, a fin de brindar un correcto servicio de transitabilidad.

Desconocer cómo se comporta un pavimento a lo largo de su vida útil conlleva a no estar preparados ni anticipar las intervenciones que se requerirá para conservarlo, estando siempre a la espera del deterioro del pavimento para planear su intervención.

El pavimento flexible de la vía PE-26B tramo: Huancavelica - Lircay ha sido diseñado para soportar solicitaciones como tránsito y clima característicos de nuestro entorno; por lo tanto, a partir de las solicitaciones requeridas y características de los materiales disponibles se ha asignado una rigidez requerida, representada por el número estructural, en cada tramo homogéneo a lo largo de la carretera. A la fecha de la presente investigación, han pasado 5 años desde la pavimentación del tramo en mención, por lo que es importante evaluar cómo se ha comportado durante esta primera etapa de su vida, esto lo haremos determinando la influencia del número estructural en el índice de condición del pavimento.

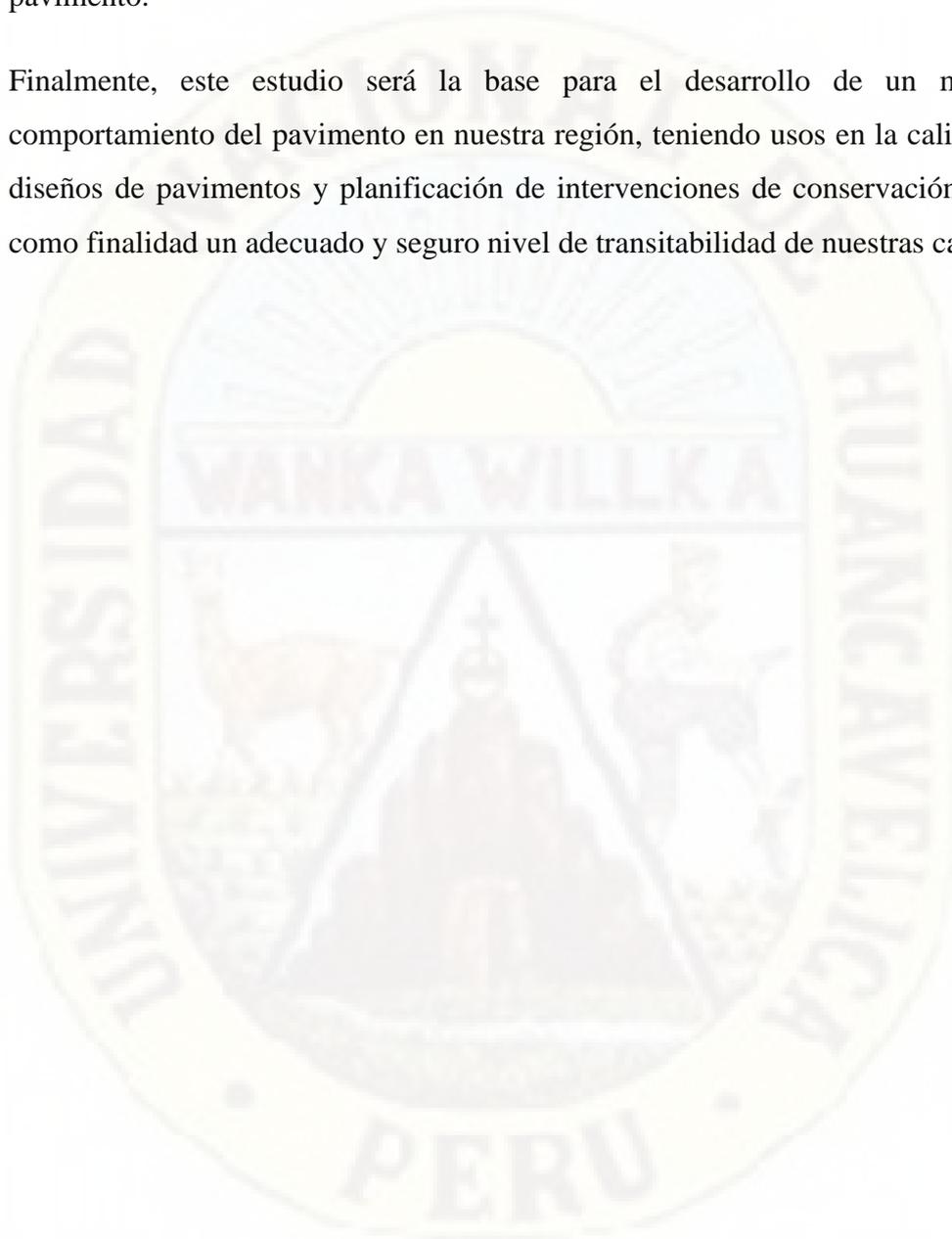
Para cumplir con el objetivo se recolectará información de las variables en estudio a lo largo de la carretera, siendo estas el número estructural del pavimento y el índice de condición del pavimento, el cual se evaluará mediante auscultación en campo siguiendo la metodología del PCI establecida en la norma ASTM D-6433-03.

El tramo en estudio es entre las progresivas 2+115 al 72+005, haciendo una longitud de 69.89 kilómetros, en el que se ha de considerar una muestra de 70 puntos de evaluación cada 1 kilómetro aproximadamente.

Para la evaluación de la influencia del número estructural del pavimento en el índice de condición del pavimento se aplicará técnicas de inteligencia artificial, considerando

que se tendría un comportamiento no lineal, multivariado y complejo, de igual manera la metodología permitirá evaluar otras variables influyentes en el comportamiento del pavimento.

Finalmente, este estudio será la base para el desarrollo de un modelo de comportamiento del pavimento en nuestra región, teniendo usos en la calibración de diseños de pavimentos y planificación de intervenciones de conservación, teniendo como finalidad un adecuado y seguro nivel de transitabilidad de nuestras carreteras.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Las vías de comunicaciones son vital importancia para el desarrollo de una región, sin embargo, si esta no brinda un adecuado servicio de transitabilidad puede convertirse en un peligro para los usuarios.

Esta realidad se ha visto reflejada en nuestra región, puesto que las vías nacionales asfaltadas o con tratamiento superficial, se encuentran en mal estado de conservación, siendo un peligro que atenta contra la integridad de los usuarios.

Desconocer el comportamiento de un pavimento a lo largo de su vida útil, ocasiona que no se prevea el dónde, cuándo y que tipo deterioro sufrirá el pavimento, esto a su vez genera una tardía e inadecuada intervención en la misma, de tal manera que se actúa cuando el pavimento ya ha sufrido daños severos y los costos de intervención son más caros, ocasionando mayor inversión en la administración del pavimento.

Consecuentemente, una mayor inversión en la conservación de la vía, hace más difícil su financiamiento, ocasionando una dilatación del tiempo y por lo general se le presta atención ya cuando el pavimento llegue a niveles intransitables. De igual manera, el mal servicio que presta una vía, ocasiona incrementos en los costos de operación vehicular y tiempos de viaje, siendo directos afectados los usuarios. Finalmente, esta condición termina en la

disminución de la calidad de vida, e incluso pone en peligro la seguridad de los usuarios durante el viaje.

Actualmente, se cuentan con diferentes modelos de comportamiento de pavimentos, los cuales se difieren entre ellos por el ámbito en el cual han sido desarrollados, es evidente que ninguno ha sido estudiado en el área de nuestra región, por tanto, no contamos con ningún modelo que podamos aplicar en nuestras vías, por lo que es necesario realizar la presente investigación.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿De qué manera influye la rigidez del pavimento en la condición superficial del pavimento, utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿De qué manera influye el número estructural del pavimento construido en la condición superficial del pavimento, utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B?
- ¿De qué manera influye el número estructural de la subrasante en la condición superficial del pavimento, utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B?

1.3 Objetivos general y específico

1.3.1 Objetivo general

Determinar la influencia de la rigidez del pavimento en la condición superficial del pavimento utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la influencia del número estructural del pavimento construido en la condición superficial del pavimento, utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B.
- Determinar la influencia del número estructural de la subrasante en la condición superficial del pavimento, utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B.

1.4 Justificación

La investigación se justifica porque no conocemos el comportamiento del pavimento en el ámbito de nuestra región, y por lo tanto no se prevé el deterioro que sufre las vías, por lo que la atención que se brinda a las vías es inoportuna y del tipo correctiva, es decir después de deteriorarse.

El desarrollo de la investigación permitirá contar con un modelo de comportamiento del pavimento aplicable a la realidad de nuestra región, que permita prever el dónde, cuándo y que tipo deterioro sufrirá el pavimento, con el fin de dar una oportuna atención a las vías del tipo preventiva. Finalmente, esto se verá reflejado en los usuarios y población en el área de influencia de la vía, quienes serán los beneficiarios directos, por la prestación de un adecuado servicio de transitabilidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales

Setyawan, Nainggolan y Budiarto, (2015) realizaron la investigación *“Predicting the remaining service life of road using pavement condition index”* con el objetivo de evaluar la condición del pavimento y a partir del cual calcular la vida útil restante. El estudio se realizó en cinco tramos de la vía al sureste de Sumatera, se evaluó las condiciones de la carretera utilizando el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y la predicción de la vida útil restante utilizando los datos de deflexión. La correlación del valor de PCI y el servicio de vida restante, creó el modelo $y = 4.1872 \ln(x) - 14.728$, con un coeficiente de correlación de .88 evidenciando un fuerte nivel de relación.

Shahnazari, Tutunchian, Mashayekhi y Amini, (2012) realizaron la investigación: *“Application of Soft Computing for Prediction of Pavement Condition Index”* con el propósito de desarrollar un enfoque alternativo para pronosticar el PCI, utilizando técnicas de optimización, incluyendo redes neuronales artificiales (ANN) y programación genética (GP). Se utilizó una base de datos compuesta por los resultados de PCI de más de 1,250 km de carreteras en Irán. Los métodos propuestos estimaron confiablemente el PCI, dando valores cercanos a los datos medidos en el campo. Finalmente concluyeron que el modelo basado en ANN, fue más preciso que el basado en el GP con un coeficiente de correlación de .9986 y .9887 respectivamente.

Beltrán (2012), en su tesis *“Evaluación estructural de pavimentos flexibles con métodos de inteligencia artificial y auscultación no destructiva”* tuvo como objetivo estructurar un sistema de modelación no convencional, basado en Redes Neuronales Artificiales - RNAs y Lógica Difusa - LD, para identificar parámetros de comportamiento de pavimentos, estableciendo la condición de rigidez e identificando posibles intervenciones en sectores con problemas. El tramo evaluado tuvo una longitud de 28 km de longitud, dividida en tres sectores I, II y III. La base de datos se conformó con información recopilada mediante la auscultación de 280 pruebas no destructivas de deflexión por impacto. Comparando los comportamientos observados y los estimados, se encontró que el sistema propuesto permite representar de manera bastante aproximada las características reales del pavimento; por ello, resulta razonable concluir que puede utilizarse con confianza para la evaluación estructural de pavimentos flexibles.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Ríos, (2019), realizó la investigación *“Modelos de deterioro del pavimento y su correlación con las evaluaciones funcionales de los años 2010-2016, en la carretera Inambari – Azángaro”*, en el que desarrolló modelos de deterioro estocástico – probabilístico y empírico, en función a mediciones del índice de rugosidad internacional (IRI) de los años 2010 al 2016 en la carretera Inambari – Azángaro y determinó su performance para predecir el deterioro funcional del pavimento flexible. La investigación es cuantitativa, aplicada, de diseño experimental. El alcance es descriptivo y correlacional. Como resultado se tiene que el modelo estocástico probabilístico presenta una correlación de .6731 considerado como positivo moderado. La correlación obtenida con el modelo de deterioro empírico es de .8449 considerado como positivo fuerte,

concluyó que los modelos empíricos tienen un mejor performance frente a los estocástico - probabilísticos.

Leguía y Pacheco, (2016), presentaron su tesis *“Evaluación superficial del pavimento flexible por el método pavement condition index (PCI) en las vías arteriales: Cincuentenario, Colón y Miguel Grau (Huacho-Huaura-Lima)”*, el trabajo de investigación tuvo como objetivo realizar la evaluación superficial del pavimento flexible de las vías en mención aplicando el método del índice de condición de pavimento (PCI), con la finalidad de conocer la condición del pavimento flexible existente. Al realizar la evaluación superficial del pavimento flexible mediante el método Pavement Condition Index, se conoce que el estado de conservación de la Av. Cincuentenario es “regular” con un PCI de 51.84, mientras que la Av. Colón y Miguel Grau presenta un estado de conservación “bueno” con un PCI de 59.29.

2.1.3 Antecedentes locales

Paytán, (2018), en su tesis *“Estimación del índice de regularidad internacional en pavimentos flexibles usando redes neuronales artificiales”*, planteó como objetivo determinar cómo difiere el valor del índice de regularidad internacional de la vía PE-1S estimado mediante un modelo de redes neuronales artificiales del valor obtenido mediante el perfilómetro láser. La construcción del modelo neuronal se hizo con ayuda del software Matlab, para su validación, el modelo neuronal fue usado para estimar los valores del Índice de Regularidad Internacional, tomando como datos de entrada una base diferente a la usada en la etapa de entrenamiento. Estos resultados fueron comparados con los valores de IRI que resultaron de mediciones con el perfilómetro láser. El coeficiente de correlación obtenido fue $R=0.365$, el cual

refleja una baja relación entre los valores y concluyó que las redes neuronales artificiales no tuvieron un buen comportamiento en esta vía específica.

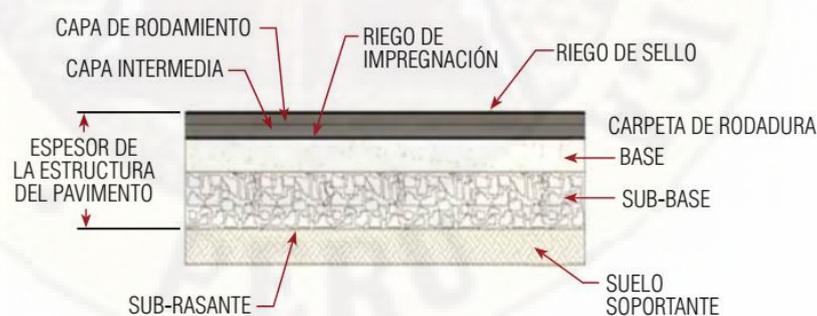
2.2 Bases teóricas

2.2.1 Pavimento flexible

Es una estructura conformada de varias capas de materiales, con la finalidad de brindar una superficie adecuada funcional y estructuralmente para el tránsito de los vehículos. Por lo general está compuesta por las siguientes capas:

- **Capa de rodadura:** es la capa superior sobre la cual transitan los vehículos.
- **Base:** es la capa inferior a la capa de rodadura que sostiene, distribuye y transmite las cargas ocasionadas por el tránsito.
- **Subbase:** es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta, además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua.
- **Subrasante:** superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento.

Figura 1. Estructura del pavimento flexible



Nota. Extraído del Manual de Carreteras (2014)

2.2.2 Rigidez del pavimento

Montejo (2006b) define la Rigidez del pavimento como la capacidad estructural de resistir bajo una combinación dada por el soporte de suelo, tránsito, serviciabilidad final y las condiciones ambientales.

2.2.2.1 Número estructural corregido del pavimento

La rigidez del pavimento se cuantifica según Montejo (2006a) mediante el número estructural corregido del pavimento, el cual está definido por la combinación del número estructural del pavimento y el número estructural de la subrasante, y se representa con la siguiente expresión:

$$SNC = SN^* + SNSG$$

donde:

SNC : número estructural corregido del pavimento

SN^* : número estructural del pavimento (construido)

$SNSG$: número estructural de la subrasante

2.2.2.2 Número estructural del pavimento

El número estructural del pavimento ha sido definido por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 1993) como una cuantificación numérica de la rigidez de las capas que conforman el pavimento, por lo que es indicativo del espesor total de pavimento requerido.

Su determinación se basa en el método de espesor equivalente, ponderando la capacidad de soporte aportada por cada capa según sus espesores y coeficientes de resistencia, los cuales están en función de los materiales y de las condiciones de drenaje en las capas granulares. (Beltrán, 2012, p. 25).

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2014a, p. 140) indica que “representa el espesor total del pavimento a colocar y debe ser transformado al espesor efectivo de cada una de las capas que lo constituirán, mediante el uso de los coeficientes estructurales”, aplicando la siguiente ecuación:

$$SN^* = a_1 h_1 + m_2 a_2 h_2 + m_3 a_3 h_3$$

donde:

a_1, a_2, a_3 : coeficiente estructural de capa (carpeta asfáltica, base y sub base respectivamente)

h_1, h_2, h_3 : espesores de capa (carpeta asfáltica, base y sub base respectivamente)

m_2, m_3 : coeficiente de drenaje de capa (base y sub base respectivamente)

Coficiente estructural de capa

A partir de la ecuación del número estructural podemos decir que es un coeficiente que convierte el espesor de una capa al número estructural de la capa correspondiente.

Según AASHTO (1993), los coeficientes de capa están basados en el módulo elástico y han sido determinados en base a cálculos de esfuerzos o deformaciones en un sistema de pavimentos multicapa. Los valores para cada capa han sido estudiados por la AASHTO y han sido presentados en ábacos para cada capa y tipo de material, también se han presentado ecuaciones como las descritas por Montejó (2006a).

$$a_1 = 0.0029(E_1)^{0.486}$$

$$a_2 = 0.249 \log E_2 - 0.689$$

$$a_3 = 0.227 \log E_3 - 0.577$$

donde:

a_1, a_2, a_3 : coeficiente estructural de capa (carpeta asfáltica, base granular y sub base respectivamente)

E_1, E_2, E_3 : módulo dinámico de elasticidad de capa, también llamado módulo de resiliencia (carpeta asfáltica, base granular y sub base respectivamente)

Módulo de resiliencia

Rondón, Fernández y Hernández (2013) definen el módulo resiliente como un indicador de “que tan rígido es un material bajo cargas cíclicas del tipo resiliente (con periodo de reposo entre ciclos de carga)” (p. 57) se obtiene en laboratorio mediante el empleo de equipos triaxiales cíclicos aplicando sobre suelos inalterados o sobre materiales compactados.

Para el cálculo en la práctica se hace a partir de correlaciones con el CBR del material mediante el uso de los ábacos presentados por la AASHTO en su metodología. A partir de esos datos se ha calculado las ecuaciones que representan la correlación entre el CBR y el módulo de resiliencia para las capas del pavimento.

Módulo de resiliencia para subrasantes

A partir de los valores del ábaco de la guía AASHTO93, se procedió a tabular los datos de CBR y módulo de resiliencia.

Tabla 1. Módulo de resiliencia para diferentes valores de CBR en subrasante

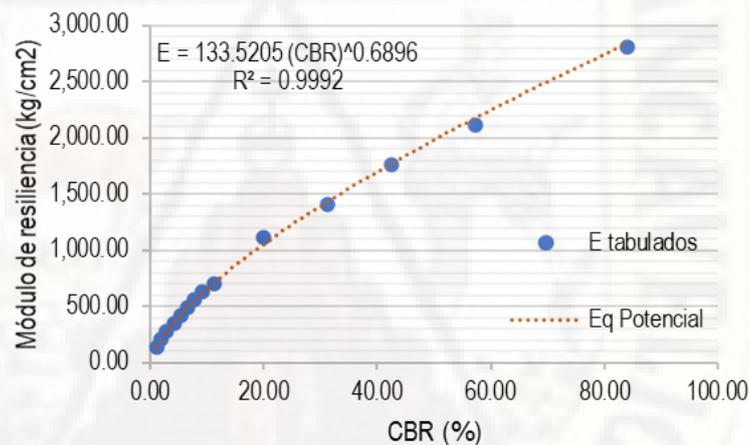
CBR (%)	E_tab (psi)	E_tab (kg/cm2)	E_cal (psi)	E_cal (kg/cm2)
84.00	40,000.00	2,812.28	40,321.12	2,834.86
57.30	30,000.00	2,109.21	30,972.27	2,177.57
42.60	25,000.00	1,757.67	25,245.88	1,774.96
31.20	20,000.00	1,406.14	20,366.61	1,431.91
20.00	15,818.45	1,112.15	14,987.87	1,053.75
11.30	10,000.00	703.07	10,110.03	710.81
9.23	9,000.00	632.76	8,793.32	618.23
7.68	8,000.00	562.46	7,746.31	544.62
6.47	7,000.00	492.15	6,878.88	483.63

5.30	6,000.00	421.84	5,994.15	421.43
4.18	5,000.00	351.53	5,088.08	357.73
2.92	4,000.00	281.23	3,972.53	279.30
1.96	3,000.00	210.92	3,023.76	212.59
1.13	2,000.00	140.61	2,064.84	145.17

Nota. E_{tab} = Módulo de resiliencia tabulado de los ábacos de la guía AASHTO93, E_{cal} = Módulo de resiliencia calculado con la ecuación de los ábacos de la guía AASHTO93. Adaptado del AASHTO Guide for design of pavement structures (1993).

A partir de la tabulación, se realizó la representación gráfica visualizando los datos y la ecuación matemática que más se aproxima, siendo la siguiente.

Figura 2. Módulo de resiliencia y CBR para subrasante



Siendo la siguiente relación potencial.

$$E = 133.5205 CBR^{0.6896}$$

Donde:

CBR : CBR de la subrasante (%)

E : módulo de resiliencia de la subrasante (kg/cm²)

Esta ecuación tiene una bondad de ajuste o coeficiente de determinación $R^2 = .999$, considerándose una correlación muy alta.

Módulo de resiliencia para subbase

Del ábaco de la guía AASHTO93, se muestra los datos tabulados de CBR y módulo de resiliencia.

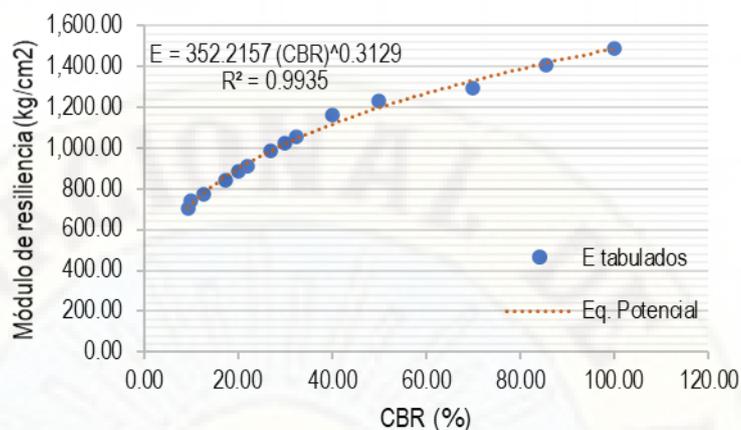
Tabla 2. Módulo de resiliencia para diferentes valores de CBR en sub base

CBR (%)	E_tab (psi)	E_tab (kg/cm ²)	E_cal (psi)	E_cal (kg/cm ²)
100.00	21,169.00	1,488.33	21,169.00	1,488.33
85.42	20,000.00	1,406.14	20,150.34	1,416.71
70.00	18,389.56	1,292.91	18,933.23	1,331.14
50.00	17,502.06	1,230.52	17,040.98	1,198.10
40.00	16,539.59	1,162.85	15,891.58	1,117.29
32.50	15,000.00	1,054.60	14,891.79	1,047.00
30.00	14,592.43	1,025.95	14,523.39	1,021.10
26.91	14,000.00	984.30	14,037.66	986.95
22.06	13,000.00	913.99	13,191.22	927.43
20.00	12,576.33	884.20	12,792.67	899.41
17.38	12,000.00	843.68	12,242.72	860.75
12.72	11,000.00	773.38	11,103.35	780.64
10.00	10,524.01	739.91	10,298.06	724.03
9.30	10,068.17	707.86	10,068.18	707.86

Nota. E_tab = Módulo de resiliencia tabulado de los ábacos de la guía AASHTO93, E_cal = Módulo de resiliencia calculado con la ecuación de los ábacos de la guía AASHTO93. Adaptado del AASHTO Guide for design of pavement structures (1993).

La representación gráfica de los datos y la ecuación matemática que más se aproxima, es la siguiente:

Figura 3. Módulo de resiliencia y CBR para sub base



Siendo la siguiente relación potencial.

$$E = 352.2157 CBR^{0.3129}$$

Donde:

CBR : CBR de la sub base (%)

E : módulo de resiliencia de la sub base (kg/cm²)

Esta ecuación tiene una bondad de ajuste o coeficiente de determinación $R^2 = .993$, considerándose una correlación muy alta.

Módulo de resiliencia para base granular

Del ábaco de la guía AASHTO93, se muestra los datos tabulados de CBR y módulo de resiliencia.

Tabla 3. Módulo de resiliencia para diferentes valores de CBR en base granular

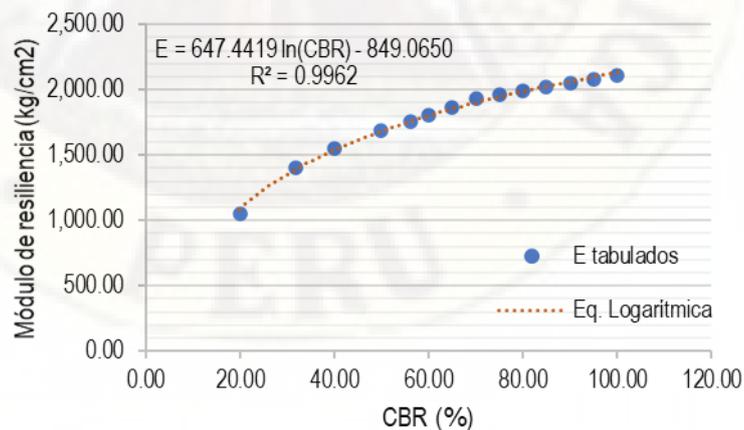
CBR (%)	E_tab (psi)	E_tab (kg/cm ²)	E_cal (psi)	E_cal (kg/cm ²)
100.00	30,000.00	2,109.21	30,450.58	2,140.89
95.00	29,574.26	2,079.28	29,971.41	2,107.20
90.00	29,148.50	2,049.34	29,466.33	2,071.69

85.00	28,722.24	2,019.37	28,932.37	2,034.15
80.00	28,296.02	1,989.41	28,366.03	1,994.33
75.00	27,869.73	1,959.44	27,763.12	1,951.94
70.00	27,450.74	1,929.98	27,118.61	1,906.63
65.00	26,587.96	1,869.32	26,426.31	1,857.95
60.00	25,732.81	1,809.20	25,678.57	1,805.38
56.24	25,000.00	1,757.67	25,074.00	1,762.88
50.00	24,009.78	1,688.05	23,975.36	1,685.63
40.00	22,128.46	1,555.78	21,890.81	1,539.08
31.70	20,000.00	1,406.14	19,718.26	1,386.33
20.00	15,000.00	1,054.60	15,415.59	1,083.82

Nota. E_tab = Módulo de resiliencia tabulado de los ábacos de la guía AASHTO93, E_cal = Módulo de resiliencia calculado con la ecuación de los ábacos de la guía AASHTO93. Adaptado del AASHTO Guide for design of pavement structures (1993).

La representación gráfica de los datos y la ecuación matemática que más se aproxima, es la siguiente:

Figura 4. Módulo de resiliencia y CBR para base granular



Siendo la siguiente relación logarítmica.

$$E = 647.4419 \ln(CBR) - 849.0650$$

donde:

CBR : CBR de la sub base (%)

E : módulo de resiliencia de base granular (kg/cm²)

Esta ecuación tiene una bondad de ajuste o coeficiente de determinación $R^2 = .996$, considerándose una correlación muy alta.

Coefficiente de drenaje

El coeficiente de drenaje “tiene por finalidad tomar en cuenta la influencia del drenaje en la estructura del pavimento” MTC (2014a, p. 141) de tal manera considerar los efectos de ciertos niveles de drenaje en la predicción del comportamiento del pavimento AASHTO (1996).

Para determinar este coeficiente se tiene en cuenta dos variables: la calidad del drenaje y la exposición a la saturación, para lo cual la AASHTO ha presentado dos tablas:

Tabla 4. Calidad del drenaje según el tiempo requerido para la remoción del agua

Calidad de drenaje	Tiempo de remoción del agua
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	No drena

Nota. Adaptado del AASHTO Guide for design of pavement structures (1993)

Tabla 5. Coeficiente de drenaje para base y sub base granular

Calidad de drenaje	P			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Nota. P=Porcentaje de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercano a la saturación. Adaptado del AASHTO Guide for design of pavement structures (1993).

2.2.2.3 Número estructural de la subrasante

Según Montejo (2006a) es la cuantificación numérica de la rigidez de la subrasante, el cual aporta a la rigidez total del pavimento y está definida por:

$$SNSG = 7.87 \log(CBR) - 2.16(\log(CBR))^2 - 3.63$$

Donde:

SNSG : Número estructural de la subrasante

CBR : CBR de la subrasante (%)

La subrasante se puede clasificar en función a su número estructural y el CBR.

Tabla 6. Clasificación de subrasante

Clasificación	Rango SNSG	Rango CBR
Regular	[0.476 - 0.819>	[6% - 10%>
Buena	[0.819- 1.163 >	[10% - 20%>
Muy buena	[1.163 – 1.292>	[20% - 30%>
Excelente	> 1.292	> 30%

2.2.3 Condición superficial del pavimento

La condición representa el estado en el que se encuentra el pavimento, en la práctica existe tres (03) formas de evaluar la condición de un pavimento:

Evaluación estructural (condición estructural del pavimento)

Consiste en “la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento – sub rasante en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio” (Silva, 2020, p.50). El procedimiento consiste en medir deflexiones reales en campo mediante la aplicación intencional de cargas, y se compara con deflexiones teóricas, y por medio de monogramas o numéricamente se puede calcular parámetros de módulo de resiliencia de la subrasante y la longitud característica.

Para el desarrollo de este tipo de evaluación se utilizan equipos como los siguientes:

- deflectómetro de impacto,
- deflectómetro de impacto liviano,
- viga Benkelman.

Evaluación funcional (condición funcional del pavimento)

Consiste en la determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI), que mide las irregularidades a lo largo del pavimento, así como la textura superficial, “estos parámetros funcionales son importantes porque reflejan el nivel de comodidad, seguridad y costos de operación vehicular para los usuarios de la vía” (MTC 2014b, p. 112).

Para el desarrollo de las evaluaciones funcionales se utilizan diversos equipos que son clasificados por su metodología y precisión, a continuación, se enlista algunos de los equipos más usados:

- perfilógrafos,

- perfilómetro láser,
- equipos tipo respuesta.

Evaluación superficial (condición superficial del pavimento)

Consiste en la determinación del índice de condición del pavimento (PCI), según la norma ASTM D6433-20: “Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos”.

Este tipo de evaluación no requiere equipos especiales para su aplicación, por tanto, permite monitorear constantemente el comportamiento del pavimento y plantear acciones de conservación.

Los materiales requeridos para la auscultación en campo son:

- formatos de auscultación (según la norma ASTM D6433-20),
- odómetro manual o wincha,
- regla o Cordel,
- escala o regla milimétrica,
- planos de distribución,
- materiales de seguridad (conos, chalecos retro reflectivos),
- cámara fotográfica y video.

El procedimiento según la American Society for Testing and Materials (ASTM, 2020) se realiza de la siguiente manera:

- dividir el pavimento en tramos y secciones,
- en cada sección se divide en unidades de muestra (cada unidad muestral deberá tener un área de 225 ± 90 m²),
- seleccionar las unidades muestrales a ser inspeccionadas,
- identificar individualmente cada unidad muestral y registrar la ubicación y tamaño,

Figura 6. Vista del software EvalPav Carreteras



2.2.3.1 Índice de condición del pavimento

El PCI es un indicador numérico de la condición superficial del pavimento, proporciona una medida de la condición presente del pavimento en un rango de 0 a 100 (siendo 0 la peor condición posible y 100 la mejor condición posible), la metodología se basa en las fallas observadas en la superficie del pavimento, proporciona información para determinar la necesidad de conservación, reparación y sus prioridades. Mediante un continuo monitoreo se puede establecer la tasa de deterioro del pavimento, que permite identificar prematuramente la necesidad de una rehabilitación mayor. El PCI brinda información sobre el comportamiento del pavimento para su validación o mejoramiento del diseño existente y procedimientos de conservación. (ASTM, 2020)

Grado de la condición del pavimento, es una descripción verbal de la condición superficial del pavimento como una función del valor de PCI.

Tabla 7. PCI, calificación y categoría de acción

Rango PCI		Calificación	Categoría de acción
Min.	Max.		
85	100	Excelente	Mantenimiento preventivo
70	85	Muy bueno	Mantenimiento preventivo rutinario
55	70	Bueno	Mantenimiento preventivo periódico
40	55	Regular	Mantenimiento correctivo
25	40	Malo	Rehabilitación - refuerzo estructural
10	25	Muy malo	Rehabilitación
0	10	Fallado	Reconstrucción

Nota. Adaptado de la norma ASTM D6433-20

2.2.3.2 Fallas en el pavimento

Según la ASTM (2020) se identifica diecinueve tipos de fallas, las cuales forman parte de la metodología del PCI, estas fallas son:

1. Piel de cocodrilo

Se ocasiona por fatiga (después de repetidas cargas de tráfico), por lo que ocurre únicamente en áreas sujetas a tráfico, forman piezas de hasta 0.50m., se mide en metros cuadrados (m^2).

2. Exudación

Se presenta como una película de material bituminoso sobre la superficie del pavimento que crea una superficie brillante, cristalina y reflexiva que generalmente se vuelve pegajosa. Se mide en metros cuadrados (m^2).

3. Agrietamiento en bloque

Las fisuras en bloque son fisuras interconectadas que dividen el pavimento en piezas rectangulares en tamaños desde aprox. 0.3 x 0.3m hasta 3 x 3m. Las fisuras en bloque son causadas principalmente por la contracción del

concreto asfáltico y la variación diaria de temperatura, que resulta en ciclos diarios de esfuerzo/deformación unitaria. Este tipo de falla no está asociado con la carga de tráfico. Se mide en metros cuadrados (m^2).

4. Abultamientos y hundimientos

Los abultamientos son desplazamientos pequeños, localizados y hacia arriba, en la superficie del pavimento. pueden ser causados por diversos factores, incluyendo: 1) Desplazamiento por congelación (crecimiento de lentes de hielo). 2) Infiltración y acumulación de material en una grieta en combinación con cargas de tráfico.

Los hundimientos son desplazamientos pequeños, bruscos y hacia abajo en la superficie del pavimento. Se mide en metros (m).

5. Corrugación

La corrugación, es una serie de cimas y depresiones cercanamente espaciadas a intervalos bastante regulares (generalmente menores a 3m) a lo largo del pavimento. Las cimas son perpendiculares al sentido del tránsito. Se mide en metros cuadrados (m^2).

6. Depresión

Las depresiones son áreas de superficie del pavimento localizadas con niveles de elevación ligeramente menores a aquellos que se encuentran alrededor del pavimento. Muchas veces, estas leves depresiones no son visibles sino después de la caída de la lluvia. Las depresiones son generadas por asentamientos de la subrasante o son el resultado de procedimientos constructivos defectuosos. Se mide en metros cuadrados (m^2).

7. Grieta de borde

Son grietas paralelas al borde externo del pavimento y generalmente se encuentran a una distancia de 0.3 a 0.5m del borde, esta falla es acelerada por las cargas de tráfico y su origen se puede atribuir al debilitamiento de

la base o la subrasante por congelamiento en zonas cercanas al borde del pavimento. El área entre la fisura y el borde del pavimento es clasificada como área de desprendimiento si esta se encuentra agrietada (a veces al punto en que los fragmentos son removidos). Se mide en metros (*m*).

8. Grieta de reflexión de junta

Este tipo de falla ocurre sólo en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre losas de concreto. Estas fisuras son causadas principalmente por el movimiento inducido por humedad o temperatura de las losas de concreto que se encuentran bajo la superficie del concreto asfáltico. Se mide en metros (*m*).

9. Desnivel carril /berma

El desnivel carril-berma es la diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la berma. Esta falla es provocada por la erosión de la berma, el asentamiento de la berma, o por la colocación de nuevas capas sin el debido ajuste del nivel de la berma. Se mide en metros (*m*).

10. Grietas longitudinales y transversales

Las fisuras longitudinales son paralelas al eje central del pavimento, pueden ser causadas por: 1) una junta de carril pobremente construida. 2) contracción de la superficie de CA. 3) una fisura de reflexión causada por un agrietamiento bajo la capa superficial.

Las fisuras transversales se extienden a través del ancho del pavimento formando aproximadamente ángulos rectos con el eje central del pavimento. Se mide en metros (*m*).

11. Parcheo

Un parche es un área del pavimento que ha sido reemplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un parche es considerado un defecto sin importar su comportamiento (un área parchada o área adyacente

generalmente no se comporta tan bien como lo hace una sección original de pavimento). Se mide en metros cuadrados (m^2).

12. Pulimiento de agregados

Esta falla es causada por repeticiones de carga de tráfico. El agregado pulido existe cuando una evaluación exhaustiva del pavimento revela que la porción de agregado que se extiende sobre el asfalto es muy pequeña o no existe aspereza o partículas de agregado angular que proporcionen buena resistencia al deslizamiento. Cuando el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia con las llantas de los vehículos se ha reducido considerablemente. Se mide en metros cuadrados (m^2).

13. Huecos (Baches)

Son pequeñas depresiones en la superficie del pavimento en forma de ollas que generalmente no superan los 750mm en diámetro. Generalmente los baches presentan bordes agudos y lados verticales cerca de la zona superior de la falla. Cuando los baches son causados por un fisuramiento tipo piel de cocodrilo de alta severidad, estos deben ser considerados como baches y no como peladura por intemperismo. Se mide en unidad (*und*).

14. Cruce de vía férrea

Los defectos de cruce de vía férrea son abultamientos o depresiones que se encuentran alrededor o entre los rieles, se mide en metros cuadrados (m^2).

15. Ahuellamiento

Un ahuellamiento es una depresión superficial en las huellas de las ruedas. El levantamiento del pavimento puede ocurrir a lo largo de los lados del ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o subrasante, generalmente es causado por la consolidación o movimiento lateral de los materiales debido a las cargas de tráfico. Se mide en metros cuadrados (m^2).

16. Desplazamiento

El desplazamiento es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento. Cuando el tráfico empuja contra el pavimento, se produce una onda corta y brusca en la superficie del pavimento. Se mide en metros cuadrados (m^2).

17. Grieta parabólica

Son fisuras en forma de media luna, generalmente se presentan en forma transversal a la dirección del tránsito, por acción del frenado de las ruedas o cambio de dirección. Se mide en metros cuadrados (m^2).

18. Hinchamiento

El hinchamiento se caracteriza por presentar una protuberancia hacia arriba en la superficie del pavimento, una onda larga y gradual de más de 3m de longitud. Un hinchamiento puede estar acompañado de fisuramiento superficial. Este tipo de falla generalmente es causada por el congelamiento del material de la subrasante o por la presencia de suelos expansivos. Se mide en metros cuadrados (m^2).

19. Desprendimiento de agregados

Las peladuras y los desprendimientos son el desgaste en la superficie del pavimento debido a la pérdida de ligante asfáltico o alquitrán y partículas del agregado removidas. Se mide en metros cuadrados (m^2).

2.2.4 Ciclo de vida del pavimento

Ciclo de vida fatal

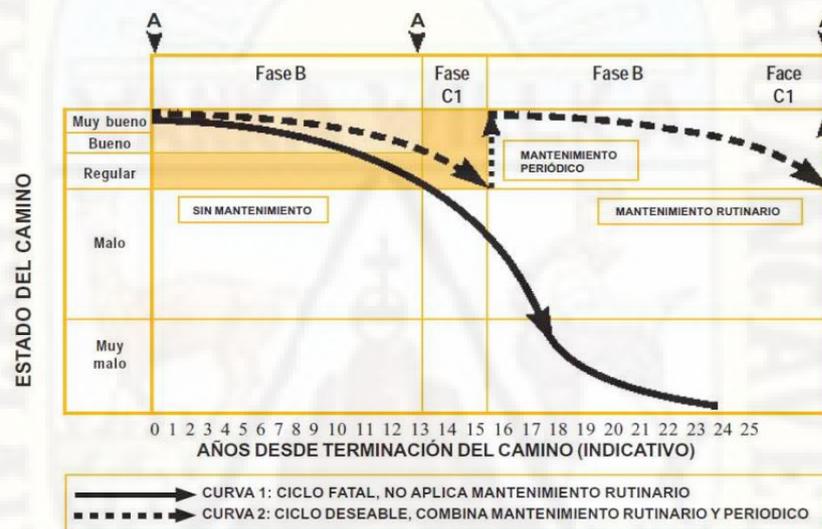
El pavimento, como cualquier infraestructura se deteriora durante el tiempo, este deterioro es una función de diferentes parámetros externos, así como condiciones del mismo. Rodríguez, (2011, pp. 10-11) describe “El deterioro de

un camino es un proceso que tiene diferentes etapas, desde una etapa inicial, con un deterioro lento y poco visible, pasando luego por una etapa crítica donde su estado deja de ser bueno, para deteriorarse rápidamente, al punto de la descomposición total”.

Ciclo de vida deseable

Este ciclo de vida se diferencia del anterior en la intervención preventiva y correctiva que se hace al pavimento a lo largo de su vida.

Figura 7. Ciclo de vida del pavimento



Nota. Fuente: Rodríguez (2011, p. 10)

Rodríguez, (2011, p. 13) explica.

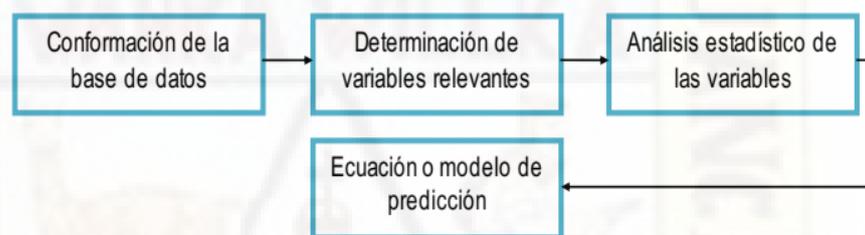
El ciclo se inicia con un camino nuevo o recientemente rehabilitado, éste se encontrará en un estado óptimo de servicio, pero el uso del camino va generando un desgaste “natural” del mismo, principalmente como consecuencia del flujo vehicular y de los factores climáticos, cuando el camino llega a un estado regular, se hace necesario realizar un mantenimiento de tipo periódico, es decir reponer la capa de rodamiento, de esta manera, se consigue que el camino se mantenga en un estado

óptimo de conservación, con los beneficios consiguientes para el transporte.

2.2.5 Modelos de deterioro

Los modelos de deterioro son expresiones matemáticas o algoritmos que permiten conocer la evolución de la condición de la estructura del pavimento a lo largo de los años, estos modelos se desarrollan “en base al conocimiento de sus condiciones en el momento de la puesta en servicio y de la realización del análisis” (Argueta y Castro, 2009 p. 91).

Figura 8. Diagrama de procedimiento para el desarrollo de un modelo.



Nota. Fuente: Argueta y Castro, (2009 p.91)

Utilidad de modelos de deterioro

Según Argueta y Castro, (2009 p. 91) contar con modelos calibrados, permiten realizar las siguientes actividades:

- estimar las condiciones del pavimento en un futuro,
- reconocer el tipo de acción de mantenimiento y rehabilitación, y el momento en el que se debe realizar,
- optimizar el programa de mantenimiento o de rehabilitación en uno o varios años,
- analizar el impacto de cierto programa de mantenimiento en las condiciones futuras del pavimento,
- conocer el costo de ciclo de vida del pavimento,

- retroalimentar el proceso de diseño del pavimento.

2.2.5.1 Clases y tipos de modelos

Para Robinson et al, (1998), citado por Argueta y Castro, (2009 p. 92), sostiene que los métodos de proyección de condiciones se pueden agrupar en tres categorías básicas.

Determinista: Donde la predicción del comportamiento se prevé como un valor exacto sobre la base de funciones matemáticas o de deterioro observado medido (Extrapolación lineal, regresión (empírico), distribución de probabilidad, mecanicista-empírico).

Probabilistas: Condición que se prevé como una función de probabilidad de una serie de condiciones (Markoviano).

Inteligentes: Denominaremos así a los modelos realizados en base a técnicas de inteligencia artificial, el cual fue objeto de estudio de la presente investigación.

2.2.6 Inteligencia artificial

Definir que es la inteligencia artificial es un tema complejo, está en constante evolución y no ha existido unanimidad entre las personas que se han dedicado a su estudio y análisis, sin embargo, citamos algunas definiciones. La primera definición data de los años 50's que definía como "subdisciplina del campo de la informática, que busca la creación de máquinas que pueda imitar comportamientos inteligentes", actualmente se usa una definición más detallada como "la capacidad de las máquinas para usar algoritmos, aprender de los datos y utilizar lo aprendido en la toma de decisiones tal y como lo haría un ser humano". (Rouhiainen, 2018, p. 17)

Los campos en la que una máquina pueda imitar comportamientos inteligentes son muchas: reconocimiento de voces, analizar patrones, caminar, entre otros; al respecto, la inteligencia artificial se clasifica en:

Inteligencia artificial débil: aquellas máquinas que únicamente pueden cumplir con un número limitado de tareas.

Inteligencia artificial fuerte: aquellas máquinas que pueden aplicarse a una gran variedad de actividades de diferentes tipos, que al día de hoy no se ha logrado.

Por lo tanto, actualmente existen subcategorías que corresponden a diferentes comportamientos inteligentes; por ejemplo, la capacidad de caminar o adaptarse al entorno (robótica), la capacidad de entender el lenguaje humano (procesamiento de lenguaje natural), la capacidad de reconocimiento de imágenes, entre otros. Sin embargo, también está la capacidad de aprender, conocida como el campo del aprendizaje automático (Machine Learning).

2.2.6.1 Aprendizaje automático (Machine Learning)

Campo de la inteligencia artificial que estudia como los “ordenadores pueden aprender mediante la aplicación de diversas técnicas” Amador (1996, p. 75), por lo tanto, es un componente nuclear que se conecta con todas las subcategorías de la inteligencia artificial. Gracias al machine learning se programa una máquina para que aprenda a realizar alguna actividad, lo contrario de programar para hacer dicha actividad.

Los sistemas de aprendizaje automático aprenden a combinar entradas para producir predicciones útiles de datos nunca antes vistos. La forma en la que una máquina aprende puede ser mediante aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado y aprendizaje reforzado.

Dentro de este campo existen diferentes técnicas de aprendizaje para diferentes fines, entre las cuales tenemos técnicas de regresión, clasificación y las redes neuronales.

2.2.6.2 Redes neuronales artificiales - RNAs

Es una técnica de aprendizaje automático que permite el aprendizaje de manera jerarquizada o por niveles, conformadas por capas en las que cada capa aprende información más profunda.

Las RNAs han sido consideradas como herramientas computacionales particularmente adecuadas para la solución de problemas tanto de clasificación como de regresión en análisis multivariados. En el primer caso, tienen la habilidad de reconocer patrones y extraer características esenciales a partir de un conjunto de datos de entrada con información relevante sobre un sistema o fenómeno que se quiere analizar.

Para problemas de regresión, las RNAs son útiles en la búsqueda de relaciones complejas entre variables o patrones de entrada y de salida; pueden aprender con base en la experiencia y el conocimiento previo para estimar o pronosticar comportamientos de manera aproximada. (Beltrán, 2012, p. 49).

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis general

La rigidez del pavimento influye significativamente en la condición superficial del pavimento, utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B.

2.3.2 Hipótesis específicas

- El número estructural del pavimento construido influye significativamente en la condición superficial del pavimento, utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B.

- El número estructural de la subrasante influye significativamente en la condición superficial del pavimento, utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B.

2.4 Definición de términos

- **Pavimento**

Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito.

- **Rigidez del pavimento**

Capacidad estructural de resistir bajo una combinación dada por el soporte de suelo, tránsito, serviciabilidad final y las condiciones ambientales.

- **Número estructural corregido del pavimento**

Indicador de la rigidez del pavimento definido por la combinación del número estructural construido del pavimento y el número estructural de la subrasante.

- **Número estructural construido del pavimento**

Cuantificación numérica de la rigidez de las capas que conforman el pavimento flexible construido (carpeta asfáltica, base y sub base).

- **Número estructural de la subrasante**

Cuantificación numérica de la rigidez de la subrasante o aporte de rigidez de la subrasante al pavimento.

- **Condición superficial del pavimento**

Condición en la que se encuentra el pavimento, producto de una evaluación superficial mediante el método del PCI.

- **Índice de condición del pavimento**

Indicador numérico de la condición superficial del pavimento, proporciona una medida de la condición presente del pavimento en un rango de 0 a 100 (siendo 0 la peor condición posible y 100 la mejor condición posible).

- **Evaluación superficial de pavimento**

Determinación de la condición del pavimento mediante el índice de condición del pavimento (PCI), según la norma ASTM D6433-20: “Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos”.

- **Inteligencia artificial**

Capacidad de las máquinas para usar algoritmos, aprender de los datos y utilizar lo aprendido en la toma de decisiones tal y como lo haría un ser humano.

- **Aprendizaje automático**

Campo de la inteligencia artificial que estudia la aplicación de diferentes técnicas para enseñar a aprender a un ordenador.

- **Redes neuronales artificiales**

Es una técnica de aprendizaje automático que permite el aprendizaje de manera jerarquizada o por niveles, conformadas por capas en las que cada capa aprende información más profunda.

2.5 Definición operativa de variables

La presente investigación analizará las siguientes variables:

Tabla 8. Definición operacional de variables

Variable	Dimensiones	Indicador	Tipo	Escala
----------	-------------	-----------	------	--------

V.I.:	Número estructural corregido del pavimento	SNC	Cuantitativa	Continua
Rigidez del pavimento	Número estructural construido del pavimento	SN*	Cuantitativa	Continua
	Número estructural de la subrasante	SNSG	Cuantitativa	Continua
V.D.:				
Condición superficial del pavimento	Índice de condición del pavimento	PCI	Cuantitativa	Discreta



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es APLICADA, pues se caracteriza por la “utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, [...] que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad [...] orientados a resolver problemas de la vida cotidiana” (Vargas, 2009, p. 159). En la presente investigación aplicaremos conocimientos existentes, tales como normas, métodos y técnicas para realizar el estudio.

3.2 Nivel de investigación

Nivel explicativo, según Hernández, Fernández y Baptista, (2010, p. 89) “se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables”. En la presente investigación se estudiará cada variable, su correlación y como afecta el cambio de la variable independiente en la dependiente.

3.3 Método de investigación

La investigación se realiza como método científico, según Sánchez, Reyes y Mejía, (2018, p. 89) “El método científico consta de cuatro etapas fundamentales: planteamiento del problema, formulación de posibles hipótesis, puestas a prueba de las hipótesis y resultados, y derivación de las consecuencias.”

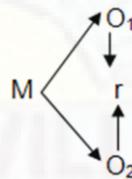
3.4 Diseño de investigación

Según Hernández et al. (2010, p. 149) define la investigación no experimental como aquella que:

Se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos.

Diseño general: no experimental - Ex post facto

Diseño específico: transversal correlacional-causal



Dónde:

M : muestra

O_1 : observación de variable independiente

O_2 : observación de variable dependiente

r : relación entre variables

Se realizarán la toma de datos de las variables en estudio, evaluar cada variable con la estadística descriptiva y con un test relacional evaluar la existencia de relación.

3.5 Población y muestra

3.5.1 Población

Vía nacional PE-26B. Según López (2004, p. 69) “Es el conjunto de personas u objetos de los que se desea conocer algo en una investigación”.

3.5.2 Muestra

70 unidades muestrales cada una de 40 metros de largo y 6.60 metros de ancho; a lo largo del tramo Huancavelica – Lircay, de la vía nacional PE-26B.

Según López (2004, p. 69) “Es un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación”.

3.5.3 Muestreo

Muestreo no probabilístico, mediante una selección controlada.

Según Hernández et al. (2010, p. 190) este tipo de muestreo tiene como ventaja en la “utilidad para determinado diseño de estudio que requiere no tanto una “representatividad” de elementos de una población, sino una cuidadosa y controlada elección de casos con ciertas características especificadas”.

La selección de la unidad muestral se realizó según lo establecido en la norma ASTM D-6433-2020.

3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1 Técnicas

Técnicas de recolección de datos para la variable independiente:

- Mediante la revisión de información de los estudios de mecánica de suelos y pavimentos del estudio definitivo del proyecto.

Técnicas de recolección de datos para la variable dependiente:

- Auscultaciones del deterioro del pavimento (PCI), mediante el formato establecido para pavimentos flexibles en la norma ASTM D-6433-20.
- Procesamiento de información de las auscultaciones en campo para determinar los datos de PCI, mediante la metodología en la norma ASTM D-6433-20.

3.6.2 Instrumentos

Instrumentos de recolección de datos para la variable independiente:

- Certificados de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.
- Informe de pavimentos del estudio definitivo.

Instrumentos de recolección de datos para la variable dependiente:

- Formato de auscultación de inventario de condición del pavimento
- Software EvalPav del MTC-PERÚ para el procesamiento de información del PCI.

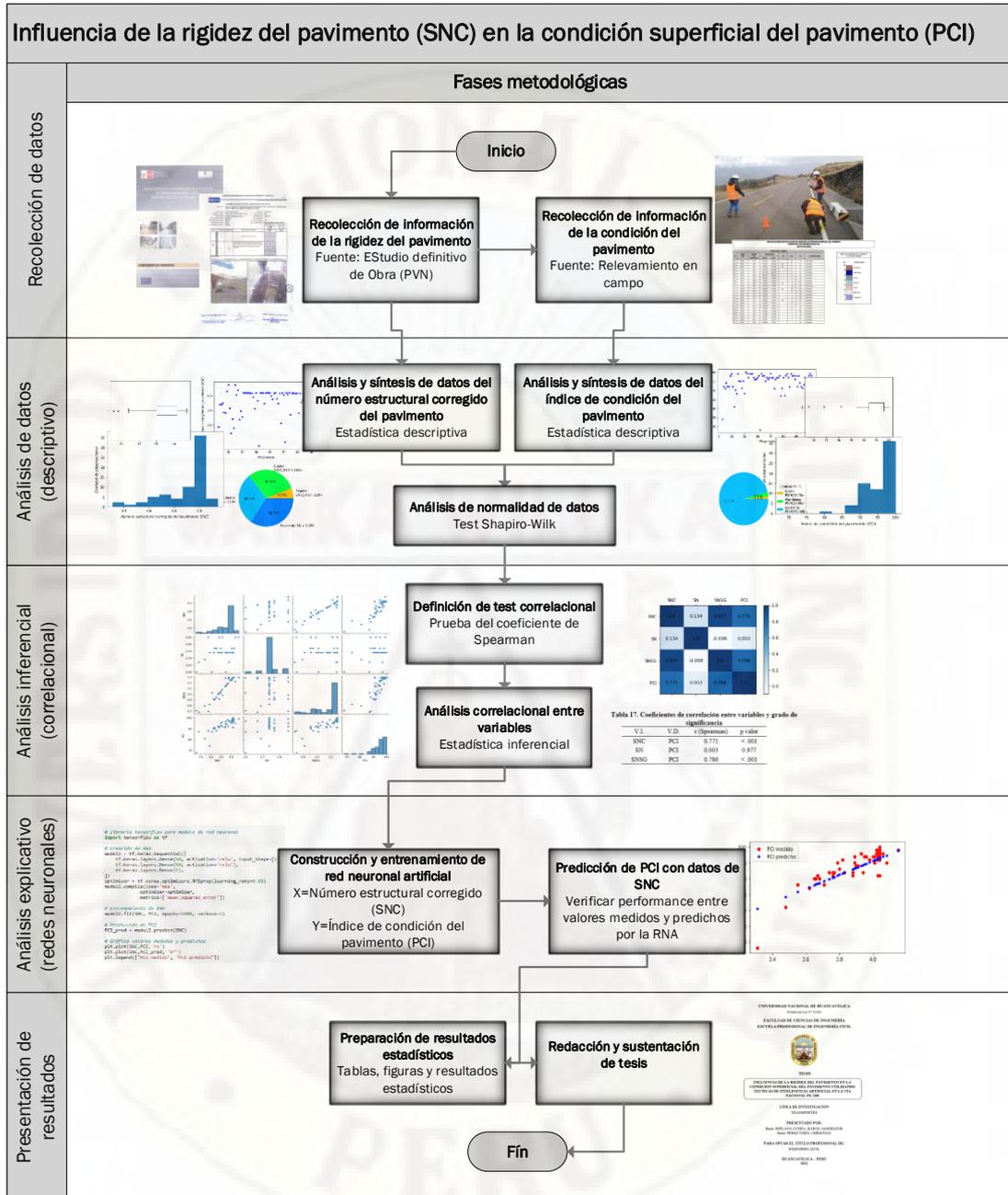
3.7 Técnicas de procesamiento de análisis datos

- Técnica de estadística descriptiva: para realizar el análisis de datos de cada variable.
- Técnica de estadística inferencial: para analizar e interpretar mediante pruebas estadísticas las hipótesis planteadas.
- Técnica de inteligencia artificial mediante redes neuronales: para determinar la influencia de la variable independiente sobre la dependiente, mediante la construcción de una red neuronal artificial.

Procedimiento (fases metodológicas)

- Primera etapa. Recolección de información de la rigidez del pavimento.
- Segunda etapa. Exploración en campo – muestreo no probabilístico.
- Tercera etapa. Recolección de información del índice de condición del pavimento.
- Cuarto etapa. Análisis descriptivo de datos de cada variable.
- Quinta etapa. Análisis correlacional entre los datos de las variables.
- Sexta etapa. Diseño, construcción, entrenamiento y evaluación del modelo de IA.
- Séptima etapa. Análisis de influencia de la rigidez en la condición del pavimento.
- Octava etapa. Discusión y validación de los resultados obtenidos.
- Novena etapa. Presentación de resultados.

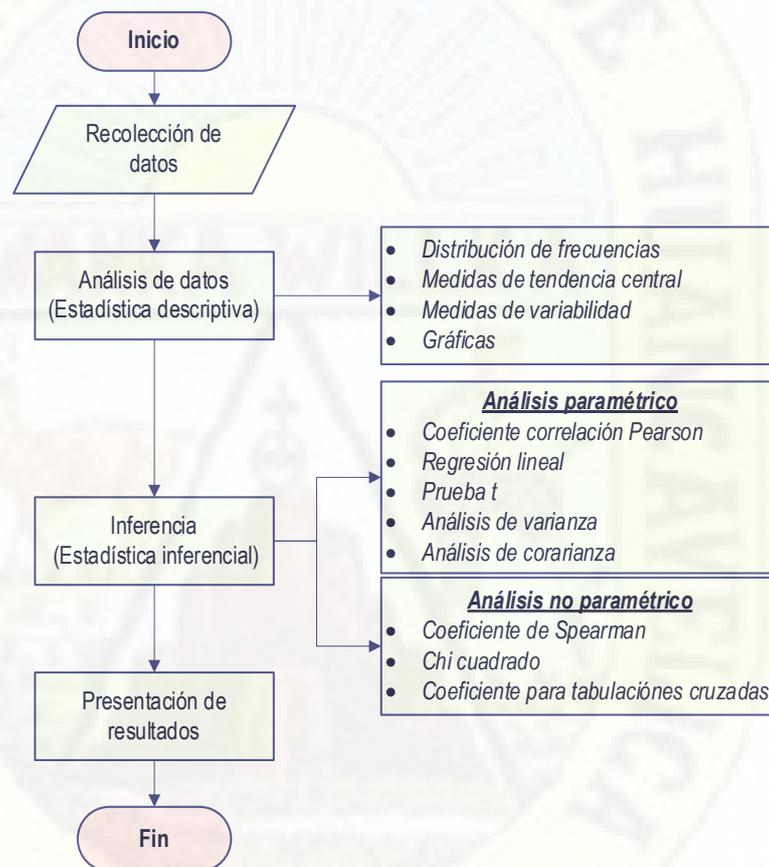
Figura 9. Fases metodológicas de la investigación



3.8 Descripción de la prueba de hipótesis

Para la aplicación de las pruebas de hipótesis se debe tener en cuenta el tipo de datos con la que se cuenta. Hernández et al. (2010) presentaron un diagrama para el procedimiento del análisis estadístico de los datos cuantitativos.

Figura 10. Diagrama para el análisis de datos cuantitativos



Nota. Adaptado de Metodología de la investigación Hernández et al (2010)

Respecto a la aplicación de tests paramétricos o no paramétricos “si la variable es continua con distribución normal, se podrán aplicar técnicas paramétricas. Si es una variable discreta o continua no normal, solo son aplicables técnicas no paramétricas pues aplicar las primeras arrojaría resultados de dudosa validez”. (Oseda, 2010 p. 181)

Pruebas de función de distribución empírica (EDF)

Nornadiah y Yap (2011) explica que la idea de las pruebas EDF para probar la normalidad de los datos es comparar la función de distribución empírica que se estima en base a los datos con la función de distribución acumulada (CDF) de distribución normal para ver si existe un buen acuerdo entre ellos.

Entre las pruebas EDF tenemos: Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, Anderson-Darling, Cramer-von Mises, Shapiro-Wilk.

La elección de la prueba se basó en las investigaciones realizadas por Nornadiah y Yap (2011, p. 32) en el que compara cuatro pruebas EDF, llegando a la conclusión que “entre las cuatro pruebas consideradas, la prueba de Shapiro-Wilk es la prueba más poderosa para todos los tipos de distribución y tamaños de muestra, mientras que la prueba de Kolmogorov-Smirnov es la menos poderosa”, así como Cabrera, Francisco, Zanazzi y Boaglio (2017) quienes concluyen que “dentro de las aproximaciones estudiadas, la prueba de Shapiro-Wilk, modificada por Rahman y Govindarajulu (1997), alcanza los mejores niveles de potencia” (p. 51)

La regla para identificar si los datos pertenecen a una distribución normal es si $p \geq .05$ entonces los datos pertenecen a una distribución normal y se debe aplicar un test paramétrico, caso contrario, si $p < .05$, entonces los datos no pertenecen a una distribución normal y debe usarse algún test no paramétrico.

En la presente investigación se realizó la recolección de los datos de las variables en estudio, al realizar el análisis de datos mediante el Test de Shapiro-Wilk se identificó que no se ajustan a la distribución normal, con un $p < .001$; por lo tanto, se realizó un análisis no paramétrico.

Entre los métodos o pruebas estadísticas no paramétricas tenemos:

Chi cuadrada.

Prueba estadística para evaluar hipótesis acerca de la relación entre dos variables categóricas.

Coefficiente de correlación e independencia para tabulaciones cruzadas

Para evaluar correlaciones a partir de datos ordenados en tablas de contingencia o tabulación cruzada. Existen diferentes coeficientes para evaluar en función a la cantidad de variables y tipo de datos.

Coefficiente de correlación Spearman

Hernández et al. (2010) explica que el coeficiente rho de Spearman, simbolizado como r_s , es una medida de correlación para variables en un nivel de medición ordinal, de tal modo que los datos pueden ordenarse por rangos. El coeficiente varía de -1.0 (correlación negativa perfecta) a $+1.0$ (correlación positiva perfecta), considerando el 0 como ausencia de correlación entre las variables jerarquizadas. El coeficiente de Spearman rho parece ser una aproximación cercana al coeficiente r de Pearson, aplicado cuando los datos no perteneces a una distribución normal. También se interpreta su significancia igual que Pearson y otros valores estadísticos.

Por lo tanto, la prueba de hipótesis de correlación en la presente investigación se aplicará el método del coeficiente de correlación Spearman.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Presentación e interpretación de datos

Se recolectaron 70 datos de cada variable y dimensión de estudio en la presente investigación, procedió a analizarse individualmente gracias a la estadística descriptiva, para posteriormente aplicar la estadística inferencial y evaluar la correspondencia entre las variables.

4.1.1 Rigidez del pavimento (variable independiente)

La rigidez del pavimento está representada por el número estructural corregido del pavimento, conformado por el número estructural construido del pavimento y el número estructural de la subrasante.

4.1.1.1 Número estructural corregido del pavimento

Los datos obtenidos del número estructural corregido del pavimento:

Tabla 9. Datos del número estructural corregido del pavimento

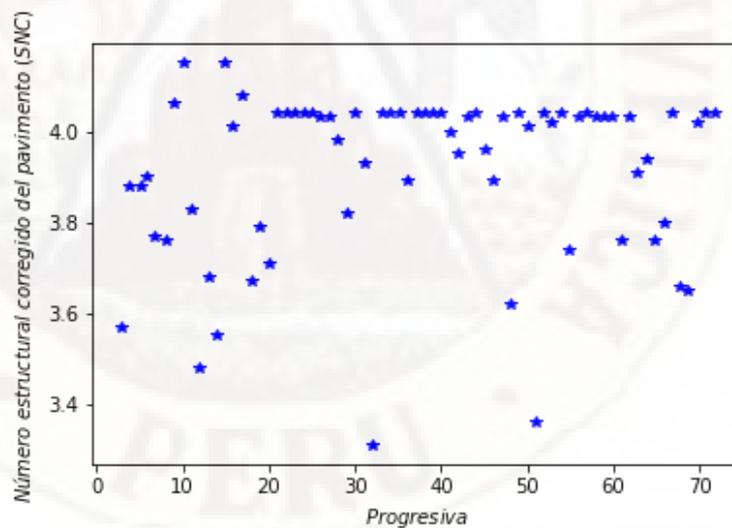
UM	Prog	SNSG	SN*	SNC
UM-01	2+940	0.82	2.75	3.57
UM-02	3+835	1.13	2.75	3.88
UM-03	4+810	1.14	2.75	3.88
UM-04	5+785	1.15	2.75	3.90
UM-05	6+765	0.91	2.85	3.77
UM-06	8+030	0.91	2.85	3.76
UM-07	9+050	1.29	2.77	4.06
UM-08	10+055	1.29	2.85	4.15
UM-09	10+995	0.98	2.85	3.83
UM-10	11+990	0.79	2.69	3.48
UM-11	12+985	0.91	2.77	3.68
UM-12	13+940	0.70	2.85	3.55
UM-13	14+900	1.29	2.85	4.15
UM-14	15+790	1.24	2.77	4.01

UM-15	16+800	1.22	2.85	4.08
UM-16	17+995	0.90	2.77	3.67
UM-17	18+995	1.02	2.77	3.79
UM-18	20+010	0.94	2.77	3.71
UM-19	21+010	1.29	2.75	4.04
UM-20	22+000	1.29	2.75	4.04
UM-21	22+995	1.29	2.75	4.04
UM-22	23+995	1.29	2.75	4.04
UM-23	25+100	1.29	2.75	4.04
UM-24	26+000	1.28	2.75	4.03
UM-25	27+000	1.28	2.75	4.03
UM-26	28+000	1.24	2.75	3.98
UM-27	29+020	1.08	2.75	3.82
UM-28	30+020	1.29	2.75	4.04
UM-29	31+020	1.18	2.75	3.93
UM-30	32+020	0.71	2.60	3.31
UM-31	33+020	1.29	2.75	4.04
UM-32	34+045	1.29	2.75	4.04
UM-33	35+045	1.29	2.75	4.04
UM-34	36+040	1.14	2.75	3.89
UM-35	37+140	1.29	2.75	4.04
UM-36	38+015	1.29	2.75	4.04
UM-37	39+005	1.29	2.75	4.04
UM-38	40+005	1.29	2.75	4.04
UM-39	41+005	1.26	2.75	4.00
UM-40	42+005	1.27	2.67	3.95
UM-41	43+005	1.28	2.75	4.03
UM-42	44+040	1.29	2.75	4.04
UM-43	45+000	1.29	2.67	3.96
UM-44	45+990	1.28	2.60	3.89
UM-45	47+025	1.28	2.75	4.03
UM-46	48+020	1.02	2.60	3.62
UM-47	49+010	1.29	2.75	4.04
UM-48	49+990	1.26	2.75	4.01
UM-49	51+060	0.68	2.67	3.36
UM-50	51+890	1.29	2.75	4.04
UM-51	52+880	1.27	2.75	4.02
UM-52	53+845	1.29	2.75	4.04
UM-53	54+880	0.99	2.75	3.74
UM-54	55+840	1.28	2.75	4.03
UM-55	56+840	1.29	2.75	4.04
UM-56	57+880	1.28	2.75	4.03
UM-57	58+880	1.28	2.75	4.03

UM-58	59+840	1.28	2.75	4.03
UM-59	60+835	1.01	2.75	3.76
UM-60	61+790	1.28	2.75	4.03
UM-61	62+760	1.16	2.75	3.91
UM-62	63+880	1.19	2.75	3.94
UM-63	64+840	1.02	2.75	3.76
UM-64	65+830	1.05	2.75	3.80
UM-65	66+720	1.29	2.75	4.04
UM-66	67+800	0.91	2.75	3.66
UM-67	68+660	0.91	2.75	3.65
UM-68	69+700	1.27	2.75	4.02
UM-69	70+680	1.29	2.75	4.04
UM-70	71+710	1.29	2.75	4.04

Nota. UM = Unidad muestral, SNSG=Número estructural de la subrasante, SN*=Número estructural construido del pavimento, SNC=Número estructural corregido del pavimento, fuente: Estudio definitivo de la carretera Huancavelica - Lircay, HOB Consultores S.A. (2013).

Figura 11. Datos del número estructural corregido del pavimento



Aplicando las medidas de tendencia central, se encontró lo siguiente:

- media aritmética : 3.914
- moda : 4.040
- mediana : 4.020

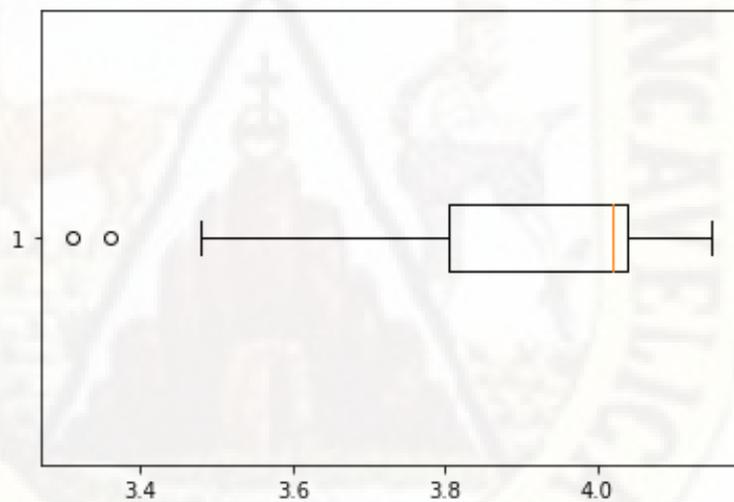
Respecto a las medidas de posición (Cuartiles)

- mínimo (P0%) : 3.310
- Q1 (P25%) : 3.805
- Q2 (P50%) : 4.020
- Q3 (P75%) : 4.040
- máximo (P100%) : 4.150
- rango intercuartil (IQR) : 0.235

Analizando la dispersión de los datos:

- recorrido : 0.840
- varianza (s^2) : 0.033
- desviación típica (s) : 0.184
- coef. de variación: (c.v.) : .047

Figura 12. Diagrama de caja y bigotes del número estructural corregido



Nota. Se observa concentración de los datos en valores mayores con algunas observaciones menores al percentil 10%.

Figura 13. Histograma del número estructural corregido



Nota. En concordancia al diagrama de caja y bigotes se observa concentración de datos con valores mayores, con algunos datos con valores menores.

Las observaciones realizadas del número estructural corregido del pavimento han demostrado una concentración de datos en valores mayores.

A fin de determinar la normalidad de los datos se realiza la prueba de normalidad Shapiro-Wilks, dando un p valor < .001, por lo que se afirma que los datos no se ajustan a una curva de normalidad, por lo tanto, estamos tratando con datos no paramétricos.

4.1.1.2 Número estructural construido del pavimento

Los datos obtenidos del número estructural construido del pavimento:

Tabla 10. Datos del número estructural construido del pavimento

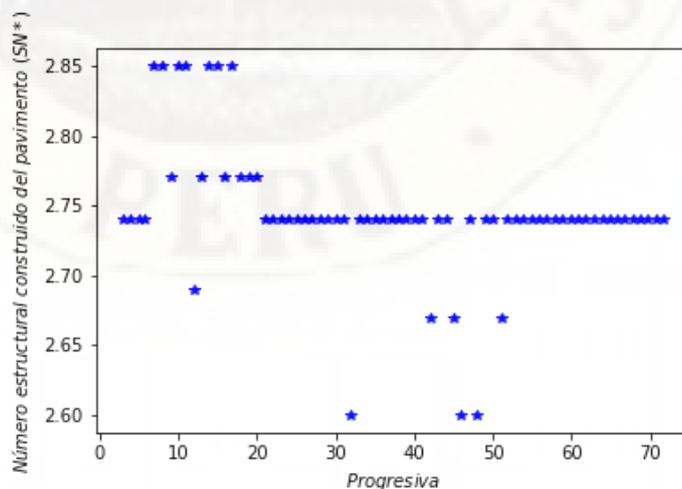
UM	Prog.	SN3	SN2	SN1	SN*
UM01	2+940	0.64	0.78	1.32	2.74
UM02	3+835	0.64	0.78	1.32	2.74
UM03	4+810	0.64	0.78	1.32	2.74
UM04	5+785	0.64	0.78	1.32	2.74
UM05	6+765	0.75	0.78	1.32	2.85
UM06	8+030	0.75	0.78	1.32	2.85
UM07	9+050	0.71	0.74	1.32	2.77

UM08	10+055	0.75	0.78	1.32	2.85
UM09	10+995	0.75	0.78	1.32	2.85
UM10	11+990	0.63	0.74	1.32	2.69
UM11	12+985	0.71	0.74	1.32	2.77
UM12	13+940	0.75	0.78	1.32	2.85
UM13	14+900	0.75	0.78	1.32	2.85
UM14	15+790	0.71	0.74	1.32	2.77
UM15	16+800	0.75	0.78	1.32	2.85
UM16	17+995	0.71	0.74	1.32	2.77
UM17	18+995	0.71	0.74	1.32	2.77
UM18	20+010	0.71	0.74	1.32	2.77
UM19	21+010	0.64	0.78	1.32	2.74
UM20	22+000	0.64	0.78	1.32	2.74
UM21	22+995	0.64	0.78	1.32	2.74
UM22	23+995	0.64	0.78	1.32	2.74
UM23	25+100	0.64	0.78	1.32	2.74
UM24	26+000	0.64	0.78	1.32	2.74
UM25	27+000	0.64	0.78	1.32	2.74
UM26	28+000	0.64	0.78	1.32	2.74
UM27	29+020	0.64	0.78	1.32	2.74
UM28	30+020	0.64	0.78	1.32	2.74
UM29	31+020	0.64	0.78	1.32	2.74
UM30	32+020	0.54	0.74	1.32	2.6
UM31	33+020	0.64	0.78	1.32	2.74
UM32	34+045	0.64	0.78	1.32	2.74
UM33	35+045	0.64	0.78	1.32	2.74
UM34	36+040	0.64	0.78	1.32	2.74
UM35	37+140	0.64	0.78	1.32	2.74
UM36	38+015	0.64	0.78	1.32	2.74
UM37	39+005	0.64	0.78	1.32	2.74
UM38	40+005	0.64	0.78	1.32	2.74
UM39	41+005	0.64	0.78	1.32	2.74
UM40	42+005	0.61	0.74	1.32	2.67
UM41	43+005	0.64	0.78	1.32	2.74
UM42	44+040	0.64	0.78	1.32	2.74
UM43	45+000	0.61	0.74	1.32	2.67
UM44	45+990	0.54	0.74	1.32	2.6
UM45	47+025	0.64	0.78	1.32	2.74
UM46	48+020	0.54	0.74	1.32	2.6
UM47	49+010	0.64	0.78	1.32	2.74
UM48	49+990	0.64	0.78	1.32	2.74
UM49	51+060	0.61	0.74	1.32	2.67
UM50	51+890	0.64	0.78	1.32	2.74

UM51	52+880	0.64	0.78	1.32	2.74
UM52	53+845	0.64	0.78	1.32	2.74
UM53	54+880	0.64	0.78	1.32	2.74
UM54	55+840	0.64	0.78	1.32	2.74
UM55	56+840	0.64	0.78	1.32	2.74
UM56	57+880	0.64	0.78	1.32	2.74
UM57	58+880	0.64	0.78	1.32	2.74
UM58	59+840	0.64	0.78	1.32	2.74
UM59	60+835	0.64	0.78	1.32	2.74
UM60	61+790	0.64	0.78	1.32	2.74
UM61	62+760	0.64	0.78	1.32	2.74
UM62	63+880	0.64	0.78	1.32	2.74
UM63	64+840	0.64	0.78	1.32	2.74
UM64	65+830	0.64	0.78	1.32	2.74
UM65	66+720	0.64	0.78	1.32	2.74
UM66	67+800	0.64	0.78	1.32	2.74
UM67	68+660	0.64	0.78	1.32	2.74
UM68	69+700	0.64	0.78	1.32	2.74
UM69	70+680	0.64	0.78	1.32	2.74
UM70	71+710	0.64	0.78	1.32	2.74

Nota. UM = Unidad muestral, SN3=Número estructural de la sub base, SN2=Número estructural de la base granular, SN1=Número estructural de la carpeta asfáltica, SN*=Número estructural construido del pavimento, fuente: Estudio definitivo de la carretera Huancavelica - Lircay, HOB Consultores S.A. (2013).

Figura 14. Datos del número estructural construido del pavimento



Aplicando las medidas de tendencia central, se encontró lo siguiente:

- media aritmética : 2.744
- moda : 2.74
- mediana : 2.74

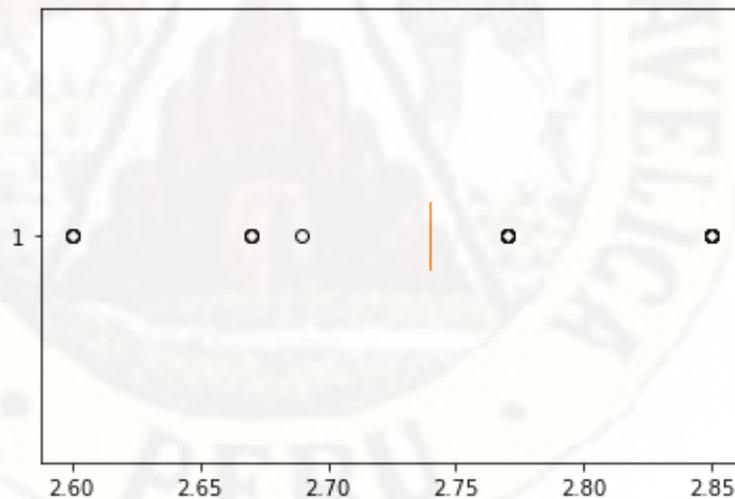
Respecto a las medidas de posición (Cuartiles)

- mínimo (P0%) : 2.60
- Q1 (P25%) : 2.74
- Q2 (P50%) : 2.74
- Q3 (P75%) : 2.74
- máximo (P100%) : 2.85
- rango intercuartil (IQR) : 0.00

Analizando la dispersión de los datos:

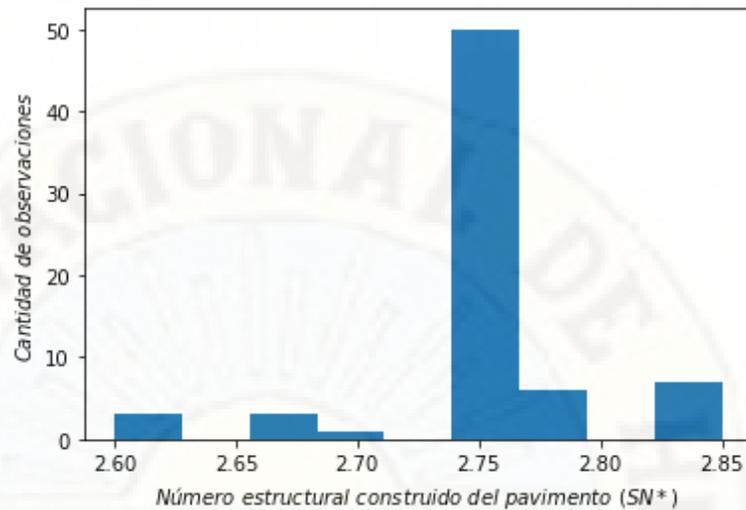
- recorrido : 0.25
- varianza (S^2) : 0.002
- desviación típica (S) : 0.049
- coef. de variación: (C.V.) : .018

Figura 15. Diagrama de caja y bigotes del número estructural construido



Nota. Se observa concentración de los datos en el rango intercuartil con algunas observaciones menores al percentil 10% y mayores al percentil 90%.

Figura 16. Histograma del número estructural construido



Nota. En concordancia al diagrama de caja y bigotes se observa concentración de valores con algunos datos menores y mayores.

Las observaciones realizadas del número estructural del pavimento han demostrado una concentración de datos, esto se debe a que la estructura del pavimento no varía en cada progresiva, sino se mantiene constante en gran parte de la vía, los datos con variaciones se deben al coeficiente de drenaje, que disminuye en algunas unidades muestrales.

A fin de determinar la normalidad de los datos se realiza la prueba de normalidad Shapiro-Wilks, dando un p valor $< .001$, por lo que se afirma que los datos no se ajustan a una curva de normalidad, por lo tanto, estamos tratando con datos no paramétricos.

4.1.1.3 Número estructural de la subrasante

Los datos obtenidos del número estructural de la subrasante:

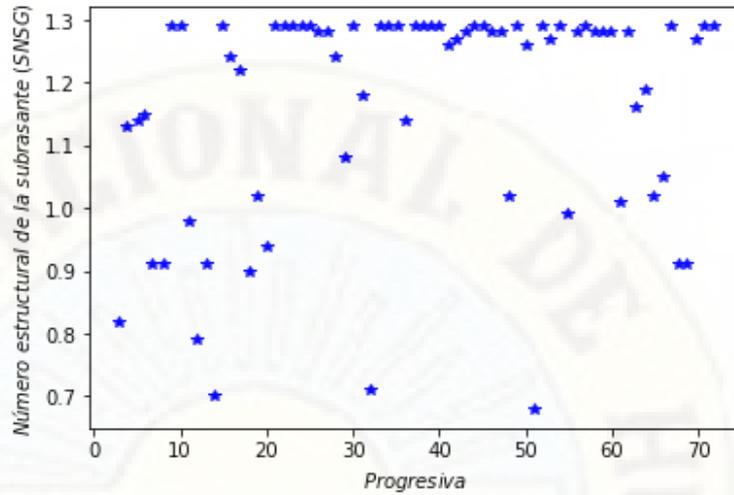
Tabla 11. Datos del número estructural de la subrasante

UM	Prog.	Subrasante			
		CBR	Clasificación	E (kg/cm ²)	SNSG
UM01	2+940	10.10	Buena	657.85	0.82
UM02	3+835	18.40	Buena	994.87	1.13
UM03	4+810	18.70	Buena	1006.03	1.14
UM04	5+785	19.60	Buena	1039.17	1.15
UM05	6+765	11.80	Buena	732.35	0.91
UM06	8+030	11.60	Buena	723.77	0.91
UM07	9+050	29.50	Muy Buena	1377.64	1.29
UM08	10+055	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM09	10+995	13.30	Buena	795.35	0.98
UM10	11+990	9.50	Regular	630.65	0.79
UM11	12+985	11.60	Buena	723.77	0.91
UM12	13+940	8.30	Regular	574.57	0.70
UM13	14+900	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM14	15+790	24.60	Muy Buena	1215.45	1.24
UM15	16+800	23.60	Muy Buena	1181.16	1.22
UM16	17+995	11.40	Buena	715.14	0.90
UM17	18+995	14.30	Buena	836.12	1.02
UM18	20+010	12.30	Buena	753.61	0.94
UM19	21+010	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM20	22+000	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM21	22+995	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM22	23+995	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM23	25+100	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM24	26+000	29.00	Muy Buena	1361.50	1.28
UM25	27+000	29.00	Muy Buena	1361.50	1.28
UM26	28+000	24.60	Muy Buena	1215.45	1.24
UM27	29+020	16.30	Buena	915.11	1.08
UM28	30+020	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM29	31+020	20.90	Muy Buena	1086.23	1.18
UM30	32+020	8.40	Regular	579.34	0.71
UM31	33+020	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM32	34+045	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM33	35+045	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM34	36+040	18.90	Buena	1013.44	1.14
UM35	37+140	30.00	Excelente	1393.70	1.29

UM36	38+015	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM37	39+005	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM38	40+005	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM39	41+005	26.30	Muy Buena	1272.77	1.26
UM40	42+005	28.00	Muy Buena	1328.95	1.27
UM41	43+005	29.00	Muy Buena	1361.50	1.28
UM42	44+040	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM43	45+000	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM44	45+990	29.00	Muy Buena	1361.50	1.28
UM45	47+025	29.00	Muy Buena	1361.50	1.28
UM46	48+020	14.40	Buena	840.15	1.02
UM47	49+010	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM48	49+990	26.80	Muy Buena	1289.41	1.26
UM49	51+060	8.10	Regular	564.99	0.68
UM50	51+890	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM51	52+880	28.00	Muy Buena	1328.95	1.27
UM52	53+845	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM53	54+880	13.60	Buena	807.67	0.99
UM54	55+840	29.00	Muy Buena	1361.50	1.28
UM55	56+840	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM56	57+880	29.00	Muy Buena	1361.50	1.28
UM57	58+880	29.00	Muy Buena	1361.50	1.28
UM58	59+840	29.00	Muy Buena	1361.50	1.28
UM59	60+835	14.20	Buena	832.08	1.01
UM60	61+790	29.00	Muy Buena	1361.50	1.28
UM61	62+760	19.80	Buena	1046.47	1.16
UM62	63+880	21.70	Muy Buena	1114.73	1.19
UM63	64+840	14.30	Buena	836.12	1.02
UM64	65+830	15.30	Buena	876.01	1.05
UM65	66+720	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM66	67+800	11.70	Buena	728.06	0.91
UM67	68+660	11.60	Buena	723.77	0.91
UM68	69+700	28.00	Muy Buena	1328.95	1.27
UM69	70+680	30.00	Excelente	1393.70	1.29
UM70	71+710	30.00	Excelente	1393.70	1.29

Nota. UM = Unidad muestral, CBR=CBR de la subrasante, SNSG=Número estructural de la subrasante, fuente: Estudio definitivo de la carretera Huancavelica - Lircay, HOB Consultores S.A. (2013).

Figura 17. Datos de número estructural de la subrasante

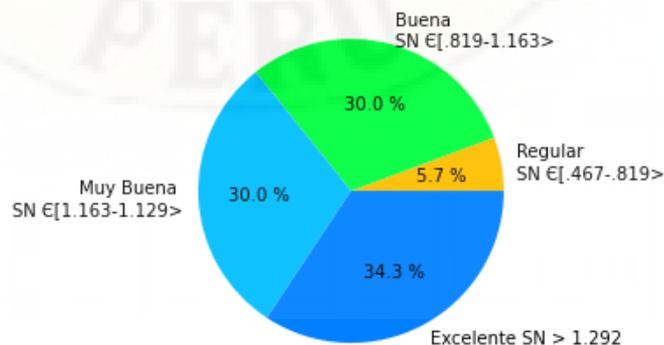


Teniendo en cuenta la clasificación de la subrasante, se ha encontrado el 5.7% de observaciones con clasificación regular y una distribución casi constante entre las categorías de buena, muy buena y excelente con un 30%,30% y 34.3% respectivamente.

Tabla 12. Clasificación de subrasante

Clasificación	Observaciones	Porcentaje	Rango SNSG	Rango CBR
Regular	4	5.7 %	[0.48 - 0.82>	[6% - 10%>
Buena	21	30.0 %	[0.82- 1.16 >	[10% - 20%>
Muy buena	21	30.0 %	[1.16 – 1.29>	[20% - 30%>
Excelente	24	34.3 %	> 1.29	> 30%

Figura 18. Diagrama de torta del número estructural de la subrasante



Aplicando las medidas de tendencia central, se encontró lo siguiente:

- media aritmética : 1.163
- moda : 1.29
- mediana : 1.275

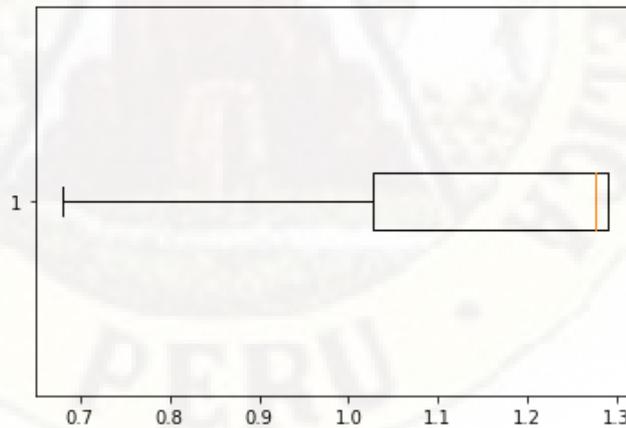
Respecto a las medidas de posición (Cuartiles)

- mínimo (P0%) : 0.68
- Q1 (P25%) : 1.0275
- Q2 (P50%) : 1.275
- Q3 (P75%) : 1.29
- máximo (P100%) : 1.29
- rango intercuartil (IQR) : 0.262

Analizando la dispersión de los datos:

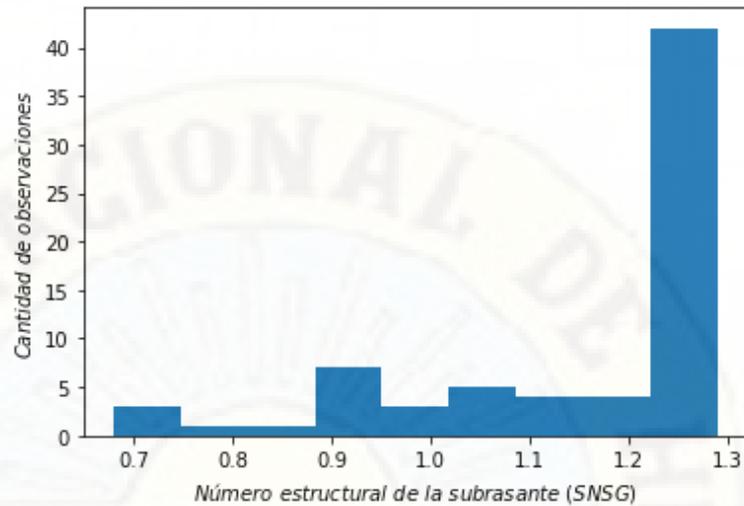
- recorrido : 0.610
- varianza (s^2) : 0.030
- desviación típica (s) : 0.176
- coef. de variación: (C.V.) : .151

Figura 19. Diagrama de caja y bigotes del número estructural de la subrasante



Nota. Se observa dispersión de datos en el bigote de la izquierda y una concentración a la derecha.

Figura 20. Histograma del número estructural de la subrasante



Nota. En concordancia a los diagramas de torta, diagrama de caja y bigotes se observa pocos datos con valores menores a 1.2 y una gran concentración con valores mayores.

Las observaciones realizadas del número estructural de la subrasante han demostrado una buena rigidez tomando valores promedio de 1.163 con una clasificación predominante de excelente.

A fin de determinar la normalidad de los datos se realiza la prueba de normalidad Shapiro-Wilks, dando un p valor $< .001$, por lo que se afirma que los datos no se ajustan a una curva de normalidad, por lo tanto, estamos tratando con datos no paramétricos.

4.1.2 Condición superficial del pavimento (variable dependiente)

Los datos obtenidos de la condición superficial del pavimento representado por el índice de condición del pavimento (PCI):

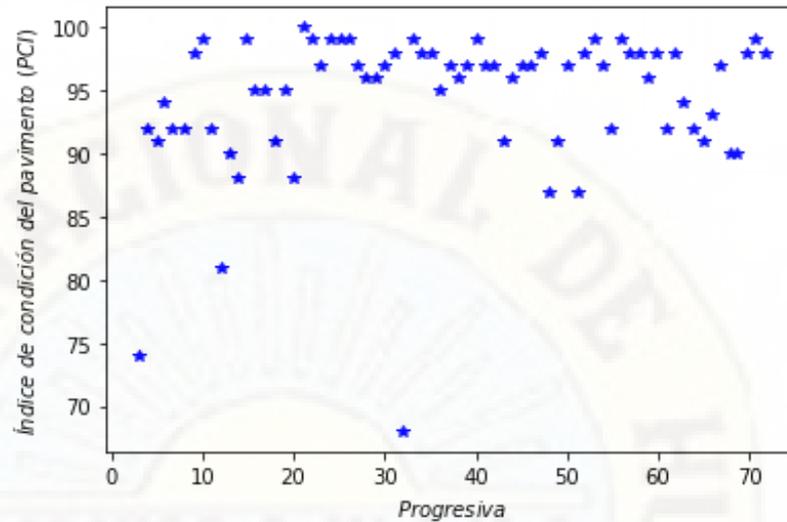
Tabla 13. Datos de la condición superficial del pavimento

UM	Prog.	PCI
UM-01	2+940	74
UM-02	3+835	92
UM-03	5+080	91
UM-04	5+785	94
UM-05	6+765	92
UM-06	8+030	92
UM-07	9+050	98
UM-08	10+055	99
UM-09	10+995	92
UM-10	11+990	81
UM-11	12+985	90
UM-12	13+940	88
UM-13	14+900	99
UM-14	15+790	95
UM-15	16+800	95
UM-16	17+995	91
UM-17	18+995	95
UM-18	20+010	88
UM-19	21+010	100
UM-20	22+000	99
UM-21	22+995	97
UM-22	23+995	99
UM-23	25+100	99
UM-24	26+000	99
UM-25	27+000	97
UM-26	28+000	96
UM-27	29+020	96
UM-28	30+020	97
UM-29	31+020	98
UM-30	32+020	68
UM-31	33+020	99
UM-32	34+045	98
UM-33	35+045	98
UM-34	36+040	95
UM-35	37+140	97

UM-36	38+015	96
UM-37	39+005	97
UM-38	40+005	99
UM-39	41+005	97
UM-40	42+005	97
UM-41	43+005	91
UM-42	44+040	96
UM-43	45+000	97
UM-44	45+990	97
UM-45	47+025	98
UM-46	48+020	87
UM-47	49+010	91
UM-48	49+990	97
UM-49	51+060	87
UM-50	51+890	98
UM-51	52+880	99
UM-52	53+845	97
UM-53	54+880	92
UM-54	55+840	99
UM-55	56+840	98
UM-56	57+880	98
UM-57	58+880	96
UM-58	59+840	98
UM-59	60+835	92
UM-60	61+790	98
UM-61	62+760	94
UM-62	63+880	92
UM-63	64+840	91
UM-64	65+830	93
UM-65	66+720	97
UM-66	67+800	90
UM-67	68+660	90
UM-68	69+700	98
UM-69	70+680	99
UM-70	71+710	98

Nota. UM = Unidad muestral, PCI=Índice de condición del pavimento.

Figura 21. Datos del índice de condición del pavimento

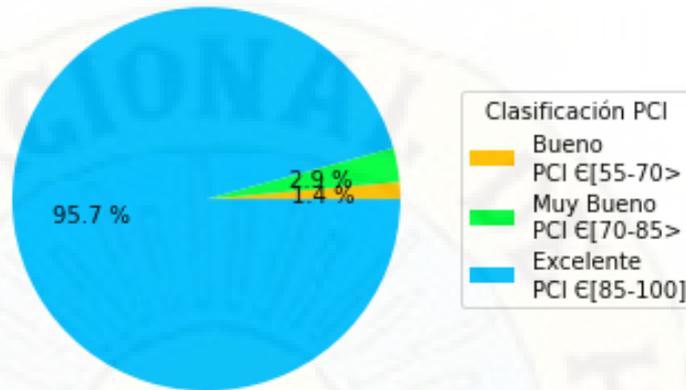


Teniendo en cuenta la clasificación de la condición superficial del pavimento en función del PCI, se ha encontrado el 4.3% de observaciones con clasificación buena y muy buena, y el 95.7% de observaciones con clasificación excelente.

Tabla 14. Clasificación de la condición superficial del pavimento según PCI

Clasificación	Observaciones	Porcentaje	Rango PCI
Bueno	1	1.4%	[50 – 70>
Muy bueno	2	2.9%	[70 – 85>
Excelente	67	95.7%	[85 – 100]

Figura 22. Clasificación del pavimento en función del PCI



Aplicando las medidas de tendencia central, se encontró lo siguiente:

- media aritmética : 94.46
- moda : 97.00
- mediana : 97.00

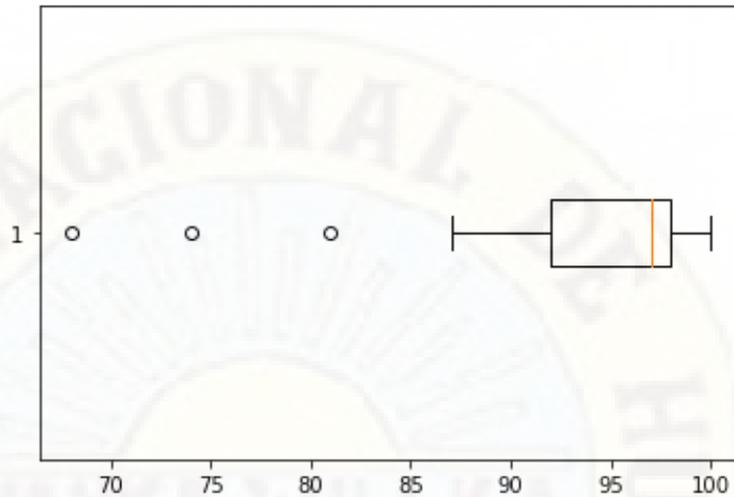
Respecto a las medidas de posición (Cuartiles)

- mínimo (P0%) : 68.0
- Q1 (P25%) : 92.0
- Q2 (P50%) : 97.0
- Q3 (P75%) : 98.0
- máximo (P100%) : 100.0
- rango intercuartil (IQR) : 6.0

Analizando la dispersión de los datos:

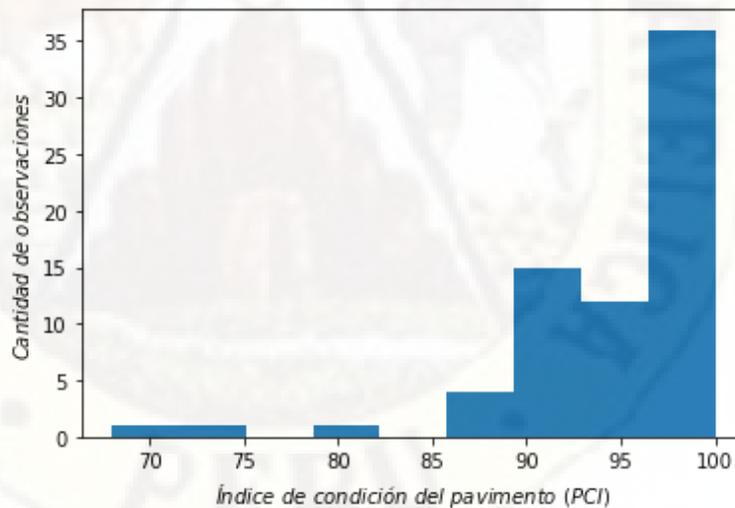
- recorrido : 32
- varianza (s^2) : 30.819
- desviación típica (s) : 5.592
- coef. de variación: (C.V.) : .059

Figura 23. Diagrama de caja y bigotes del índice de condición del pavimento



Nota. Se observa dispersión de datos en el bigote de la izquierda y una concentración a la derecha.

Figura 24. Histograma del índice de condición del pavimento



Nota. En concordancia a los diagramas de torta, diagrama de caja y bigotes se observa pocos datos con valores menores a 85 y una gran concentración con valores mayores.

Las observaciones realizadas del índice de condición del pavimento han demostrado que predomina la condición superficial de excelente, con valores de PCI mayores a 85.

A fin de determinar la normalidad de los datos se realiza la prueba de normalidad Shapiro-Wilks, dando un p valor < .001, por lo que se afirma que los datos no se ajustan a una curva de normalidad, por lo tanto, estamos tratando con datos no paramétricos.

4.2 Discusión de resultados

Los resultados del análisis de datos mediante el test Shapiro–Wilk evidenciaron que los datos no se ajustan a una curva de normalidad, por lo tanto, se aplicó el test no paramétrico del coeficiente de Spearman para analizar la relación de las variables.

Tabla 15. Resumen de resultados del análisis de datos

Descripción	SNC	SN*	SNSG	PCI
Observaciones	70	70	70	70
Media	3.914	2.744	1.163	94.46
Moda	4.04	2.74	1.29	97
Mediana	4.02	2.74	1.275	97
Recorrido	0.84	0.25	0.61	32
Varianza (S ²)	0.033	0.002	0.03	30.819
Desviación típica (S)	0.184	0.049	0.176	5.592
Coef. de variación: (C.V.)	.047	.018	.151	.059
Prueba Shapiro-Wilks (p)	< .001	< .001	< .001	< .001
	no	no	no	no
Tipo de datos	paramétrico	paramétrico	paramétrico	paramétrico

Nota. SNC=Número estructural corregido del pavimento, SN*=Número estructural construido del pavimento, SNSG=Número estructural de la subrasante, PCI=Índice de condición del pavimento.

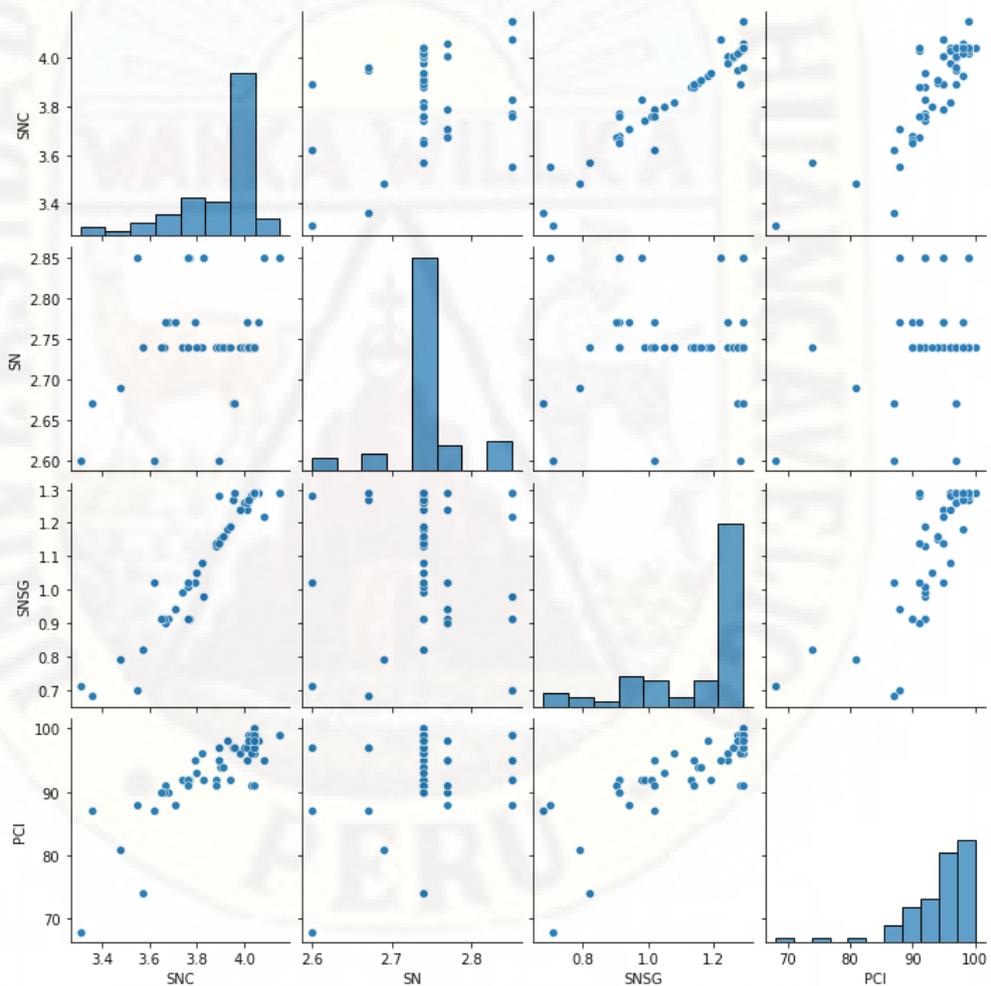
4.3 Proceso de prueba de hipótesis

Hipótesis de partida. H_0 : Las variables de estudio son independientes.

Hipótesis Alternativa. H_a : Las variables de estudio están relacionadas.

A continuación, se presenta el análisis correlacional utilizando el test no paramétrico del coeficiente de Spearman.

Figura 25. Diagramas de correlación entre variables



Nota. SNC=Número estructural corregido del pavimento, SN*=Número estructural construido del pavimento, SNSG=Número estructural de la subrasante, PCI=Índice de condición del pavimento.

De la figura anterior se aprecia los diagramas de correlación entre las variables, del cual haciendo el test del coeficiente de Spearman, se encontró los siguientes valores:

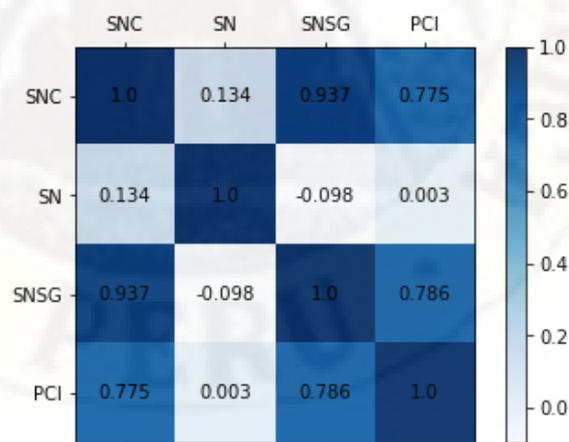
Tabla 16. Coeficientes de correlación entre variables

Variable	SNC	SN*	SNSG	PCI
SNC	1.000	.134	.937	.775
SN*	.134	1.000	-.098	.003
SNSG	.937	-.098	1.000	.786
PCI	.775	.003	.786	1.000

Nota. Los valores corresponden a los coeficientes de correlación de Spearman SNC=Número estructural corregido del pavimento, SN=Número estructural construido del pavimento, SNSG=Número estructural de la subrasante, PCI=Índice de condición del pavimento.

La correlación entre variables se puede apreciar gráficamente en el siguiente mapa de correlación.

Figura 26. Mapa de correlación entre variables



En resumen, presentamos la siguiente tabla en el que se incluye la significancia del análisis.

Tabla 17. Coeficientes de correlación entre variables y grado de significancia

V.I.	V.D.	rho (Spearman)	p valor
SNC	PCI	.775	< .001
SN*	PCI	.003	.977
SNSG	PCI	.786	< .001

Por lo tanto, se expone las siguientes pruebas de hipótesis.

4.3.1 Prueba de hipótesis general

Número estructural corregido (SNC) e índice de condición del pavimento (PCI)

Hipótesis de partida

Ho: Entre el número estructural corregido y el índice de condición del pavimento, no existe dependencia.

Hipótesis Alternativa

Ha: Entre el número estructural corregido y el índice de condición del pavimento, existe dependencia.

Realizando el test Spearman se encontró un coeficiente de correlación rho = .775 con un nivel de significancia $p < .001$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta como verdadera la hipótesis alternativa con un nivel de significancia mayor al 99.99%

Por lo tanto, existe dependencia entre el número estructural corregido y el índice de condición del pavimento con un grado de correlación positivo considerable.

4.3.2 Prueba de hipótesis específica

Número estructural construido (SN*) e índice de condición del pavimento (PCI)

Hipótesis de partida

Ho: Entre el número estructural construido y el índice de condición del pavimento, no existe dependencia.

Hipótesis Alternativa

Ha: Entre el número estructural construido y el índice de condición del pavimento, existe dependencia.

Realizando el test Spearman se encontró un coeficiente de correlación $\rho = .003$ con un nivel de significancia $p = .977$, por lo tanto, se acepta como verdadera la hipótesis nula por la no existencia de pruebas.

Por lo tanto, no existe dependencia entre el número estructural y el índice de condición del pavimento.

Número estructural de la subrasante (SNSG) e índice de condición del pavimento (PCI)

Hipótesis de partida

Ho: Entre el número estructural de la subrasante y el índice de condición del pavimento, no existe dependencia.

Hipótesis Alternativa

Ha: Entre el número estructural de la subrasante y el índice de condición del pavimento, existe dependencia.

Realizando el test Spearman se encontró un coeficiente de correlación $\rho = .786$ con un nivel de significancia $p < .001$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta como verdadera la hipótesis alternativa con un nivel de significancia mayor al 99.99%

Por lo tanto, existe dependencia entre el número estructural de la subrasante y el índice de condición del pavimento con un grado de correlación positivo considerable.

4.3.3 Análisis de influencia utilizando redes neuronales artificiales

La construcción de la red neuronal se realizó en lenguaje Python con la librería TensorFlow.

Figura 27. Código de la red neuronal

```
# Librería tensorflow para modelo de red neuronal
import tensorflow as tf
from tensorflow import keras
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Datos para modelo x=SNC, y=PCI
xy = pd.DataFrame({'SNC': SNC,
                  'PCI': PCI}).sort_values('SNC')
X = np.array(xy['SNC'])
y = np.array(xy['PCI'])
X_scaled = X/max(X)
y_scaled = y/max(y)

# Convirtiendo datos para curva de 2do grado
poly = PolynomialFeatures(degree=2)
X_2 = poly.fit_transform(X_scaled.reshape(-1,1))

# Construcción del modelo
model = tf.keras.Sequential([keras.layers.Dense(units=1, name='Capa1', input_shape=[3]),
                             keras.layers.Dense(10, activation='selu', name='Capa2'),
                             keras.layers.Dense(1, name='Capa3')
                             ])
optimizer = tf.keras.optimizers.Adam(learning_rate=.005)
model.compile(optimizer=optimizer, loss='mean_squared_error')

# Entrenamiento de modelo
tf_history = model.fit(X_2, y_scaled, epochs=1000, verbose=0)

model.summary()

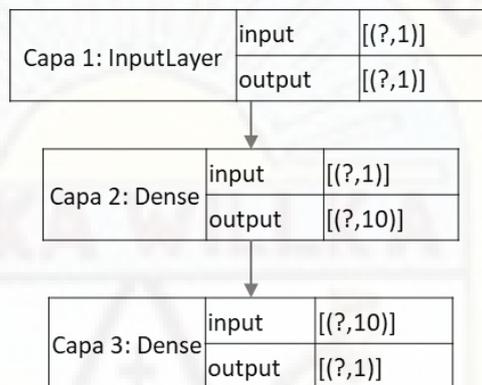
# Gráfica del progreso de pérdida
plt.plot(tf_history.history['loss'])
plt.xlabel('Epochs')
plt.ylabel('MSE Loss')
plt.title('Progreso de pérdida')
plt.show()
mse = tf_history.history['loss'][-1]

# Gráfica del datos medidos y predichos con RNA
y_hat = model.predict(X_2)
SNC_pred = X_2[:,1] * max(X)
PCI_pred = y_hat * max(y)
plt.figure(figsize=(10,6))
plt.title('Predicción de PCI')
plt.scatter(SNC, PCI, label='Datos $(SNC, PCI)$')
plt.plot(SNC_pred, PCI_pred, color='red', label='Curva de predicción $PCI = f(SNC)$',linewidth=4.0)
plt.xlabel('$SNC$', fontsize=20)
plt.ylabel('$PCI$', fontsize=20)
plt.text(3.42,97,'MSE = {:.3f}'.format(mse), fontsize=20)
plt.grid(True)
```

El procedimiento general fue primero la construcción de la red neuronal, luego el entrenamiento de la red neuronal y finalmente se procede a predecir el PCI a partir del número estructural corregido.

La red neuronal que tuvo mejor comportamiento, fue con tres capas, con la siguiente arquitectura.

Figura 28. Arquitectura de red neuronal



La capa 1 (capa de ingreso de datos). Contiene 2 neuronas siendo x y x^2 , las cuales representa los valores de SNC y SNC^2 .

La capa 2 (capa oculta). Contiene 10 neuronas y es la encargada de recibir los datos de la capa 1, aprender de ellos y dar su resultado a la capa 3.

La capa 3 (capa de salida). Contiene 1 neurona y es la encargada de recibir los datos de la capa 2, para ponderar un resultado final.

Figura 29. Representación de modelo de red neuronal

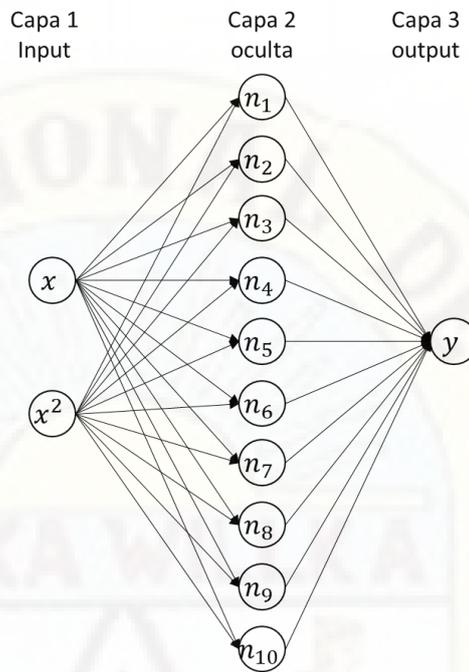
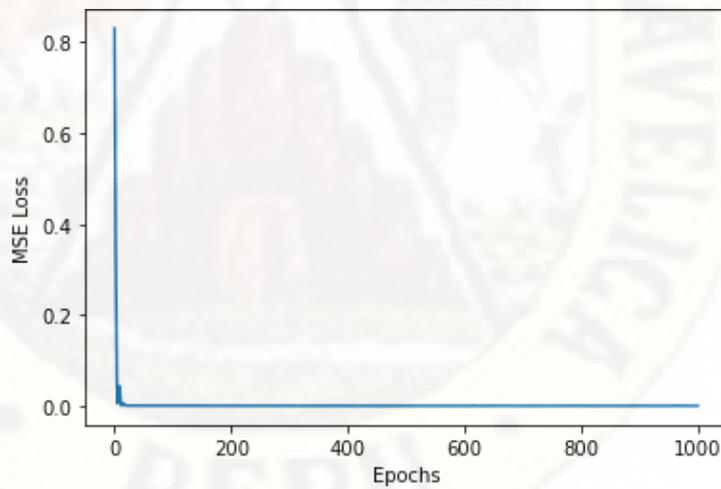


Figura 30: Progreso de pérdida del modelo RNA



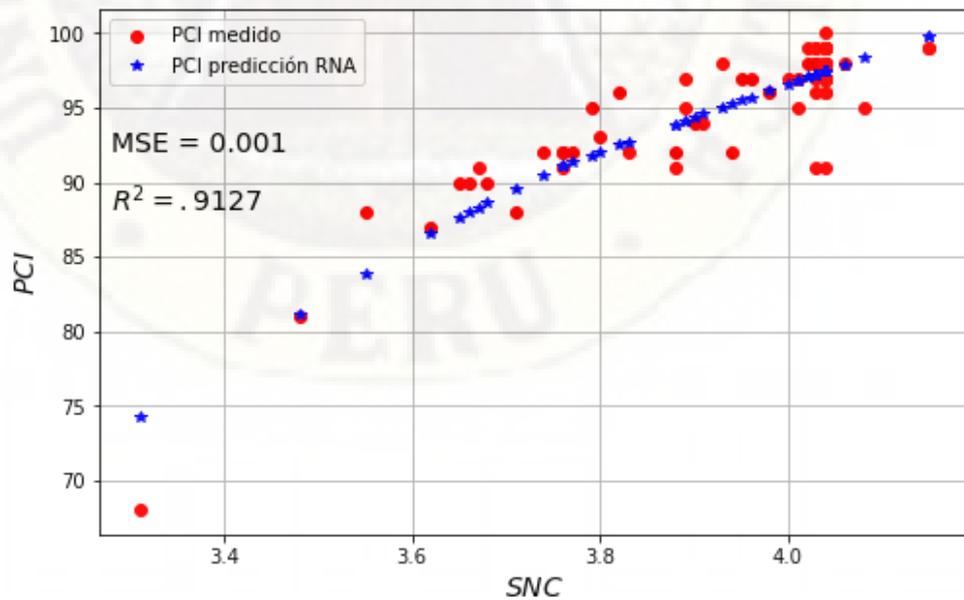
El modelo de red neuronal fue capaz de predecir valores de PCI a partir del número estructural corregido.

Tabla 18. Valores de PCI medidos en campo y predichos por la red neuronal

SNC	PCI medido	PCI predicción RNA
3.88	92	93.26
3.88	91	93.26
3.9	94	93.72
3.77	92	90.72
3.76	92	90.49
4.06	98	97.37
4.15	99	99.42
3.83	92	92.11
3.48	81	79.65
3.68	90	88.56
3.55	88	82.76
4.15	99	99.42
4.01	95	96.24
4.08	95	97.83
3.67	91	88.23
3.79	95	91.18
3.71	88	89.33
4.04	100	96.92
4.04	99	96.92
4.04	97	96.92
4.04	99	96.92
4.04	99	96.92
4.03	99	96.69
4.03	97	96.69
3.98	96	95.55
3.82	96	91.87
4.04	97	96.92
3.93	98	94.41
3.31	68	72.32
4.04	99	96.92
4.04	98	96.92
4.04	98	96.92
3.89	95	93.49
4.04	97	96.92
4.04	96	96.92
4.04	97	96.92
4.04	99	96.92
4	97	96.01
3.95	97	94.86
4.03	91	96.69
4.04	96	96.92
3.96	97	95.09
3.89	97	93.49

4.03	98	96.69
3.62	87	85.93
4.04	91	96.92
4.01	97	96.24
4.04	98	96.92
4.02	99	96.46
4.04	97	96.92
3.74	92	90.02
4.03	99	96.69
4.04	98	96.92
4.03	98	96.69
4.03	96	96.69
4.03	98	96.69
3.76	92	90.49
4.03	98	96.69
3.91	94	93.95
3.94	92	94.63
3.76	91	90.49
3.8	93	91.41
4.04	97	96.92
3.66	90	87.76
3.65	90	87.30
4.02	98	96.46
4.04	99	96.92
4.04	98	96.92

Figura 31. Valores de PCI medidos en campo y predichos por la red neuronal



El modelo de la red neuronal, obtuvo un coeficiente de determinación de $R^2 = .9127$, quiere decir una correlación positiva considerable.

Por lo que concluye que el número estructural corregido influye considerablemente en el índice de condición del pavimento.

4.3.4 Comparación entre el modelo RNA y otros modelos matemáticos

Con la finalidad de comparar el performance del modelo de redes neuronales artificiales se desarrolló otros tres modelos y se analizó los coeficientes de determinación de cada uno, de los cuales se presenta a continuación:

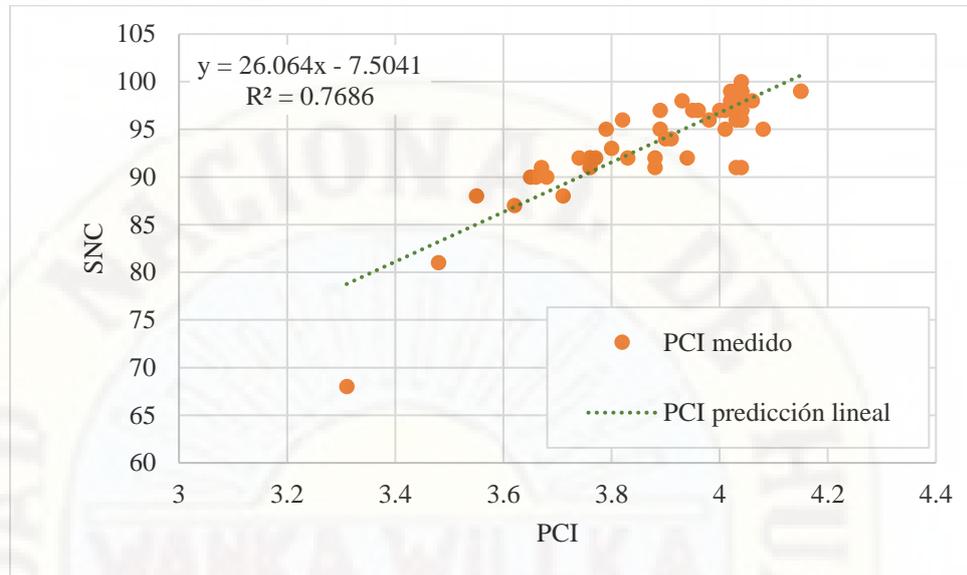
Modelo lineal:

A partir de los datos medidos del número estructural corregido (SNC) e índice de condición del pavimento (PCI), se determinó la ecuación lineal que más se ajusta a los datos, siendo:

$$PCI = 26.064 SNC - 7.5041$$

El cual obtuvo un coeficiente de determinación de $R^2 = .7686$

Figura 32. Modelo lineal entre SNC y PCI



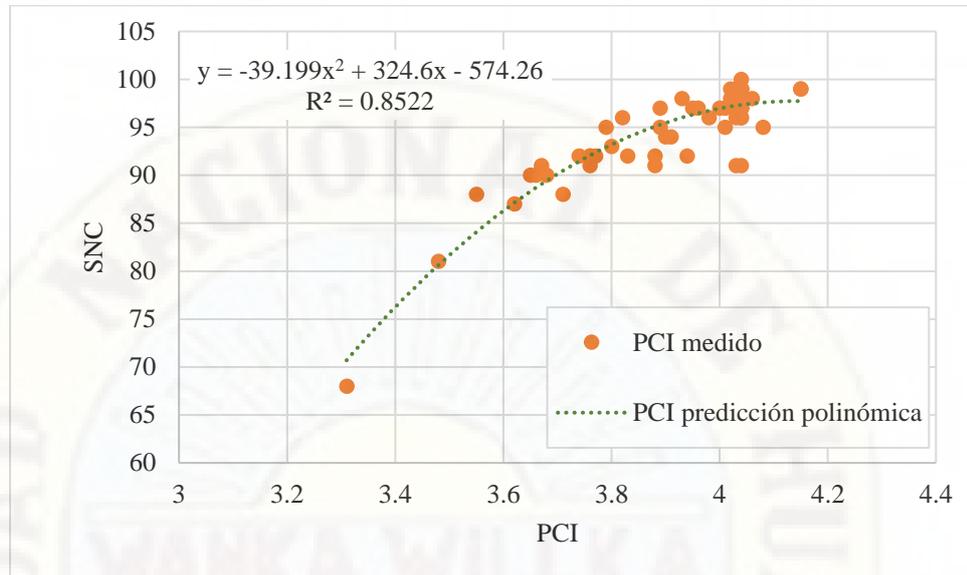
Modelo polinómica:

A partir de los datos medidos del número estructural corregido (SNC) e índice de condición del pavimento (PCI), se determinó la ecuación polinómica que más se ajusta a los datos, siendo:

$$PCI = -39.199 SNC^2 + 324.6 SNC - 574.26$$

El cual obtuvo un coeficiente de determinación de $R^2 = .8522$

Figura 33. Modelo polinómica de segundo grado entre SNC y PCI



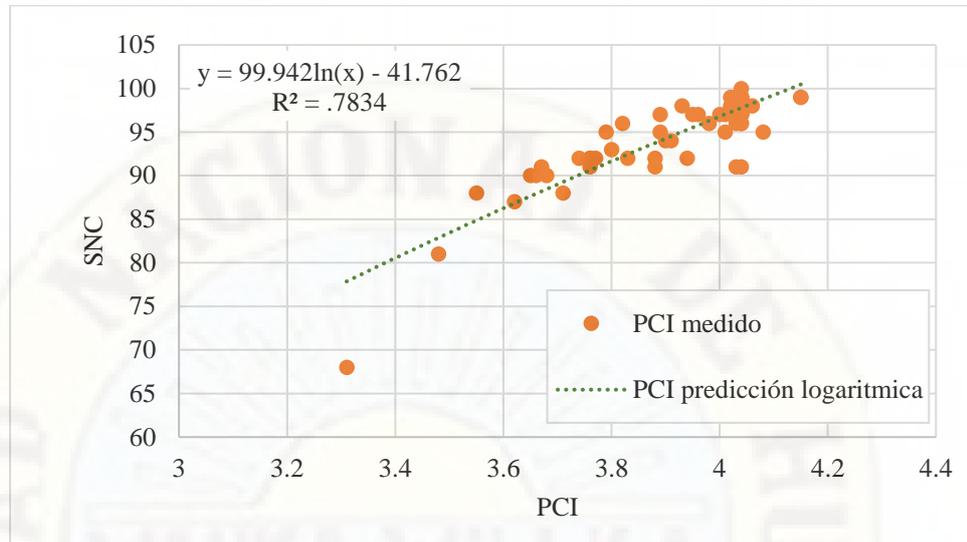
Modelo logarítmico:

A partir de los datos medidos del número estructural corregido (SNC) e índice de condición del pavimento (PCI), se determinó la ecuación logarítmica que más se ajusta a los datos, siendo:

$$PCI = 99.942 * \ln(SNC) - 41.762$$

El cual obtuvo un coeficiente de determinación de $R^2 = .7834$

Figura 34. Modelo logarítmico entre SNC y PCI



Los valores de cada modelo se presentan a continuación:

Tabla 19. Valores de PCI medidos en campo y predichos por diferentes modelos

Valores medidos en campo		Modelo RNA	Modelo Lineal	Modelo Polinómica	Modelo Logarítmica
SNC	PCI	PCI predicción RNA	PCI predicción lineal	PCI predicción polinómica	PCI predicción logarítmica
3.88	92	93.26	93.62	95.07	93.74
3.88	91	93.26	93.62	95.07	93.74
3.9	94	93.72	94.15	95.46	94.26
3.77	92	90.72	90.76	92.35	90.87
3.76	92	90.49	90.50	92.06	90.60
4.06	98	97.37	98.32	97.48	98.28
4.15	99	99.42	100.66	97.73	100.47
3.83	92	92.11	92.32	93.95	92.45
3.48	81	79.65	83.20	80.63	82.87
3.68	90	88.56	88.41	89.42	88.45
3.55	88	82.76	85.02	84.06	84.86
4.15	99	99.42	100.66	97.73	100.47
4.01	95	96.24	97.01	97.06	97.04
4.08	95	97.83	98.84	97.59	98.77
3.67	91	88.23	88.15	89.05	88.18
3.79	95	91.18	91.28	92.92	91.40

3.71	88	89.33	89.19	90.47	89.27
4.04	100	96.92	97.79	97.33	97.78
4.04	99	96.92	97.79	97.33	97.78
4.04	97	96.92	97.79	97.33	97.78
4.04	99	96.92	97.79	97.33	97.78
4.04	99	96.92	97.79	97.33	97.78
4.03	99	96.69	97.53	97.25	97.53
4.03	97	96.69	97.53	97.25	97.53
3.98	96	95.55	96.23	96.72	96.29
3.82	96	91.87	92.06	93.70	92.19
4.04	97	96.92	97.79	97.33	97.78
3.93	98	94.41	94.93	95.99	95.02
3.31	68	72.32	78.77	70.70	77.86
4.04	99	96.92	97.79	97.33	97.78
4.04	98	96.92	97.79	97.33	97.78
4.04	98	96.92	97.79	97.33	97.78
3.89	95	93.49	93.88	95.27	94.00
4.04	97	96.92	97.79	97.33	97.78
4.04	96	96.92	97.79	97.33	97.78
4.04	97	96.92	97.79	97.33	97.78
4.04	99	96.92	97.79	97.33	97.78
4	97	96.01	96.75	96.96	96.79
3.95	97	94.86	95.45	96.31	95.53
4.03	91	96.69	97.53	97.25	97.53
4.04	96	96.92	97.79	97.33	97.78
3.96	97	95.09	95.71	96.45	95.78
3.89	97	93.49	93.88	95.27	94.00
4.03	98	96.69	97.53	97.25	97.53
3.62	87	85.93	86.85	87.11	86.81
4.04	91	96.92	97.79	97.33	97.78
4.01	97	96.24	97.01	97.06	97.04
4.04	98	96.92	97.79	97.33	97.78
4.02	99	96.46	97.27	97.16	97.29
4.04	97	96.92	97.79	97.33	97.78
3.74	92	90.02	89.98	91.44	90.07
4.03	99	96.69	97.53	97.25	97.53
4.04	98	96.92	97.79	97.33	97.78
4.03	98	96.69	97.53	97.25	97.53
4.03	96	96.69	97.53	97.25	97.53
4.03	98	96.69	97.53	97.25	97.53
3.76	92	90.49	90.50	92.06	90.60
4.03	98	96.69	97.53	97.25	97.53

3.91	94	93.95	94.41	95.65	94.51
3.94	92	94.63	95.19	96.15	95.28
3.76	91	90.49	90.50	92.06	90.60
3.8	93	91.41	91.54	93.19	91.66
4.04	97	96.92	97.79	97.33	97.78
3.66	90	87.76	87.89	88.68	87.91
3.65	90	87.30	87.63	88.30	87.64
4.02	98	96.46	97.27	97.16	97.29
4.04	99	96.92	97.79	97.33	97.78
4.04	98	96.92	97.79	97.33	97.78

A partir del cual se obtuvieron los siguientes coeficientes de determinación.

Tabla 20. Valores de coeficiente de determinación (R^2) de cada modelo

Modelo	R^2
Modelo RNA	.9127
Modelo lineal	.7686
Modelo polinómica	.8522
Modelo logarítmico	.7834

De lo analizado se evidencia que el mejor modelo de predicción de PCI en este estudio corresponde al modelo de la red neuronal.

Conclusiones

Del análisis a nivel descriptivo en la presente investigación se evidenció la rigidez del pavimento, el cual se cuantificó a través del número estructural corregido, dando un valor promedio de 3.914, con algunas observaciones por debajo de la media; respecto a la condición superficial de la vía, se encontró un valor de PCI promedio de 94.46, con el 95.7% de las observaciones con clasificación excelente.

Del análisis a nivel correlacional, mediante la estadística inferencial, se encontró una fuerte correlación entre las variables con un coeficiente de correlación $r=.775$ y un nivel de significancia $p<.001$, por lo que el número estructural corregido y el índice de condición del pavimento tienen un grado de correlación positivo considerable, concluyendo que la rigidez del pavimento influye considerablemente en la condición superficial del pavimento utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B.

Del análisis a nivel explicativo, mediante técnicas de inteligencia artificial se construyó una red neuronal artificial que prediga el valor del índice de condición del pavimento (PCI) teniendo como dato de ingreso el número estructural corregido (SNC), este modelo alcanzó un coeficiente de determinación de $R^2 = .9127$, que quiere decir una correlación positiva considerable.

Finalmente se concluye la rigidez del pavimento influye considerablemente en la condición superficial del pavimento utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B.

Recomendaciones

El desarrollo de la presente investigación presentó ciertas limitaciones en su desarrollo, por lo que planteamos las siguientes recomendaciones:

- Recomendamos hacer investigaciones constantes de la condición del pavimento que permitirá tener una base de datos robusta del comportamiento del pavimento a lo largo de su vida útil, el cual permitiría estudiar y encontrar modelos que predigan la vida restante de un pavimento.
- Recomendamos ampliar el campo de investigación, evaluando la influencia de otros factores que intervienen en el deterioro del pavimento tales como tráfico, clima, calidad de construcción, historial de intervenciones, entre otras.
- Recomendamos ampliar el campo de investigación, evaluando la influencia en las condiciones funcionales y estructurales o en una combinación de estas.

Referencia bibliográfica

- American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO]. (1993). *Guide for design of pavement structures*. Washinton, D.C. 20001: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- American Society for Testing and Materials [ASTM]. (2020). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys (ASTM D6433-20)*. West Conshohocken: ASTM International.
- Argueta, J., & Castro, E. (2009). *Metodología para calibración de los modelos de deterioro de pavimentos generados por el programa HDM4*. Salvador: Universidad de El Salvador.
- Beltran Calvo, G. I. (2012). *Evaluación estructural de pavimentos flexibles con métodos de inteligencia artificial y auscultacion no destructiva*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cabrera, G., Zanazzi, J. F., Zanazzi, J. L., & Boaglio, L. (2017). Comparación de potencias en pruebas estadísticas de normalidad, con datos escasos. *Revista facultad de ciencias exactas, físicas y naturales*, 4(2), 47-52.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hil.
- HOB Consultores S.A. (2013). *Estudio definitivo de la carretera Hancavelica - Lircay*. Huancavelica, Perú: MTC.
- Leguía, P. B., & Pacheco, H. F. (2016). *Evaluación Superficial del pavimento flexible por el método Pavement Condition Index (PCI) En Las Vías Arteriales: Cincuentenario, Colón y Miguel Grau (Huacho-Huaura-Lima)*. Lima: Universidad San Martín de Porres.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2014). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotécnica y pavimentos*. Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2014). *Manual de inventarios viales*. Lima, Perú.
- Montejo, A. (2006). *Ingeniería de pavimento: Evaluación estructural, obras de mejoras y nuevas tecnologías*. Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Montejo, A. (2006). *Ingeniería de pavimentos: Fundamentos, estudios básicos y diseño*. Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Nornadiah, M., & Yap, B. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2, 21-33.
- Oseña Gago, D. (2010). *Estadística descriptiva e inferencial*. El Tambo Hoyo, Perú: Universidad Peruana Los Andes.
- Paytán Ordoñez, J. (2018). *Estimación del índice de Regularidad Internacional en Pavimentos Flexibles usando Redes Neuronales Artificiales*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Ríos De la Cruz, I. (2019). *Modelos de deterioro del pavimento y su correlación con las evaluaciones funcionales de los años 2010-2016, en la carretera Inambari – Azángaro*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Rodríguez, R. A. (2011). *Modelo de Gestión de Conservación Vial para reducir los costos de Mantenimiento Vial y Operación Vehicular en los Caminos Rurales de las Poblaciones de Riobamba, San Luis, Punín, Flores, Cebadas de la Provincia de Chimborazo*. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.

- Rondón, H., Fernández, W., & Hernández, J. (2013). Influencia de la Rigidez de la Subrasante y las Capas Granulares sobre la Vida a Fatiga de Mezclas Asfálticas. *TecnoLógicas*, 53-72.
- Setyawana, A., Nainggolanb, J., & Budiarto, A. (2015). Predicting the remaining service life of road using pavement condition index. *Procedia Engineering*(125), 417-423. doi:10.1016/j.proeng.2015.11.108
- Shahnazari, H., Tutunchian, M., Mashayekhi, M., & Amini, A. (2012). Application of Soft Computing for Prediction of Pavement Condition Index. *Journal of Transportation Engineering*(138), 1495-1605. doi:10.1061/(ASCE)TE
- Silva, L. (2019). *Evaluación visual y estructural del pavimento flexible de la urbanización los jardines, barranca-2017*. Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Vargas, Z. R. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33(1), 159. doi:0379-7082

Apéndices

Apéndice 01: Recolección de datos del número estructural corregido

Tabla 21. Recolección de datos del número estructural corregido del pavimento

UM	Progresiva	SN*	SNSG	SNC
UM01	2+940	2.747	0.825	3.572
UM02	3+835	2.747	1.129	3.876
UM03	4+810	2.747	1.136	3.883
UM04	5+785	2.747	1.155	3.902
UM05	6+765	2.855	0.915	3.770
UM06	8+030	2.855	0.905	3.760
UM07	9+050	2.774	1.288	4.061
UM08	10+055	2.855	1.292	4.147
UM09	10+995	2.855	0.979	3.833
UM10	11+990	2.694	0.787	3.482
UM11	12+985	2.774	0.905	3.679
UM12	13+940	2.855	0.700	3.555
UM13	14+900	2.855	1.292	4.147
UM14	15+790	2.774	1.235	4.009
UM15	16+800	2.855	1.222	4.076
UM16	17+995	2.774	0.896	3.669
UM17	18+995	2.774	1.015	3.789
UM18	20+010	2.774	0.938	3.711
UM19	21+010	2.747	1.292	4.039
UM20	22+000	2.747	1.292	4.039
UM21	22+995	2.747	1.292	4.039
UM22	23+995	2.747	1.292	4.039
UM23	25+100	2.747	1.292	4.039
UM24	26+000	2.747	1.283	4.030
UM25	27+000	2.747	1.283	4.030
UM26	28+000	2.747	1.235	3.982
UM27	29+020	2.747	1.077	3.824
UM28	30+020	2.747	1.292	4.039
UM29	31+020	2.747	1.179	3.926
UM30	32+020	2.604	0.708	3.312
UM31	33+020	2.747	1.292	4.039
UM32	34+045	2.747	1.292	4.039
UM33	35+045	2.747	1.292	4.039
UM34	36+040	2.747	1.140	3.887
UM35	37+140	2.747	1.292	4.039

UM36	38+015	2.747	1.292	4.039
UM37	39+005	2.747	1.292	4.039
UM38	40+005	2.747	1.292	4.039
UM39	41+005	2.747	1.256	4.003
UM40	42+005	2.672	1.274	3.946
UM41	43+005	2.747	1.283	4.030
UM42	44+040	2.747	1.292	4.039
UM43	45+000	2.672	1.292	3.964
UM44	45+990	2.604	1.283	3.887
UM45	47+025	2.747	1.283	4.030
UM46	48+020	2.604	1.019	3.623
UM47	49+010	2.747	1.292	4.039
UM48	49+990	2.747	1.261	4.008
UM49	51+060	2.672	0.684	3.356
UM50	51+890	2.747	1.292	4.039
UM51	52+880	2.747	1.274	4.021
UM52	53+845	2.747	1.292	4.039
UM53	54+880	2.747	0.990	3.737
UM54	55+840	2.747	1.283	4.030
UM55	56+840	2.747	1.292	4.039
UM56	57+880	2.747	1.283	4.030
UM57	58+880	2.747	1.283	4.030
UM58	59+840	2.747	1.283	4.030
UM59	60+835	2.747	1.012	3.759
UM60	61+790	2.747	1.283	4.030
UM61	62+760	2.747	1.159	3.906
UM62	63+880	2.747	1.193	3.940
UM63	64+840	2.747	1.015	3.763
UM64	65+830	2.747	1.048	3.795
UM65	66+720	2.747	1.292	4.039
UM66	67+800	2.747	0.910	3.657
UM67	68+660	2.747	0.905	3.653
UM68	69+700	2.747	1.274	4.021
UM69	70+680	2.747	1.292	4.039
UM70	71+710	2.747	1.292	4.039

Nota. UM=Unidad muestral, SNC=Número estructural corregido del pavimento $SNC = SN^* + SNSG$, SN^* =Número estructural del pavimento construido, SNSG=Número estructural de la subrasante, fuente: Estudio definitivo de la carretera Huancavelica - Lircay, HOB Consultores S.A. (2013).

Tabla 22. Recolección de datos del número estructural construido del pavimento

UM	Progresiva.	Carpeta	Base	Sub base	SN*
		asfáltica	granular	granular	
		SN1	SN2	SN3	
UM01	2+940	1.317	0.785	0.645	2.747
UM02	3+835	1.317	0.785	0.645	2.747
UM03	4+810	1.317	0.785	0.645	2.747
UM04	5+785	1.317	0.785	0.645	2.747
UM05	6+765	1.317	0.785	0.752	2.855
UM06	8+030	1.317	0.785	0.752	2.855
UM07	9+050	1.317	0.744	0.713	2.774
UM08	10+055	1.317	0.785	0.752	2.855
UM09	10+995	1.317	0.785	0.752	2.855
UM10	11+990	1.317	0.744	0.633	2.694
UM11	12+985	1.317	0.744	0.713	2.774
UM12	13+940	1.317	0.785	0.752	2.855
UM13	14+900	1.317	0.785	0.752	2.855
UM14	15+790	1.317	0.744	0.713	2.774
UM15	16+800	1.317	0.785	0.752	2.855
UM16	17+995	1.317	0.744	0.713	2.774
UM17	18+995	1.317	0.744	0.713	2.774
UM18	20+010	1.317	0.744	0.713	2.774
UM19	21+010	1.317	0.785	0.645	2.747
UM20	22+000	1.317	0.785	0.645	2.747
UM21	22+995	1.317	0.785	0.645	2.747
UM22	23+995	1.317	0.785	0.645	2.747
UM23	25+100	1.317	0.785	0.645	2.747
UM24	26+000	1.317	0.785	0.645	2.747
UM25	27+000	1.317	0.785	0.645	2.747
UM26	28+000	1.317	0.785	0.645	2.747
UM27	29+020	1.317	0.785	0.645	2.747
UM28	30+020	1.317	0.785	0.645	2.747
UM29	31+020	1.317	0.785	0.645	2.747
UM30	32+020	1.317	0.744	0.543	2.604
UM31	33+020	1.317	0.785	0.645	2.747
UM32	34+045	1.317	0.785	0.645	2.747
UM33	35+045	1.317	0.785	0.645	2.747
UM34	36+040	1.317	0.785	0.645	2.747
UM35	37+140	1.317	0.785	0.645	2.747
UM36	38+015	1.317	0.785	0.645	2.747
UM37	39+005	1.317	0.785	0.645	2.747

UM38	40+005	1.317	0.785	0.645	2.747
UM39	41+005	1.317	0.785	0.645	2.747
UM40	42+005	1.317	0.744	0.611	2.672
UM41	43+005	1.317	0.785	0.645	2.747
UM42	44+040	1.317	0.785	0.645	2.747
UM43	45+000	1.317	0.744	0.611	2.672
UM44	45+990	1.317	0.744	0.543	2.604
UM45	47+025	1.317	0.785	0.645	2.747
UM46	48+020	1.317	0.744	0.543	2.604
UM47	49+010	1.317	0.785	0.645	2.747
UM48	49+990	1.317	0.785	0.645	2.747
UM49	51+060	1.317	0.744	0.611	2.672
UM50	51+890	1.317	0.785	0.645	2.747
UM51	52+880	1.317	0.785	0.645	2.747
UM52	53+845	1.317	0.785	0.645	2.747
UM53	54+880	1.317	0.785	0.645	2.747
UM54	55+840	1.317	0.785	0.645	2.747
UM55	56+840	1.317	0.785	0.645	2.747
UM56	57+880	1.317	0.785	0.645	2.747
UM57	58+880	1.317	0.785	0.645	2.747
UM58	59+840	1.317	0.785	0.645	2.747
UM59	60+835	1.317	0.785	0.645	2.747
UM60	61+790	1.317	0.785	0.645	2.747
UM61	62+760	1.317	0.785	0.645	2.747
UM62	63+880	1.317	0.785	0.645	2.747
UM63	64+840	1.317	0.785	0.645	2.747
UM64	65+830	1.317	0.785	0.645	2.747
UM65	66+720	1.317	0.785	0.645	2.747
UM66	67+800	1.317	0.785	0.645	2.747
UM67	68+660	1.317	0.785	0.645	2.747
UM68	69+700	1.317	0.785	0.645	2.747
UM69	70+680	1.317	0.785	0.645	2.747
UM70	71+710	1.317	0.785	0.645	2.747

Nota. UM=Unidad muestral, SN*=Número estructural construido del pavimento $SN^* = SN1 + SN2 + SN3$, fuente: Estudio definitivo de la carretera Huancavelica - Lircay, HOB Consultores S.A. (2013).

Tabla 23. Recolección de datos del número estructural de la carpeta asfáltica

UM	Progresiva	CARPETA ASFÁLTICA			
		H (cm)	E (kg/cm ²)	a1 (/cm)	SN1
UM01	2+940	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM02	3+835	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM03	4+810	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM04	5+785	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM05	6+765	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM06	8+030	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM07	9+050	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM08	10+055	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM09	10+995	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM10	11+990	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM11	12+985	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM12	13+940	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM13	14+900	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM14	15+790	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM15	16+800	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM16	17+995	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM17	18+995	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM18	20+010	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM19	21+010	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM20	22+000	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM21	22+995	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM22	23+995	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM23	25+100	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM24	26+000	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM25	27+000	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM26	28+000	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM27	29+020	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM28	30+020	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM29	31+020	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM30	32+020	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM31	33+020	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM32	34+045	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM33	35+045	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM34	36+040	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM35	37+140	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM36	38+015	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM37	39+005	7.500	31638.227	0.176	1.317

UM38	40+005	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM39	41+005	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM40	42+005	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM41	43+005	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM42	44+040	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM43	45+000	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM44	45+990	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM45	47+025	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM46	48+020	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM47	49+010	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM48	49+990	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM49	51+060	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM50	51+890	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM51	52+880	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM52	53+845	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM53	54+880	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM54	55+840	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM55	56+840	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM56	57+880	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM57	58+880	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM58	59+840	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM59	60+835	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM60	61+790	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM61	62+760	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM62	63+880	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM63	64+840	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM64	65+830	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM65	66+720	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM66	67+800	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM67	68+660	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM68	69+700	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM69	70+680	7.500	31638.227	0.176	1.317
UM70	71+710	7.500	31638.227	0.176	1.317

Nota. UM=Unidad muestral, H=Espesor de capa, E= Módulo elástico de la carpeta asfáltica, a_1 =Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica, SN1=Número estructural de la carpeta asfáltica, fuente: Estudio definitivo de la carretera Huancavelica - Lircay, HOB Consultores S.A. (2013).

Tabla 24. Recolección de datos del número estructural de la base granular

UM	Progresiva	BASE GRANULAR					
		H (cm)	CBR (%)	E (kg/cm ²)	a ₂ (/cm)	m ₂	SN ₂
UM01	2+940	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM02	3+835	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM03	4+810	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM04	5+785	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM05	6+765	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM06	8+030	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM07	9+050	15	100	2132.515	0.055	0.900	0.744
UM08	10+055	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM09	10+995	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM10	11+990	15	100	2132.515	0.055	0.900	0.744
UM11	12+985	15	100	2132.515	0.055	0.900	0.744
UM12	13+940	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM13	14+900	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM14	15+790	15	100	2132.515	0.055	0.900	0.744
UM15	16+800	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM16	17+995	15	100	2132.515	0.055	0.900	0.744
UM17	18+995	15	100	2132.515	0.055	0.900	0.744
UM18	20+010	15	100	2132.515	0.055	0.900	0.744
UM19	21+010	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM20	22+000	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM21	22+995	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM22	23+995	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM23	25+100	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM24	26+000	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM25	27+000	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM26	28+000	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM27	29+020	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM28	30+020	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM29	31+020	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM30	32+020	15	100	2132.515	0.055	0.900	0.744
UM31	33+020	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM32	34+045	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM33	35+045	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM34	36+040	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM35	37+140	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM36	38+015	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM37	39+005	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785

UM38	40+005	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM39	41+005	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM40	42+005	15	100	2132.515	0.055	0.900	0.744
UM41	43+005	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM42	44+040	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM43	45+000	15	100	2132.515	0.055	0.900	0.744
UM44	45+990	15	100	2132.515	0.055	0.900	0.744
UM45	47+025	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM46	48+020	15	100	2132.515	0.055	0.900	0.744
UM47	49+010	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM48	49+990	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM49	51+060	15	100	2132.515	0.055	0.900	0.744
UM50	51+890	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM51	52+880	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM52	53+845	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM53	54+880	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM54	55+840	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM55	56+840	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM56	57+880	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM57	58+880	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM58	59+840	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM59	60+835	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM60	61+790	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM61	62+760	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM62	63+880	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM63	64+840	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM64	65+830	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM65	66+720	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM66	67+800	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM67	68+660	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM68	69+700	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM69	70+680	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785
UM70	71+710	15	100	2132.515	0.055	0.950	0.785

Nota. UM=Unidad muestral, H=Espesor de capa, E= Módulo elástico o módulo de resiliencia de la base granular, a2=Coefficiente estructural de la base granular, m2=Coefficiente de drenaje de la base granular, SN2=Número estructural de la base granular, fuente: Estudio definitivo de la carretera Huancavelica - Lircay, HOB Consultores S.A. (2013).

Tabla 25. Recolección de datos del número estructural de la sub base

UM	Progresiva	SUB BASE GRANULAR					
		H (cm)	CBR (%)	E (kg/cm ²)	a ₃ (/cm)	m ₃	SN ₃
UM01	2+940	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM02	3+835	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM03	4+810	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM04	5+785	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM05	6+765	17.5	40	1117.289	0.045	0.950	0.752
UM06	8+030	17.5	40	1117.289	0.045	0.950	0.752
UM07	9+050	17.5	40	1117.289	0.045	0.900	0.713
UM08	10+055	17.5	40	1117.289	0.045	0.950	0.752
UM09	10+995	17.5	40	1117.289	0.045	0.950	0.752
UM10	11+990	17.5	40	1117.289	0.045	0.800	0.633
UM11	12+985	17.5	40	1117.289	0.045	0.900	0.713
UM12	13+940	17.5	40	1117.289	0.045	0.950	0.752
UM13	14+900	17.5	40	1117.289	0.045	0.950	0.752
UM14	15+790	17.5	40	1117.289	0.045	0.900	0.713
UM15	16+800	17.5	40	1117.289	0.045	0.950	0.752
UM16	17+995	17.5	40	1117.289	0.045	0.900	0.713
UM17	18+995	17.5	40	1117.289	0.045	0.900	0.713
UM18	20+010	17.5	40	1117.289	0.045	0.900	0.713
UM19	21+010	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM20	22+000	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM21	22+995	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM22	23+995	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM23	25+100	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM24	26+000	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM25	27+000	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM26	28+000	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM27	29+020	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM28	30+020	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM29	31+020	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM30	32+020	15	40	1117.289	0.045	0.800	0.543
UM31	33+020	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM32	34+045	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM33	35+045	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM34	36+040	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM35	37+140	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM36	38+015	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM37	39+005	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM38	40+005	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645

UM39	41+005	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM40	42+005	15	40	1117.289	0.045	0.900	0.611
UM41	43+005	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM42	44+040	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM43	45+000	15	40	1117.289	0.045	0.900	0.611
UM44	45+990	15	40	1117.289	0.045	0.800	0.543
UM45	47+025	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM46	48+020	15	40	1117.289	0.045	0.800	0.543
UM47	49+010	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM48	49+990	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM49	51+060	15	40	1117.289	0.045	0.900	0.611
UM50	51+890	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM51	52+880	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM52	53+845	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM53	54+880	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM54	55+840	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM55	56+840	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM56	57+880	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM57	58+880	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM58	59+840	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM59	60+835	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM60	61+790	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM61	62+760	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM62	63+880	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM63	64+840	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM64	65+830	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM65	66+720	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM66	67+800	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM67	68+660	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM68	69+700	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM69	70+680	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645
UM70	71+710	15	40	1117.289	0.045	0.950	0.645

Nota. UM=Unidad muestral, H=Espesor de capa, E= Módulo elástico o módulo de resiliencia de la sub base, a3=Coefficiente estructural de la sub base, m3=Coefficiente de drenaje de la sub base, SN3=Número estructural de la sub base, fuente: Estudio definitivo de la carretera Huancavelica - Lircay, HOB Consultores S.A. (2013).

Tabla 26. Recolección de datos del número estructural de la subrasante

UM	Progresiva	SUBRASANTE				
		NF	CBR (%)	Clasificación	E (kg/cm2)	SNSG
UM01	2+940		10.1	Buena	657.852	0.825
UM02	3+835		18.4	Buena	994.870	1.129
UM03	4+810		18.7	Buena	1006.028	1.136
UM04	5+785		19.6	Buena	1039.173	1.155
UM05	6+765		11.8	Buena	732.348	0.915
UM06	8+030		11.6	Buena	723.766	0.905
UM07	9+050	1.15	29.5	Muy Buena	1377.645	1.288
UM08	10+055		30	Excelente	1393.705	1.292
UM09	10+995		13.3	Buena	795.346	0.979
UM10	11+990	0.4	9.5	Regular	630.647	0.787
UM11	12+985	1.2	11.6	Buena	723.766	0.905
UM12	13+940		8.3	Regular	574.572	0.700
UM13	14+900		30	Excelente	1393.705	1.292
UM14	15+790	1.3	24.6	Muy Buena	1215.449	1.235
UM15	16+800		23.6	Muy Buena	1181.158	1.222
UM16	17+995	0.6	11.4	Buena	715.137	0.896
UM17	18+995	1.2	14.3	Buena	836.118	1.015
UM18	20+010	1.1	12.3	Buena	753.610	0.938
UM19	21+010		30	Excelente	1393.705	1.292
UM20	22+000		30	Excelente	1393.705	1.292
UM21	22+995		30	Excelente	1393.705	1.292
UM22	23+995		30	Excelente	1393.705	1.292
UM23	25+100		30	Excelente	1393.705	1.292
UM24	26+000		29	Muy Buena	1361.500	1.283
UM25	27+000		29	Muy Buena	1361.500	1.283
UM26	28+000		24.6	Muy Buena	1215.449	1.235
UM27	29+020		16.3	Buena	915.108	1.077
UM28	30+020		30	Excelente	1393.705	1.292
UM29	31+020		20.9	Muy Buena	1086.228	1.179
UM30	32+020	0.4	8.4	Regular	579.337	0.708
UM31	33+020		30	Excelente	1393.705	1.292
UM32	34+045		30	Excelente	1393.705	1.292
UM33	35+045		30	Excelente	1393.705	1.292
UM34	36+040		18.9	Buena	1013.435	1.140
UM35	37+140		30	Excelente	1393.705	1.292
UM36	38+015		30	Excelente	1393.705	1.292
UM37	39+005		30	Excelente	1393.705	1.292
UM38	40+005		30	Excelente	1393.705	1.292

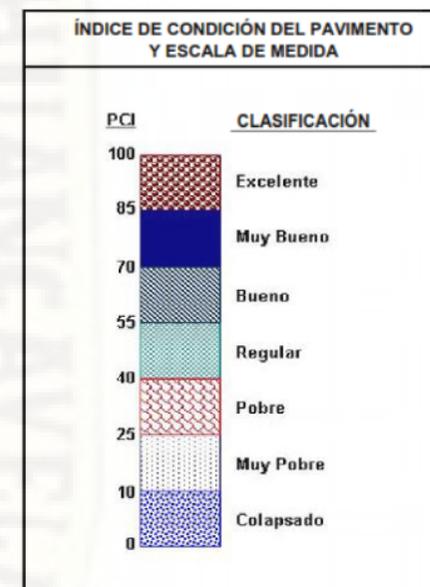
UM39	41+005		26.3	Muy Buena	1272.769	1.256
UM40	42+005	0.6	28	Muy Buena	1328.948	1.274
UM41	43+005		29	Muy Buena	1361.500	1.283
UM42	44+040		30	Excelente	1393.705	1.292
UM43	45+000	0.6	30	Excelente	1393.705	1.292
UM44	45+990	0.3	29	Muy Buena	1361.500	1.283
UM45	47+025		29	Muy Buena	1361.500	1.283
UM46	48+020	0.4	14.4	Buena	840.146	1.019
UM47	49+010		30	Excelente	1393.705	1.292
UM48	49+990		26.8	Muy Buena	1289.406	1.261
UM49	51+060	1.45	8.1	Regular	564.988	0.684
UM50	51+890		30	Excelente	1393.705	1.292
UM51	52+880		28	Muy Buena	1328.948	1.274
UM52	53+845		30	Excelente	1393.705	1.292
UM53	54+880		13.6	Buena	807.675	0.990
UM54	55+840		29	Muy Buena	1361.500	1.283
UM55	56+840		30	Excelente	1393.705	1.292
UM56	57+880		29	Muy Buena	1361.500	1.283
UM57	58+880		29	Muy Buena	1361.500	1.283
UM58	59+840		29	Muy Buena	1361.500	1.283
UM59	60+835		14.2	Buena	832.082	1.012
UM60	61+790		29	Muy Buena	1361.500	1.283
UM61	62+760		19.8	Buena	1046.474	1.159
UM62	63+880		21.7	Muy Buena	1114.732	1.193
UM63	64+840		14.3	Buena	836.118	1.015
UM64	65+830		15.3	Buena	876.014	1.048
UM65	66+720		30	Excelente	1393.705	1.292
UM66	67+800		11.7	Buena	728.063	0.910
UM67	68+660		11.6	Buena	723.766	0.905
UM68	69+700		28	Muy Buena	1328.948	1.274
UM69	70+680		30	Excelente	1393.705	1.292
UM70	71+710		30	Excelente	1393.705	1.292

Nota. UM=Unidad muestral, NF=Altura de presencia de nivel freático (valores en blanco indica que no se encontró nivel freático), E= Módulo elástico o módulo de resiliencia de la subrasante, SNSG=Número estructural de la subrasante, fuente: Estudio definitivo de la carretera Huancavelica - Lircay, HOB Consultores S.A. (2013).

Apéndice 02: Recolección de datos del índice de condición del pavimento

Figura 35. Resultados del índice de condición del pavimento (PCI)

MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA ASTM D 6433 (2003)								
TRAMO: HUANCAVELICA - LIRCAY / CARRIL AMBOS								
N°	ÁREA (m ²)	UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVA		m	VDC	PCI	CLASIFICACIÓN
			INICIAL	FINAL				
01	264.0	001	02+920	02+960		26	74	Muy Bueno
02	264.0	002	03+815	03+855	9.7	8	92	Excelente
03	264.0	003	05+060	05+100	9.5	9	91	Excelente
04	264.0	004	05+765	05+805		6	94	Excelente
05	264.0	005	06+745	06+785		8	92	Excelente
06	264.0	006	08+010	08+050		8	92	Excelente
07	264.0	007	09+030	09+070		2	98	Excelente
08	264.0	008	10+035	10+075		1	99	Excelente
09	264.0	009	10+975	11+015	9.6	8	92	Excelente
10	264.0	010	11+970	12+010		19	81	Muy Bueno
11	264.0	011	12+965	13+005	9.5	10	90	Excelente
12	264.0	012	13+920	13+960		12	88	Excelente
13	264.0	013	14+880	14+920		1	99	Excelente
14	264.0	014	15+770	15+810		5	95	Excelente
15	264.0	015	16+780	16+820	9.9	5	95	Excelente
16	264.0	016	17+975	18+015		9	91	Excelente
17	264.0	017	18+975	19+015		5	95	Excelente
18	264.0	018	19+990	20+030		12	88	Excelente
19	264.0	019	20+990	21+030		0	100	Excelente
20	264.0	020	21+980	22+020		1	99	Excelente
21	264.0	021	22+975	23+015		3	97	Excelente
22	264.0	022	23+975	24+015		1	99	Excelente
23	264.0	023	25+080	25+120		1	99	Excelente

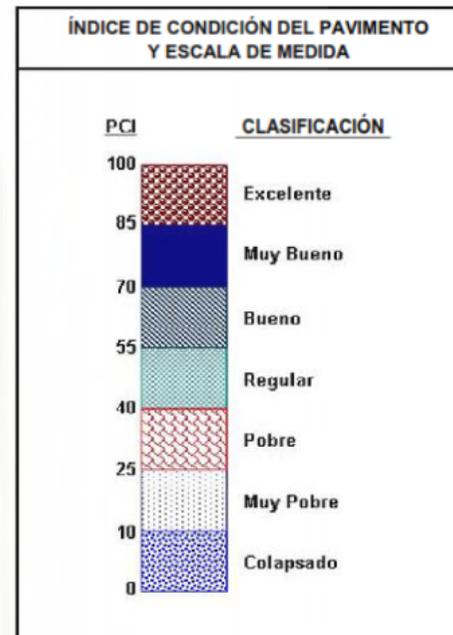


(continúa)

**MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO
CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA
ASTM D 6433 (2003)**

TRAMO: HUANCVELICA - LIRCAY / CARRIL AMBOS

N°	ÁREA (m ²)	UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVA		m	VDC	PCI	CLASIFICACIÓN
			INICIAL	FINAL				
24	264.0	024	25+980	26+020		1	99	Excelente
25	264.0	025	26+980	27+020		3	97	Excelente
26	264.0	026	27+980	28+020		4	96	Excelente
27	264.0	027	29+000	29+040		4	96	Excelente
28	264.0	028	30+000	30+040		3	97	Excelente
29	264.0	029	31+000	31+040		2	98	Excelente
30	264.0	030	31+960	32+000		32	68	Buena
31	264.0	031	33+000	33+040		1	99	Excelente
32	264.0	032	34+025	34+065		2	98	Excelente
33	264.0	033	35+025	35+065		2	98	Excelente
34	264.0	034	36+020	36+060		5	95	Excelente
35	264.0	035	37+120	37+160		3	97	Excelente
36	264.0	036	37+995	38+035		4	96	Excelente
37	264.0	037	38+985	39+025		3	97	Excelente
38	264.0	038	39+985	40+025		1	99	Excelente
39	264.0	039	40+985	41+025		3	97	Excelente
40	264.0	040	41+985	42+025		3	97	Excelente
41	264.0	041	42+985	43+025		9	91	Excelente
42	264.0	042	44+020	44+060		4	96	Excelente
43	264.0	043	44+980	45+020		3	97	Excelente
44	264.0	044	45+970	46+010		3	97	Excelente
45	264.0	045	47+005	47+045		2	98	Excelente
46	264.0	046	48+000	48+040		13	87	Excelente



(continúa)

**MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO
CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA
ASTM D 6433 (2003)**

TRAMO: HUANCAVELICA - LIRCAY / CARRIL AMBOS

N°	ÁREA (m ²)	UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVA		m	VDC	PCI	CLASIFICACIÓN
			INICIAL	FINAL				
47	264.0	047	48+990	49+030		9	91	Excelente
48	264.0	048	49+970	50+010		3	97	Excelente
49	264.0	049	51+040	51+080	9.3	13	87	Excelente
50	264.0	050	51+870	51+910		2	98	Excelente
51	264.0	051	52+860	52+900		1	99	Excelente
52	264.0	052	53+825	53+865		3	97	Excelente
53	264.0	053	54+860	54+900		8	92	Excelente
54	264.0	054	55+820	55+860		1	99	Excelente
55	264.0	055	56+820	56+860		2	98	Excelente
56	264.0	056	57+860	57+900		2	98	Excelente
57	264.0	057	58+860	58+900		4	96	Excelente
58	264.0	058	59+820	59+860		2	98	Excelente
59	264.0	059	60+815	60+855	9.8	8	92	Excelente
60	264.0	060	61+770	61+810		2	98	Excelente
61	264.0	061	62+740	62+780		6	94	Excelente
62	264.0	062	63+860	63+900		8	92	Excelente
63	264.0	063	64+820	64+860		9	91	Excelente
64	264.0	064	65+810	65+850		7	93	Excelente
65	264.0	065	66+700	66+740		3	97	Excelente
66	264.0	066	67+780	67+820	9.5	10	90	Excelente
67	264.0	067	68+640	68+680		10	90	Excelente
68	264.0	068	69+680	69+720		2	98	Excelente
69	264.0	069	70+660	70+700		1	99	Excelente



(continúa)

MÉTODO ESTÁNDAR DE EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO
 CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA
 ASTM D 6433 (2003)

TRAMO: HUANCAVELICA - LIRCAY / CARRIL AMBOS

N°	ÁREA (m ²)	UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVA		m	VDC	PCI	CLASIFICACIÓN
			INICIAL	FINAL				
70	264.0	070	71+690	71+730		2	98	Excelente
PROMEDIO							94	Excelente



Nota. Resultado extraído del software “EvalPav Carreteras” elaborado por el ingeniero Gerber J. Zavala Ascaño.

Tabla 27. Hoja de datos de deterioros por tipo y severidad

Area (m ²)	Unidad de muestra	Progresiva inicial	Progresiva final	Daño	Severidad	01	02	03	04	05	06	07	08	Total	Densidad	Valor deducido
264.0	1	02+920	02+960	15	L	11.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2	4.2	26
264.0	2	03+815	03+855	10	L	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	1.1	0
264.0	2	03+815	03+855	19	L	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8	10.6	5
264.0	2	03+815	03+855	7	L	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	2.7	5
264.0	3	05+060	05+100	10	L	2.8	6.5	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.3	6.2	7
264.0	3	05+060	05+100	10	M	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	1.6	4
264.0	4	05+765	05+805	10	L	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	2.1	0
264.0	4	05+765	05+805	15	L	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.6	5
264.0	4	05+765	05+805	5	L	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.9	1
264.0	5	06+745	06+785	5	L	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3	5.4	8
264.0	6	08+010	08+050	10	L	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	2.3	1
264.0	6	08+010	08+050	5	L	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	4.0	7
264.0	7	09+030	09+070	19	L	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	1.0	0
264.0	7	09+030	09+070	5	L	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	1.3	2
264.0	8	10+035	10+075	4	L	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.6	1
264.0	8	10+035	10+075	19	L	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	1.1	0
264.0	9	10+975	11+015	19	L	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	4.4	3
264.0	9	10+975	11+015	5	L	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1	3.1	6
264.0	10	11+970	12+010	15	L	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	2.3	18
264.0	10	11+970	12+010	5	L	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.2	1
264.0	11	12+965	13+005	5	L	11.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	4.5	8
264.0	11	12+965	13+005	7	L	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	2.8	5
264.0	12	13+920	13+960	18	L	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.9	2

264.0	12	13+920	13+960	19	L	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	1.5	1
264.0	12	13+920	13+960	5	L	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	6.4	9
264.0	13	14+880	14+920	5	L	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	1.0	1
264.0	14	15+770	15+810	5	L	2.4	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	2.4	5
264.0	15	16+780	16+820	15	L	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.4	3
264.0	15	16+780	16+820	5	L	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	1.8	3
264.0	16	17+975	18+015	19	L	3.8	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	3.0	2
264.0	16	17+975	18+015	5	L	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3	3.5	7
264.0	17	18+975	19+015	19	L	22.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.1	8.4	5
264.0	18	19+990	20+030	15	L	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	1.3	12
264.0	18	19+990	20+030	19	L	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.6	0
264.0	19	20+990	21+030	19	L	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.5	0
264.0	20	21+980	22+020		L	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	1.1	0
264.0	20	21+980	22+020	5	L	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	1.0	1
264.0	21	22+975	23+015	5	L	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	1.8	3
264.0	21	22+975	23+015	19	L	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.3	0
264.0	22	23+975	24+015	5	L	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	1
264.0	23	25+080	25+120	19	L	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	2.1	1
264.0	24	25+980	26+020	19	L	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	1.8	1
264.0	25	26+980	27+020	19	L	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	1.1	0
264.0	25	26+980	27+020	5	L	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	1.6	3
264.0	26	27+980	28+020	19	L	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	5.7	4
264.0	27	29+000	29+040	19	L	16.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.4	6.2	4
264.0	28	30+000	30+040	19	L	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	2.5	2
264.0	28	30+000	30+040	5	L	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.7	1
264.0	29	31+000	31+040	5	L	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	1.6	2
264.0	30	31+960	32+000	10	L	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	1.9	0
264.0	30	31+960	32+000	11	L	56.1	66.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	122.1	46.3	32
264.0	31	33+000	33+040	19	L	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	2.3	1

264.0	32	34+025	34+065	5	L	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	1.5	2
264.0	33	35+025	35+065	19	L	2.7	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	2.5	2
264.0	34	36+020	36+060	10	L	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	2.5	1
264.0	34	36+020	36+060	19	L	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	7.6	4
264.0	35	37+120	37+160	5	L	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	1.6	3
264.0	36	37+995	38+035	15	L	0.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.5	4
264.0	37	38+985	39+025	19	L	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	3.8	3
264.0	38	39+985	40+025	15	L	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	1
264.0	38	39+985	40+025	19	L	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.2	0
264.0	39	40+985	41+025	18	L	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	1.5	3
264.0	40	41+985	42+025		L	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	0
264.0	40	41+985	42+025	5	L	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	1.7	3
264.0	41	42+985	43+025	2	L	100.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.3	38.0	9
264.0	42	44+020	44+060	18	L	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	1.9	4
264.0	43	44+980	45+020	18	L	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	1.5	3
264.0	44	45+970	46+010	19	L	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	3.8	3
264.0	45	47+005	47+045	18	L	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	1.1	2
264.0	46	48+000	48+040	15	L	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	1.5	13
264.0	47	48+990	49+030	15	L	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.9	9
264.0	48	49+970	50+010	10	L	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	1.3	0
264.0	48	49+970	50+010	18	L	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	1.5	3
264.0	49	51+040	51+080		L	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	2.7	1
264.0	49	51+040	51+080	15	L	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	1.1	10
264.0	49	51+040	51+080	19	L	16.5	17.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.9	12.8	6
264.0	50	51+870	51+910	5	L	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	1.4	2
264.0	51	52+860	52+900	10	L	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	2.5	1
264.0	52	53+825	53+865	18	L	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	1.4	3
264.0	53	54+860	54+900	5	L	14.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.7	5.6	8
264.0	54	55+820	55+860	18	L	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.5	1

264.0	55	56+820	56+860	18	L	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.8	2
264.0	56	57+860	57+900	19	L	3.4	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	2.8	2
264.0	57	58+860	58+900	19	L	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3	5.4	4
264.0	58	59+820	59+860	19	L	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	2.9	2
264.0	59	60+815	60+855	10	L	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	2.3	0
264.0	59	60+815	60+855	18	L	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.8	2
264.0	59	60+815	60+855	19	L	9.3	10.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.5	7.4	4
264.0	59	60+815	60+855	7	L	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	1.7	4
264.0	60	61+770	61+810	5	L	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	1.6	2
264.0	61	62+740	62+780	19	L	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	1.8	1
264.0	61	62+740	62+780	10	L	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	4.6	5
264.0	62	63+860	63+900	5	L	6.5	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.2	5.0	8
264.0	63	64+820	64+860	5	L	8.7	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.7	6.7	9
264.0	64	65+810	65+850	5	L	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8	3.3	7
264.0	65	66+700	66+740		L	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	2.1	1
264.0	65	66+700	66+740	7	L	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	1.0	2
264.0	66	67+780	67+820	19	L	11.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	4.3	3
264.0	66	67+780	67+820	5	L	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.4	4.7	8
264.0	67	68+640	68+680		L	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	1.7	0
264.0	67	68+640	68+680	19	L	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8	3.3	2
264.0	67	68+640	68+680	5	L	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.6	4.4	8
264.0	68	69+680	69+720	19	L	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	3.0	2
264.0	69	70+660	70+700	19	L	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	2.4	1
264.0	70	71+690	71+730	19	L	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.7	0
264.0	70	71+690	71+730	13	L	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	2

Nota. Hoja de deterioros por tipo y severidad, extraído del software “EvalPav Carreteras” elaborado por el ingeniero Gerber J.

Zavala Ascaño.

Apéndice 03: Panel fotográfico de auscultación en campo

Figura 36. Equipo de trabajo para el relevamiento de información en campo.



Nota. En la progresiva 71+635, de izquierda a derecha: Daniel P. (apoyo técnico), Christian P. (tesista), Karol E. (tesista), Josue Z. (apoyo técnico)

Figura 37. Realizando el relevamiento de información.



Figura 38. Materiales utilizados en el relevamiento de información.



Figura 39. Evidenciando la existencia de fallas superficiales en el pavimento.



Apéndice 04: Representaciones gráficas de las unidades muestrales



UM01: : 2+920 - 2+960



UM02: : 3+815 - 3+855



UM03: : 5+060 - 5+100



UM04: 5+765 - 5+805



UM05: 6+745 - 6+785



UM06: : 8+010 - 8+050



UM07: : 9+030 - 9+070



UM08: 10+035 - 10+075



UM09: 10+975 - 11+015



UM10: 11+970 - 12+010



UM11: 12+965 - 13+005



UM12: 13+920 - 13+960



UM13: 14+880 - 14+920



UM14: 15+770 - 15+810



UM15: 16+780 - 16+820



UM16: 17+975 - 18+015



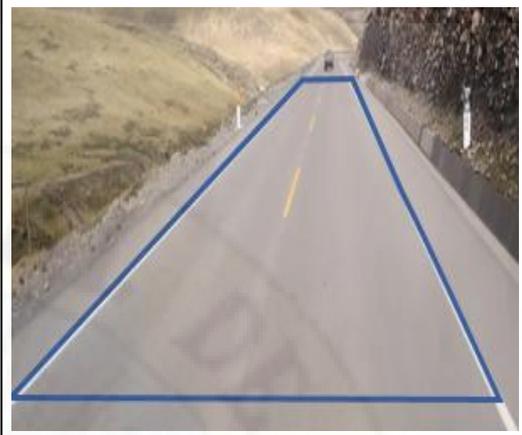
UM17: 18+975 - 19+015



UM18: 19+990 - 20+030



UM19: 20+990 - 21+030



UM20: 21+980 - 22+020



UM21: 22+975 - 23+015



UM22: 23+975 - 24+015



UM23: 25+080 - 25+120



UM24: 25+080 - 25+120



UM25: 26+980 - 27+020



UM26: 27+980 - 28+020



UM27: 29+000 - 29+040



UM28: 30+000 - 30+040



UM29: 31+000 - 31+040



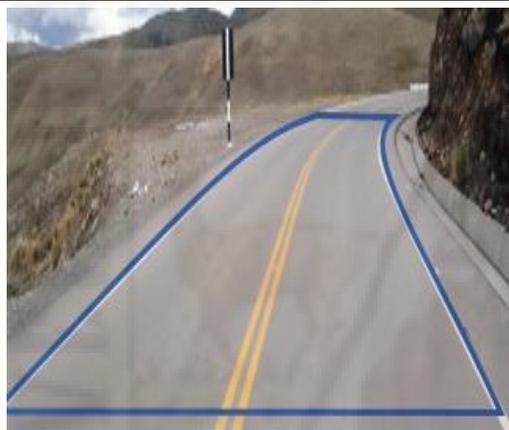
UM30: 31+960 - 32+000



UM31: 33+000 - 33+040



UM32: 34+025 - 34+065



UM33: 35+025 - 35+065



UM34: 36+020 - 36+060



UM35: 37+120 - 37+160



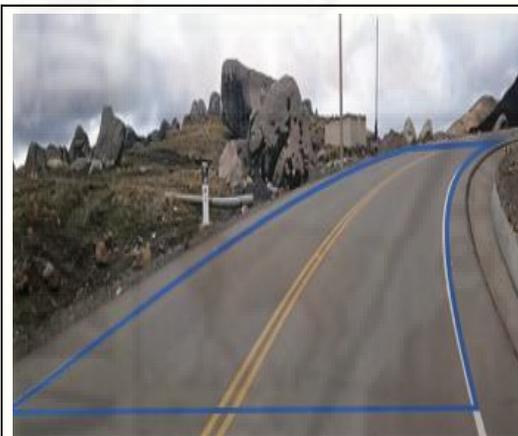
UM36: 37+120 - 37+160



UM37: 38+985 - 39+025



UM38: 39+985 - 40+025



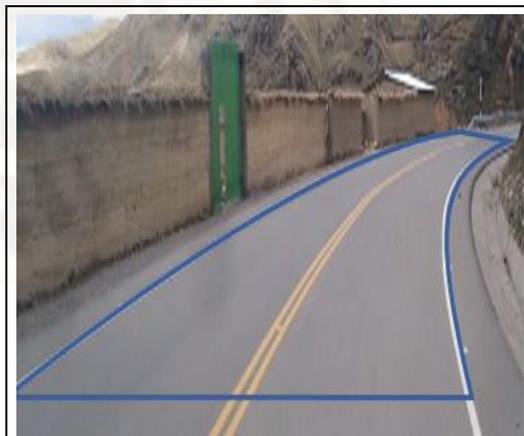
UM39: 40+985 - 41+025



UM40: 41+985 - 42+025



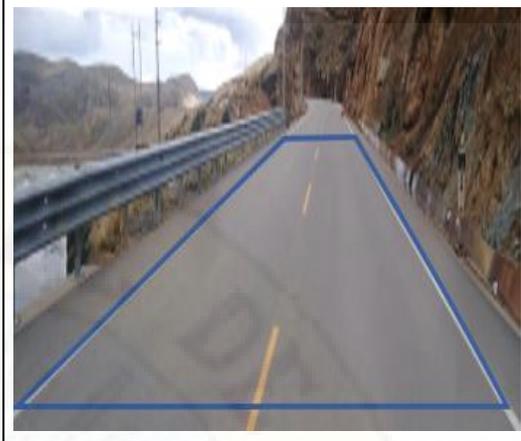
UM41: 42+985 - 43+025



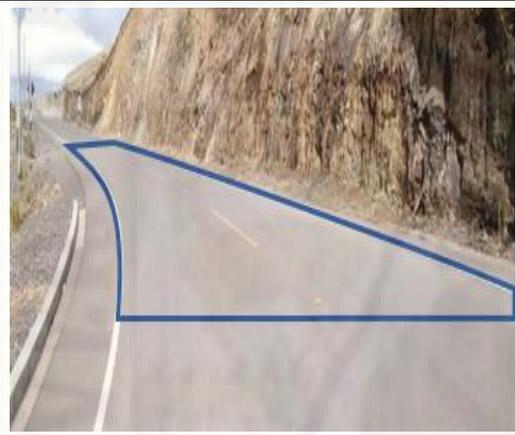
UM42: 44+020 - 44+060



UM43: 44+980 - 45+020



UM44: 45+970 - 46+010



UM45: 47+005 - 47+045



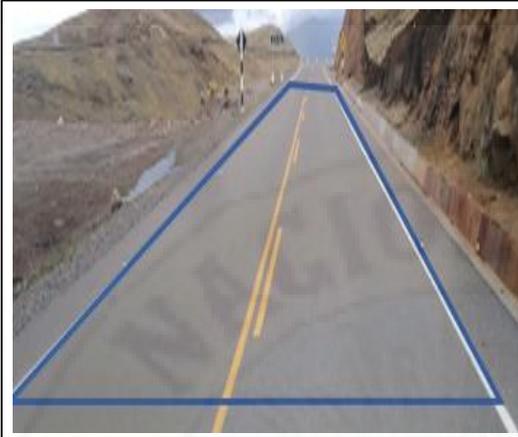
UM46: 48+000 - 48+040



UM47: 48+990 - 49+030



UM48: 49+970 - 50+010



UM49: 51+040 - 51+080



UM50: 51+870 - 51+910



UM51: 52+860 - 52+900



UM52: 53+825 - 53+865



UM53: 54+860 - 54+900



UM54: 55+820 - 55+860



UM55: 56+820 - 56+860



UM56: 57+860 - 57+900



UM57: 58+860 - 58+900



UM58: 59+820 - 59+860



UM59: 60+815 - 60+855



UM60: 61+770 - 61+810



UM61: 62+740 - 62+780



UM62: 63+860 - 63+900



UM63: 64+820 - 64+860



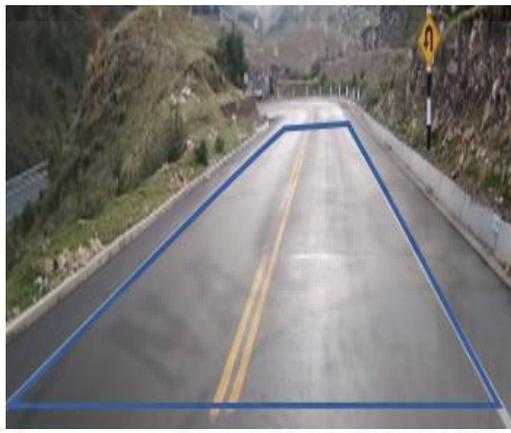
UM64: 65+810 - 65+850



UM65: 66+700 - 66+740



UM66: 67+780 - 67+820



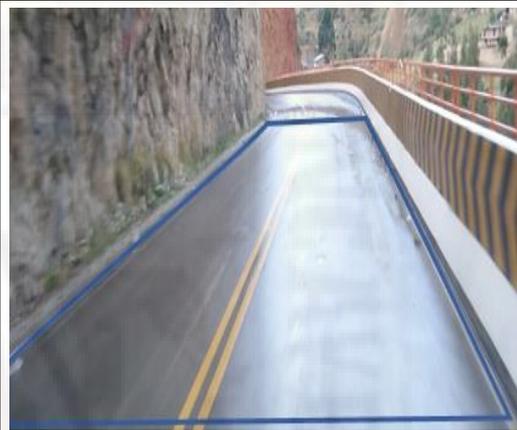
UM67: 68+640 - 68+680



UM68: 69+680 - 69+720



UM69: 70+660 - 70+700



UM70: 71+690 - 71+730

Apéndice 05: Matriz de consistencia

Título: Influencia de la rigidez del pavimento en la condición superficial del pavimento utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B.

Definición del problema	Objetivos	Marco teórico	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema general</p> <p>¿De qué manera influye la rigidez del pavimento en la condición superficial del pavimento, utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B?</p> <p>Problemas específicos:</p> <p>a. ¿De qué manera influye el número estructural del pavimento construido en la condición superficial del pavimento, utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B?</p> <p>b. ¿De qué manera influye el número estructural de la subrasante en la condición superficial del pavimento, utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar la influencia de la rigidez del pavimento en la condición superficial del pavimento utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <p>a. Determinar la influencia del número estructural del pavimento construido en la condición superficial del pavimento, utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B.</p> <p>b. Determinar la influencia del número estructural de la subrasante en la condición superficial del pavimento, utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B.</p>	<p>Antecedentes Internacionales:</p> <ul style="list-style-type: none"> Setyawana, A., Nainggolanb, J., & Budiarto, A. (2015). Predicting the remaining service life of road using pavement condition index. <i>Procedia engineering</i> (125), 417-423. doi:10.1016/j.proeng.2015.11.108 Beltan, G., & Romo, M. (2014). Evaluación de pavimentos y decisiones de conservación con base en sistemas de inferencia difusos. <i>Ingeniería, investigación y tecnología, XV</i>(3), 391-402. doi:10.1016/S1405-7743(14)70349-X Shahnazari, H., Tutunchian, M., Mashayekhi, M., & Amini, A. (2012). Application of soft computing for prediction of pavement condition index. <i>Journal of transportation engineering</i> (138), 1495-1605. doi:10.1061/(ASCE)TE <p>Nacional:</p> <ul style="list-style-type: none"> Leguía, P. y Pacheco, H. (2016). Evaluación superficial del pavimento flexible por el método Pavement Condition Index (PCI) en las vías arteriales: Cincuentenario, Colón y Miguel Grau (Huacho-Huaura-Lima). Lima: Universidad San Martín de Porres. <p>Local:</p> <ul style="list-style-type: none"> Paytán, J. (2018). Estimación del índice de regularidad internacional en pavimentos flexibles usando redes neuronales artificiales. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica. <p>Marco teórico referencial</p> <ul style="list-style-type: none"> Rigidez del pavimento. Inventario de condición vial. Modelos de deterioros de pavimentos. Inteligencia artificial. 	<p>Hipótesis general</p> <p>La rigidez del pavimento influye significativamente en la condición superficial del pavimento, utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B</p> <p>Hipótesis específicas:</p> <p>a. El número estructural del pavimento construido influye significativamente en la condición superficial del pavimento, utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B.</p> <p>b. El número estructural de la subrasante influye significativamente en la condición superficial del pavimento, utilizando técnicas de inteligencia artificial en la vía nacional PE-26B.</p>	<p>Identificación de Variables:</p> <p>a. Variable independiente: Rigidez del pavimento. Dimensiones:</p> <ol style="list-style-type: none"> Número estructural construido del pavimento (SN*). Número estructural de la subrasante (SNSG). <p>b. Variable dependiente: Condición superficial del pavimento.</p>	<p>Tipo: Aplicada Nivel: Explicativo. Diseño de investigación: D.G.: No experimental – Ex Post Facto D.E.: Transversal correlacional-causal</p> <div style="text-align: center;"> <pre> graph TD M --> O1 M --> O2 O1 -- r --> O2 </pre> </div> <p>Dónde: <i>M</i> : Muestra. <i>O₁</i> : Observación de variable independiente. <i>O₂</i> : Observación de variable dependiente. <i>r</i> : Relación entre variables.</p> <p>Población y muestra Población: Vía nacional PE-26B. Muestra: 70 unidades muestrales. Selección de muestra: Muestreo no probabilístico.</p> <p>Técnicas e instrumentos de recolección de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Auscultaciones del deterioro del pavimento (PCI). <p>Técnicas de procesamiento de datos</p> <ul style="list-style-type: none"> Modelo de redes neuronales. <p>Técnicas de análisis e interpretación de resultados:</p> <ul style="list-style-type: none"> Estadística correlacional e inferencial.