



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Evaluación estructural no destructiva de pavimento flexible
mediante la solución del algoritmo AASHTO 1993, Carretera Piura-
Paíta, 2022

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Civil

AUTORA:

Romero Perez, Briggy Gianella del Pilar (orcid.org/0000-0001-5954-9450)

ASESOR:

Mg. Olarte Pinares, Jorge Richard (orcid.org/0000-0001-5699-1323)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

LIMA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios y a mi familia por su constante apoyo y motivación para alcanzar mis objetivos académicos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, quienes con su paciencia, amor y perseverancia lograron formar en mi un profesional competente, responsable y líder.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	27
3.1 Tipo y diseño de investigación	27
3.2 Variables y Operacionalización.....	28
3.3 Población, muestra y muestreo	28
3.4 Técnica e instrumentos.....	29
3.5 Procedimientos.....	29
3.6 Método de análisis.....	33
3.7 Aspectos éticos	34
IV. RESULTADOS	35
V. DISCUSIÓN	64
VI. CONCLUSIONES	67
VII. RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS	69
ANEXOS	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Correlaciones entre CBR y Módulo Resiliente M_r	14
Tabla 2. Secuencia de cálculo del método de las diferencias acumuladas	19
Tabla 3. Modulo resiliente de la subrasante.....	40
Tabla 4. Resultados del Módulo resiliente del pavimento.....	44
Tabla 5. Análisis estadístico	50
Tabla 6. Resultados del Número Estructural existente	52
Tabla 7. Análisis estadístico	53
Tabla 8. Deflectograma	56
Tabla 9. Curva de deflexión.....	58
Tabla 10. Cálculo del refuerzo.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de un pavimento flexible	8
Figura 2. Concepto general del método de diferencias acumuladas	17
Figura 3. Vista gráfica del método de diferencias acumuladas	20
Figura 4. Equipo Deflectómetro de Impacto.....	21
Figura 5. Barra de geófonos.....	23
Figura 6. Deflectómetro de impacto	23
Figura 7. Deflectómetro de impacto (FWD). y disposición de los geófonos.....	24
Figura 8. Reconocimiento de la carretera Piura-Paita.....	30
Figura 9. Termómetro para registro temperatura de pavimento.....	30
Figura 10. Factor de ajuste.....	32
Figura 11. Barra de geófonos.....	33
Figura 12. Medición de deflexiones con el deflectómetro de impacto	33
Figura 13. Mapa político del Perú	36
Figura 14. Mapa político del Departamento de Junín	37
Figura 15. Mapa del departamento de Piura.....	37
Figura 16. Mapa de la provincia de Paita.....	38
Figura 17. Promedio de Temperatura normal	39
Figura 19. Evaluación estructural	50
Figura 20. Vista del ensayo con el deflectómetro de impacto (FWD).....	51
Figura 21. Evaluación estructural	54
Figura 22. Vista del ensayo con el deflectómetro de impacto (FWD).....	54
Figura 23. Deflectograma	57
Figura 24. Diseño del pavimento	63

RESUMEN

La presente investigación consiste en la resolución del algoritmo ASSHTO 1993 aplicando metodologías no destructivas para evaluar estructuralmente las condiciones mecánicas de pavimentos flexibles con fines de rehabilitación, el estudio a evaluar se realiza en la vía Piura - Paita, en dirección al oeste teniendo una población de 46 km, tomando una muestra de 10 km desde la progresiva 5+100 hasta la progresiva 15+100. Este método se aplica para obtener el diseño del refuerzo del pavimento flexible por medio de la metodología de retrocálculo explicada en la Guía ASSTHO 93, mediante el análisis de deflexiones medidas utilizando el deflectómetro de impacto (FWD), de esta manera se obtiene el módulo resiliente de la subrasante, el módulo resiliente del pavimento, el número estructural existente, con la finalidad de estimar el espesor de refuerzo, para lograr una proyección de vida útil del pavimento de 15 años y de esta manera contribuir a la gestión para el desarrollo vial.

Palabras clave: Módulo resiliente, Número estructural efectivo, Número estructural requerido, Deflectómetro de impacto y ESAL.

ABSTRACT

The present investigation consists of the resolution of the ASSHTO 1993 algorithm applying non-destructive methodologies to structurally evaluate the mechanical conditions of flexible pavements for rehabilitation purposes, the study to be evaluated is carried out on the Piura - Paita road, heading west, having a population of 46 km, taking a sample of 10 km from station 5+100 to station 15+100. This method is applied to obtain the design of the flexible pavement reinforcement through the backcalculation methodology explained in the ASSTHO 93 Guide, through the analysis of deflections measured using the impact deflectometer (FWD), in this way the resilient modulus is obtained. of the subgrade, the resilient modulus of the pavement, the existing structural number, in order to estimate the reinforcement thickness, to achieve a projection of the useful life of the pavement of 15 years and thus contribute to road development management.

Keywords: Resilient module, Effective structural number, Required structural number, Impact deflectometer, and Esal

I. INTRODUCCIÓN

A largo de los años en diversas partes de mundo las carreteras han sido fundamentales para el crecimiento del comercio y una economía productiva, a nivel internacional, diversos países están afrontando complicaciones de movilidad debido al deterioro de las mismas, es por ello que actualmente se busca una mejora de las técnicas y métodos que contribuyan a la construcción de pavimentos flexibles y rígidos. Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020). En una economía globalizada donde la producción está distribuida geográficamente, la calidad y densidad de la infraestructura vial son cruciales. La precariedad en las vías de transporte reduce el comercio y, por lo tanto, suprime una economía productiva.

España es uno de los países con más problemas en el deterioro de las carreteras, uno de cada 13 km presenta deterioro del más del 50 % de la superficie del pavimento. Los automovilistas califican la N-340 como la carretera menos protegida de España. Siendo la carretera más larga del país, con una longitud de 1248 km. Conectando Cádiz y Barcelona a lo largo de la costa mediterránea. Entre las principales quejas de los transportistas, está el desgaste y el deterioro.

En el año 2017, Perú sufrió los estragos del niño costero, causando estragos en la infraestructura vial, la zona norte es la que sufrió más daños, como resultado, aproximadamente el 80% de las carreteras están gravemente dañadas y necesitan reparaciones urgentes. Según Zegarra, "las precipitaciones y el estrés térmico (calor intenso, principalmente en la parte norte del país) han perjudicado de forma grave las vías, por lo que se observó que el 80.0% se encuentran en pésimas condiciones y que necesitan reparación o ser asfaltadas empleando bitúmenes de larga duración" (1).

En la Región Piura; en el tramo Piura-Paita que se encuentra en la vía interoceánica (IIRSA NORTE), que consiste en una vía con dos calzadas, cada una con dos carriles de 3.60m de ancho y bermas de 1.5m a ambos lados de la autopista.

Cuando se pretende rehabilitar un pavimento tradicionalmente se recurren a técnicas destructivas mediante perforaciones con diamantina, calicatas. Sin embargo, estas

actividades además de ser lentas, son peligrosas, exponiendo al personal a accidentes, asimismo, interrumpen el tránsito y perjudica a los usuarios de la vía.

Según lo expuesto, se realiza la siguiente formulación del problema general ¿De qué manera se puede evaluar estructuralmente un pavimento con fines de rehabilitación sin realizar procedimientos destructivos (calicatas o extracción de diamantinas)?. Para desarrollar el planteamiento general, se establecen tres problemas específicos: ¿Cuál es el procedimiento más preciso para estimar el real modulo resiliente del suelo de fundación?, ¿Mediante qué procedimiento No Destructivo se puede estimar el módulo del pavimento EP?, ¿Mediante qué procedimiento No Destructivo se puede estimar el Número Estructural Efectivo del Pavimento (SN_{eff})?. En el Perú se ha identificado a lo largo de sus obras viales zonas críticas ocasionadas por el deterioro, asentamiento y desastres naturales. Este estudio plantea una solución al algoritmo AASHTO 93 para rehabilitar pavimentos flexibles, el ensayo del deflectómetro de impacto (FWD), es una metodología de diagnóstico estructural no destructivo, la cual permite conocer y evaluar el comportamiento estructural actual en que se encuentra la vía, razón por la cual se justifica de forma teórica, se justifica de manera práctica, por lo que se hace necesario evaluar el pavimento con métodos no destructivos utilizando el deflectómetro de impacto para conservar su integridad del pavimento flexible en la carretera Piura-Paita, a través de ello se realizará cálculo de módulos resilientes a través del retroanálisis con AASHTO 1993, es importante implementar este método ya que radica en que los ensayos son in-situ y no necesitamos realizar perforaciones causando daños al pavimento, también se ahorra dinero y tiempo en la evaluación de las diferentes capas y materiales del pavimento, se justifica de manera social, puesto que es una vía principal que favorece el desarrollo social y económico de la comunidad.

Con lo expuesto este estudio planteó como objetivo general: Evaluar estructuralmente pavimentos para fines de rehabilitación mediante procedimientos No Destructivos (medición de deflexiones) para el diagnóstico estructural al pavimento de la carretera Piura-Paita. Para alcanzar al objetivo general se plantearon tres objetivos específicos tales como: Conocer el módulo resiliente real del suelo de fundación y de las capas del pavimento, Estimar el Módulo resiliente del pavimento EP y Estimar el Número

Estructural existente del pavimento de la carretera Piura-Paita. Dentro de la hipótesis se tiene las posibles respuestas como hipótesis general: Mediante ensayos no destructivos (deflexiones) y la implementación de los algoritmos descritos en la Guía AASHTO 1993 se podría evaluar estructuralmente el pavimento de la carretera Piura-Paita. Asimismo, se pretende desglosar la hipótesis general en hipótesis específicos como: Mediante el análisis de deflexiones y la obtención del módulo de resiliencia se podría conocer la real condición o rigidez del suelo de fundación, mediante el análisis de deflexiones se estimaría el módulo elástico del pavimento (EP) y mediante el análisis de deflexiones se obtendría el Número Estructural Efectivo (SN_{eff}) para fines de conocer el refuerzo del pavimento.

II. MARCO TEÓRICO

Según Balarezo (2), en su proyecto de investigación denominado “Evaluación Estructural del Pavimento de la Vía Cuenca - Azogues, Tramo El Salado - Guangarcucho (20 km), con el Método no Destructivo FWD (Falling Weight Deflectometer) y Diseño de su Rehabilitación” plantea como objetivo hacer un análisis estructural del pavimento utilizando el método de deformímetro de impacto FWD, esta técnica combinada con el análisis inverso (cálculo inverso) puede evaluar la capacidad portante del suelo base (subsuelo) y la capacidad estructural del pavimento. Esta técnica se ha utilizado durante varios años en el Ecuador y el mundo, principalmente para el estudio de pavimentos asfálticos y de hormigón existentes.

Aguirre, Alas y Rivera (3), en su proyecto de investigación “Determinación de los módulos estructurales de pavimento flexible en El Salvador, mediante retrocálculo con el método AASHTO 93 y el software Pitra-Back” consideraron como objetivo principal establecer el módulo estructural de pavimentos flexibles en el país de El Salvador, utilizaron el método retro cálculo con la guía Aashto 1993 y el software pitra-back, obteniendo como resultados en el lateral derecho del pavimento: carretera Sonsonate-Puerto Acajutla un módulo resiliente (MR) de 27,786psi, en el tramo Comalapa-Zacatecoluca un módulo resiliente (MR) de 25,401psi y para la vía desvío San Vicente-km 70 un Mr. de 13,384psi, para el lateral izquierdo del pavimento obtuvo un módulo resiliente de 22,370psi en la carretera Sonsonate-puerto Acajutla y en la carretera Comalapa-Zacatecoluca un módulo resiliente de 26,516psi. Los autores determinaron que el pavimento flexible de la vía de Zacatecoluca y el Puerto de Acajutla poseen un menor módulo de elasticidad, por lo tanto, las deformaciones axiales también son mínimas, lo que disminuye los esfuerzos por fatiga de los pavimentos al enfrentar dichos ciclos de carga; cabe mencionar que los materiales plásticos que no son pertinentes en las estructuras de un pavimento. Los autores, muestran una investigación basada en un análisis comparativo de módulos resilientes de cada capa de la subrasante, mediante metodologías diferentes, empleando el modelo de Software Pitra-Back aun en desarrollo que permitió determinar módulos estructurales específicos por cada capa componente del pavimento. Esto ha permitido emplearlo en

un proyecto de infraestructura vial para permitir específicamente el conocimiento de su aplicación, siendo de fácil utilización y accesible en su plataforma para la obtención de resultados siendo necesario tener en cuenta las características de la estructura analizada.

Los artículos científicos de esta tesis, según Cruz y Ocaña (4) en su tesis “Evaluación estructural de pavimentos flexibles construidos en la localidad de Usme utilizando el deflectómetro de impacto o FWD”, tuvo como objetivo general realizar un análisis a ocho vías de la localidad quinta de Usme en el país de Colombia, utilizando ensayos no destructivos con el instrumento deflectómetro de impacto (FWD). La metodología que emplearon para el retro cálculo fue AASHTO 1993, YONAPAVE Y LUKANEN, obteniendo como resultados módulos, números estructurales y en la mayoría de estructuras deflexiones centrales D0, estas muestran una condición de alarma ya que varían en rangos mayores a los 500 μm , lo que indica que el suelo de fundación está absorbiendo una cantidad grande de cargas trece, pudiéndose presentar fallas y daños considerables a la estructura. Concluyen que es importantes hacer la comparación de estructuras de pavimentos con el fin de verificar el comportamiento y con ello determinar la continuidad y viabilidad en la colocación de capas con materiales reciclados. Estos autores, luego de un diagnóstico realizaron en la localidad de Usme un análisis de ocho vías desde el análisis estructural que fueron construidas con una estructura de pavimento convencional y otras con asfalto reciclado RAP. Para evitar todo proceso de daño y alteración en las vías, empleando apropiadamente técnicas en todo ensayo de alto rendimiento, técnicas que se conocen como pruebas no destructivas, utilizando como equipo el deflectómetro de impacto FWD. Que cumplió con el análisis de la condición estructural del pavimento desde la forma de interpretar toda deflexión producida por carga dinámica bajo simulación del efecto del tránsito.

La tesis tiene como antecedentes nacionales: Aguilar y Salinas (5), en su proyecto de investigación denominado “Evaluación de la vida útil del pavimento flexible de la vía Conocochoa – Yanacancha ante el incremento de los ejes equivalentes no proyectados, utilizando la METODOLOGÍA AASHTO 93” plantea como objetivo calcular los ejes equivalentes no proyectados y el número estructural del diseño existente, utilizando el

método AASHTO 93 para diseñar pavimentos flexibles, obteniendo como resultado un recapeo de Esto agregará estructuralmente 0.425 a las 48 estructuras del pavimento de 2.5 cm, incrementando el número estructural a 3.80, adecuado para la vida útil de 2027. Se concluye que un mantenimiento correctivo aplicando un recapeo de 2.5 cm de grosor en la carpeta asfáltica, con el fin de que la infraestructura implique un refuerzo estructural y beneficie la transitabilidad.

Condori (6), en su proyecto de investigación denominado “Determinación de Espesores en Pavimento Flexible para Mejoramiento de Carreteras usando Deflectómetro de Impacto (FWD) y ASSTHO 93, Combapata-Sicuni 2021” en su estudio, tuvo el fin de identificar los espesores del pavimento flexible, con el fin de mejorar las condiciones de serviciabilidad de la carretera, a través de la rehabilitación con el servicio de reciclado y recapeo del tramo Combapata – Sicuni , utilizo el método de retrocálculo haciendo uso del ensayo del deflectómetro de impacto FWD y la guía AASHTO 1993, esta investigación es de tipo explicativa-correlacional, obteniendo como resultados los espesores de refuerzo para el tipo de intervención en la base estabilizada y carpeta asfáltica del proyecto. Este autor demuestra que es factible conocer la condición de un pavimento empleando el deflectómetro logrando desde el conocimiento de los espesores de pavimento a través de la investigación explicar una causa y su efecto, además de correlacionar como variable el espesor de pavimento y el índice de serviciabilidad de la vía.

Zúñiga (7), en su proyecto de investigación denominado “Diseño de la estructura de pavimento flexible de las calles comprendidas dentro del perímetro de la ca. Vrht, ca. La paz, ca. Pachacutec y av. Gran chimu del distrito de la Victoria – Chiclayo – Lambayeque”, determinó el diseño estructural de un pavimento flexible, con el fin de reconstruirlo para posibilitar el flujo de los vehículos de la comunidad, para ello, empleó el ensayo del deflectómetro de impacto, y el cálculo de módulos resilientes y equivalentes de la subrasante; el autor concluyó que el diseño de la vía debe implicar ocho años de utilidad, lo que es una mejora para los usuarios.

2.1 Bases teóricas

Suelo

El suelo está compuesto por una variedad de minerales que en el transcurso del tiempo pasa por una serie de actividades naturales diversas y esto origina la formación de pequeñas partículas orgánicas. El suelo tiene una clasificación de distintas características como: limos, arenas, gravas y arcillas; las gravas son partículas notorias con diversidad de tamaños y formas fácil de distinguir con la vista, las arenas también pueden distinguirse con facilidad a simple vista, sin embargo, está conformada por granos más finos, los limos no son visibles y tienen un sentido de aspereza al tacto; las arcillas también son partículas no visibles y tienen un sentido al tacto aparentemente suaves (8).

Pavimento

Es una estructura que está compuesta de varias capas de material netamente seleccionado, que está construida sobre la subrasante, y que presenta las siguientes características: resiste una carga que impone el tránsito vehicular, soporta la acción medio ambiental, se transmite al suelo de apoyo, todo esfuerzo y deformación, pero en magnitud tolerable, facilita la circulación vehicular de forma rápida, cómoda, económica y segura, posee una estructura que dure y presente textura y regularidad apropiada al tráfico de vehículos.

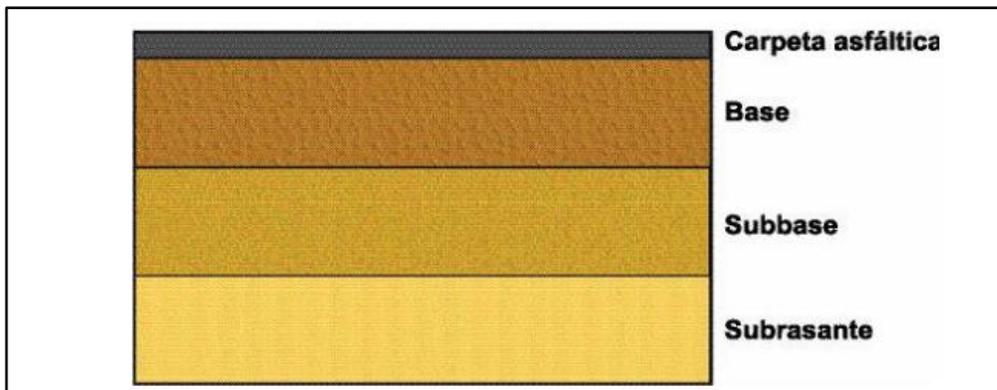
Tipos de pavimento

El pavimento rígido, es un tipo de pavimento formado por una losa de concreto, dispuesto a soportar grandes cargas del tránsito vehicular transmitiendo los esfuerzos en mínima proporción a su capa inferior, teniendo como finalidad una capa de rodadura rígida y uniforme.

El pavimento flexible, es un tipo de pavimento que al ser sometido a un esfuerzo por una carga de tránsito vehicular tiende a flexionar transmitiendo dicho esfuerzo a la capa inferior, este pavimento cuenta con tres capas que son subbase, base y carpeta

asfáltica. La carpeta asfáltica está compuesta por una mezcla de agregado grueso y fino con material bituminoso, llegando a ser compacta y plástica a la vez siendo capaz de absorber grandes golpes y soportar grandes cargas debido al tránsito vehicular pesado.

Figura 1. Estructura de un pavimento flexible



Fuente. Adaptado de Guía AASHTO 93

La deflexión de un pavimento es un modo de desplazamiento vertical originado por una carga producida por el peso del tráfico vehicular; esto se puede generalizar, pues al aplicarse en la superficie una carga, esta logra desplazarse al punto bajo de su aplicación, por ello se produce además una deflexión máxima y el desplazamiento en un lugar cercano al eje donde se aplica la carga, este recibe el nombre de cuenco de deflexión. Este desplazamiento no solo está en función del tráfico (tipo y volumen), sino también en la capacidad estructural del modelo, temperatura y humedad.

La teoría elástica lineal de Boussinesq (9), quien logró desarrollar la expresividad matemática que permite la obtención de incremento de esfuerzo en un tipo de suelo de masa semi infinita de una carga específica en la superficie. Este autor logra desarrollar las distribuciones de tensión bajo cargas en un suelo homogéneo.

Desde otra percepción se tiene la teoría multiplicada elástica de Burmister (10), quien logra el análisis de estados de esfuerzo en la estructuración de pavimentaciones, logra en primer lugar proponer una solución que se basó en dos capas y luego la extendió a “n” capas.

Evaluación Estructural Destructiva: los métodos destructivos consisten en realizar perforaciones en el pavimento, mediante exploraciones in-situ espaciadas entre 250m hasta 2000m, que permiten determinar el espesor de cada capa, verificando su estado (agrietamiento, densidad, humedad, segregación, etc.) además de extraer la muestra del material para analizarlas en el laboratorio y establecer un perfil estratigráfico de los suelos. Esta evaluación es comúnmente empleada en nuestro país para establecer su integridad, tradicionalmente cuando se pretende rehabilitar un pavimento optan por realizar perforaciones con diamantina, para tomar muestras y luego ser llevadas al laboratorio con el propósito de realizar la evaluación del pavimento.

Evaluación Estructural No Destructiva: los métodos no destructivos consisten en realizar ensayos al pavimento in-situ sin ocasionar daños, en este proceso se inspecciona y analiza un componente estructural sin ocasionar daños en el pavimento manteniendo en buenas condiciones. Por ello la Evaluación Estructural No Destructiva (END) además de comprender el proceso que se inspecciona no destructivo, también integra el análisis del resultado de estas inspecciones con la finalidad de realizar la calificación de la condición estructural del componente que se evalúa. Es importante diferenciar los conceptos, evaluación no destructiva (END) así como de inspección no destructiva (IND); pues la primera muestra mucha complejidad como procesos que el segundo (11).

Esto sin duda, es una gran ventaja ya que demanda de menor tiempo al momento de hacer la evaluación, pues permite con la deflectometría a través del deflectómetro de impacto se toman muestras extraídas de forma directa y siendo conservada analizada, hoy con la tecnología existente se logra más precisión en diversos aspectos que van a definir la calidad de la obra. Este sistema de

evaluación del estado de pavimentos cada vez cobra mayor importancia, se resalta el hecho de que estos se caracterizan por la no destrucción del pavimento y que puede ser aplicado en todo momento, esto permitirá fundamentalmente definir políticas de mantenimiento además de lograr optimización del recurso.

La ASSHTO 1993 define como ESAL, eje estandarizado que se compone de dos ruedas que posee una carga dinámica de 8.2tn, que posee cada neumático a una presión de 80 lbs/pulg², “el mismo que se diseña para cierto ciclo de vida” (Manual de carreteras MTC, 2014, p. 78). El método AASHTO1993 se caracteriza por simplificar el efecto del tránsito logrando introducir la definición de eje equivalente. De esta manera, logra la transformación de las cargas de ejes en todo tipo vehicular en ejes simples de equivalencia de 8.2 ton de peso, estas se conocen como ESAL.

Evaluación superficial del pavimento asfáltico

Para poder determinar el tipo de mantenimiento de una vía se realiza un análisis del estado superficial de la carpeta asfáltica, la cual es la técnica más empleada, debido a que nos brinda información de las posibles causas que ocasionaron el apareamiento de fallas y la frecuencia de su aparición, de esta manera se puede obtener datos más exactos y precisos para la realización de un presupuesto de mantenimiento. Por este motivo las pistas deben evaluarse con una frecuencia no mayor de 5 años para evitar deterioro prematuro y con ello cumpla con su vida útil estimada.

Fallas en el pavimento asfáltico

Las fallas son efectos adversos que ocurren en un pavimento debido a la interacción de los materiales empleados en la construcción de la carretera, el diseño, el tráfico, la topografía y las condiciones climáticas. Estos errores se pueden clasificar en dos: estructurales y funcionales. Los primeros son los resultantes del colapso del caparazón de la estructura del pavimento, lo que conduce a un decrecimiento de la coherencia entre las capas del caparazón de la estructura y afecta su capacidad para soportar cargas externas. Por otro lado, este último afecta la ergodicidad, reduciendo la calidad

de la carretera, de la carpeta asfáltica la seguridad brindada a los usuarios y la estética (12).

Equipos de Medición de deflexión en pavimentos

Actualmente, existen múltiples dispositivos empleados para la medición de deflexiones, estos gálibos se agrupan por la clase de carga que se aplica a la superficie de la carretera los que pueden ser:

- Estáticos.
- Vibratorias en estado estable.
- De Impulso.
- Continuas.

Retrocálculo

Es el conglomerado de fórmulas matemáticas teóricas o empíricas a través del cual las deflexiones medidas mediante equipos de deformaciones in-situ se convierten en elasticidad o en el módulo de Young de las estructuras de pavimento. Estos test de deformación se emplean seguidamente en la ingeniería de pavimentos para evaluar su estructura y reparación.

Parámetros de diseño

El módulo de resiliencia de los suelos de subrasante (MR) y Módulo Resiliente del pavimento (Mo): se considera al módulo resiliente como el parámetro que se emplea con la finalidad de representar toda propiedad de los suelos de las subrasantes en diseños de pavimentos flexibles (13).

Es la elasticidad que cuenta el suelo donde se apoya la estructura del pavimento, posterior a ejercer cargas de forma cíclica sobre este. Este indicador se emplea para diseñar pavimentos asfálticos (14).

A un espacio considerable en relación al centro de la carga, es probable que la deflexión medida en la superficie de la vía se presenten por la deformación del suelo subyacente, lo que posibilita calcular el módulo de resiliencia de la subrasante en

función de la carga sobrepuesta, así, al ocurrir la deflexión a causa de dicha deformación, no se precisa ajustar la temperatura (15).

$$M_R = \frac{0.24 \times P}{d_r \times r}$$

Dónde:

MR : Módulo de resiliencia retro calculado.

dr : Deflexión a la distancia “r” medida desde el centro de la carga.

P : Carga aplicada

r : Espacio en relación al centro de carga” (16).

Es necesario medir, a una distancia considerable del plato de carga, la deflexión utilizada para el retro cálculo del módulo resiliente del suelo subyacente, con el fin de estimar un valor aproximado del módulo de subrasante, asimismo, debe estar cerca para no imposibilitar una medición precisa (17).

En menor espacio “r” se calcula con la siguiente relación:

$$r \geq 0.7 \times a_e$$

$$a_e = \sqrt{\left[a^2 + \left(D \times \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2 \right]}$$

Dónde:

ae : Radio del bulbo de esfuerzos en la interface pavimento/subrasante.

a : Radio del plato de carga.

D : Grosor total de la estructura del pavimento sobre el suelo subyacente.

Ep : Módulo efectivo de todas las capas del pavimento por encima de la subrasante.

MR : Módulo resiliente del suelo subyacente (18).

Al hallar el módulo resiliente de la subrasante y el espesor de todas las capas por encima de la subrasante, es posible plantear, en función de las deflexiones medidas, el módulo de toda la estructura del pavimento (19).

Mediante la solución iterativa de la siguiente ecuación:

$$d_0 = 1.5 \times p \times a \left[\frac{1}{M_R \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \sqrt{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}}}{E_p} \right]$$

Dónde:

d₀ : Deflexión ocurrida en la parte media del plato de carga y ajustada a una temperatura standard de 20°C.

p : Presión en el plato de carga.

a : Radio del plato de carga.

D : Grosor total de la estructura del pavimento sobre el suelo subyacente.

MR : Módulo resiliente del suelo subyacente (20).

Es preciso establecer, de modo directo o estimado, la temperatura del concreto asfáltico al medir la deflexión en función de las temperaturas del aire y la superficie.

Sin importar el método usado, el módulo resiliente de la subrasante efectivo de diseño debe representar los efectos de las variaciones climáticas y debe ser consistente con el valor de módulo resiliente empleado para representar el ensayo de suelo AASHO, un ajuste estacional se debe llevar a cabo, para hacer los valores medidos en laboratorio.

Por ende, se emplea la siguiente ecuación para tener los efectos climáticos en cuenta,

$$M_R = C \cdot \frac{0.24 \times P}{d_r \times r}$$

Dónde:

MR : Módulo Resiliente retro calculado

c : Coeficiente de corrección

P : Esfuerzo aplicado

dr : Deflexión a una distancia “r” en relación al centro de la carga

r : Espacio en relación al centro de carga

AASHTO recomienda el uso de C=0.33, en caso, se cuente con ensayos de laboratorio, este valor se ajusta mediante la relación.

$$c = \frac{M_{R_{Laboratorio}}}{M_{R_{Retrocálculo}}}$$

Donde,

Mr_{Laboratorio}: Será el obtenido para este caso mediante el ensayo de CBR y empleando correlaciones con el Mr

Mr_{Retrocálculo}: Obtenido a través del retro cálculo de las mediciones de deflexiones.

Las correlaciones existentes entre el módulo resiliente y el CBR se enumeran a continuación.

Tabla 1. Correlaciones entre CBR y Módulo Resiliente Mr

No.	Ecuación	Unidades	Fuente
1	$M_R = 2555 \cdot CBR^{0.64}$	psi	Powell et al. (1984) y NCHRP (2004) Transport and Road Research Laboratory (TRRL) y M-E Pavement Design GuideLevel 2 (USA)
2	$M_R = 1500 \cdot CBR$	psi	Euheukelon y Klomp 1960, Adoptada por AASHTO 1993.
3	$M_R = 130 \cdot CBR^{0.714}$	Kg/cm ²	National Cooperative Highway Research Program.
4	$M_R = 3000 \cdot CBR^{0.65}$	psi	South African Council on Scientific and Industrial Research (CSIR)

Fuente: elaboración propia

Para el presente estudio se ha empleado la ecuación 1, de manera inversa para obtener el valor de CBR.

Número Estructural (SN): se define como la representación en relación a la resistencia que necesita una estructura de pavimentos que está dada en 8,2tn para el diseño.

La capacidad estructural del pavimento se debe al espesor y la rigidez total, esto según el método de ensayo no destructivo, lo que señala la siguiente relación (21):

$$SN_{\text{eff}} = 0.0045 \times D(E_p)^{\frac{1}{3}}$$

Dónde:

SN_{eff} : Número estructural efectivo.

D : Grosor total del paquete estructural expresado en pulgadas

Sectorización Homogénea: Es de vital importancia, entender el comportamiento del pavimento, que conforma los tramos de concesión, ya que de esa comprensión se desprende el plan de conservación para mantener el Índice de Serviciabilidad exigido por el estado.

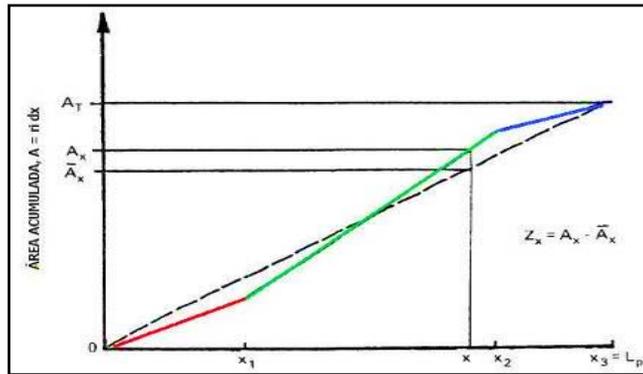
Para generar sectores de trabajo de conservación, es necesario agrupar secciones con comportamientos similares.

La guía de diseño AASHTO de 1993, recomienda un método de análisis poderoso, para una delineación estadística, unidades homogéneas, a partir de los valores de respuesta del pavimento a través de las mediciones de campo (la deflexión, los índices de deterioro del pavimento, la resistencia al deslizamiento o fricción y la regularidad IRI se emplean como variables).

La metodología se conoce como diferencias acumuladas y se encuentra descrita en el Anexo J de la Guía de Diseño AASHTO 93 y a continuación se describe.

La siguiente figura ilustra en líneas generales, el concepto de enfoque general, empleando la suposición inicial de un valor de respuesta (r_i) continuo y constante, con múltiples intervalos (0 a X_1 , X_1 a X_2 , X_2 a X_3) en toda la longitud del sector evaluado.

Figura 2. Concepto general del método de diferencias acumuladas



Fuente: adaptado de *Guía AASHTO 93 para el diseño de pavimento flexible*, por The American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993, AASTHO.

La figura muestra cómo se determina la tendencia del área acumulada bajo la curva. La línea continua se refiere a los resultados de las curvas de respuesta reales, en vista de que las funciones son constantes y continuas en una sección, por lo tanto, en un punto x , el área acumulada es la integral.

$$A = \int_0^{x_1} r_1 dx + \int_{x_1}^{x_2} r_2 dx + \int_{x_2}^{x_3} r_3 dx$$

Siendo cada integral continua respecto a los siguientes intervalos ($0 \leq x \leq x_1$), ($x_1 \leq x \leq x_2$) y ($x_2 \leq x \leq x_3$).

La línea punteada señala el área acumulada producida por el promedio de la variable que se midió (respuesta r_i), asimismo, las líneas de las curvas del área acumulada, que representan la derivada, indican el valor de respuesta las unidades (r_1 , r_2 y r_3), así como la línea punteada representa la respuesta promedio. A un espacio x , el área acumulada de la respuesta promedio está dada por lo siguiente:

$$A = \int_0^x r dx$$

Teniendo en cuenta que:

$$\bar{r} = \frac{\int_0^{x_1} r_1 dx + \int_{x_1}^{x_2} r_2 dx + \int_{x_2}^{x_3} r_3 dx}{Lp} = \frac{A_T}{Lp}$$

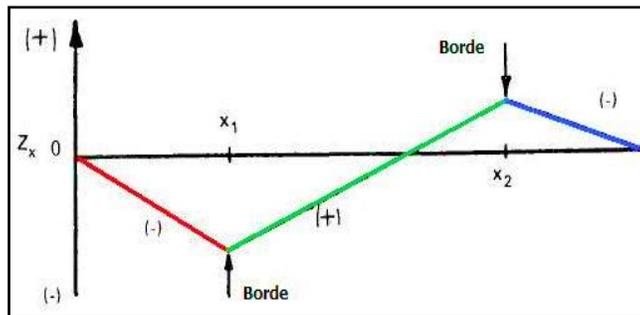
Y por lo tanto,

$$\bar{A}_x = Lp \cdot \bar{r}$$

Conociendo A_x y \bar{A}_x promedio se puede determinar el área acumulada Z_x mediante la siguiente relación

$$Z_x = A_x - \bar{A}_x$$

Figura 2. Concepto general del método de diferencias acumuladas



Fuente: adaptado de *Guía AASHTO 93 para el diseño de pavimento flexible*, por The American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993, AASTHO

Del paso anterior se concluye que Z_x es la diferencia que existe entre los valores del área acumulada, dado en un punto x entre las líneas actuales y las promedio. Si en cambio, el valor de Z_x es graficado vs. la distancia x , resulta la figura C.

De este modo, la localización de los límites de las secciones coincide con la localización en el eje x , donde la pendiente de la función Z_x cambia algebraicamente de signo, lo que sustenta, analíticamente, la localización de los límites de las secciones homogéneas de análisis. Por lo tanto, en la práctica, las mediciones suelen ser discontinuas, con intervalos que no son constantes y desiguales (22).

Por lo tanto, para emplear los principios indicados anteriormente, en una solución metodológica que puede lidiar con estas condiciones, debería emplear un enfoque de diferencias numéricas.

La función Z_x es como sigue,

$$Z_x = \sum_{i=1}^n a_i - \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{L_p} \sum_{i=1}^n x_i$$

Adicionalmente,

$$a_i = \frac{(r_{i-1} + r_i) \times x_i}{2} = \bar{r}_i \times x_i$$

Tener en cuenta que r_0 debe ser igual a r_1 en el primer intervalo

En el que:

n = el valor de la medición n -ésima del pavimento

n_t = total número de medidas de respuesta tomadas en el pavimento

r_i = Valor de la medida de respuesta i -ésima

\bar{r}_i = Media de las respuestas del pavimento entre el ensayo $i-1$ y el i -ésimo

L_p = Longitud total de la vía

Si se usan intervalos iguales de medición en el pavimento, la ecuación sería como sigue (23).

$$Z_x = \sum_{i=1}^n a_i - \frac{n}{n_t} \sum_{i=1}^n a_i$$

En la siguiente tabla se muestra como la secuencia de cálculo para un análisis de intervalos desiguales.

Tabla 2. Secuencia de cálculo del método de las diferencias acumuladas

Estación	Valor de Respuesta	Número Intervalo	Distancia Intervalo	Distancia Acumulada	Respuesta Promedio	Área Intervalo Real	Área Acumulada	Zx
	r_i	N	ΔX_i	$\Sigma \Delta X_i$	\bar{r}_i	a_i	Σa_i	$\Sigma a_i \cdot F(\Delta X_i)$
		1	ΔX_1	ΔX_1	$\bar{r}_1 = r_1$	$a_1 = \bar{r}_1 \cdot \Delta x_1$	a_1	$Zx_1 = a_i - F \cdot (\Delta x_i)$
1	r_1							
		2	ΔX_2	$\Delta X_1 + \Delta X_2$	$\bar{r}_2 = \frac{(r_1 + r_2)}{2}$	$a_2 = \bar{r}_2 \cdot \Delta x_2$	$a_1 + a_2$	$Zx_2 = (a_1 + a_2) - F \cdot (\Delta x_1 + \Delta x_2)$
2	r_2							
		3	ΔX_3	$\Delta X_1 + \Delta X_2 + \Delta X_3$	$\bar{r}_3 = \frac{(r_2 + r_3)}{2}$	$a_3 = \bar{r}_3 \cdot \Delta x_3$	$a_1 + a_2 + a_3$	
3	r_3							
		N_t	ΔX_{N_t}	$\Delta X_1 + \dots + \Delta X_{N_t}$	$\bar{r}_{N_t} = \frac{(r_{n-1} + r_n)}{2}$	$a_{N_t} = \bar{r}_{N_t} \cdot \Delta x_{N_t}$	$a_1 + \dots + a_{N_t}$	$Zx_{N_t} = (a_{N_t} + a_{N_t}) - F \cdot (\Delta x_1 + \dots + \Delta x_{N_t})$
L p	r_n							
						$A_t = \sum_{i=1}^{N_t} a_i$ $F = \frac{A_t}{Lp}$		

Fuente: adaptado de *Guía AASHTO 93 para el diseño de pavimento flexible*, por The American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993, AASTHO

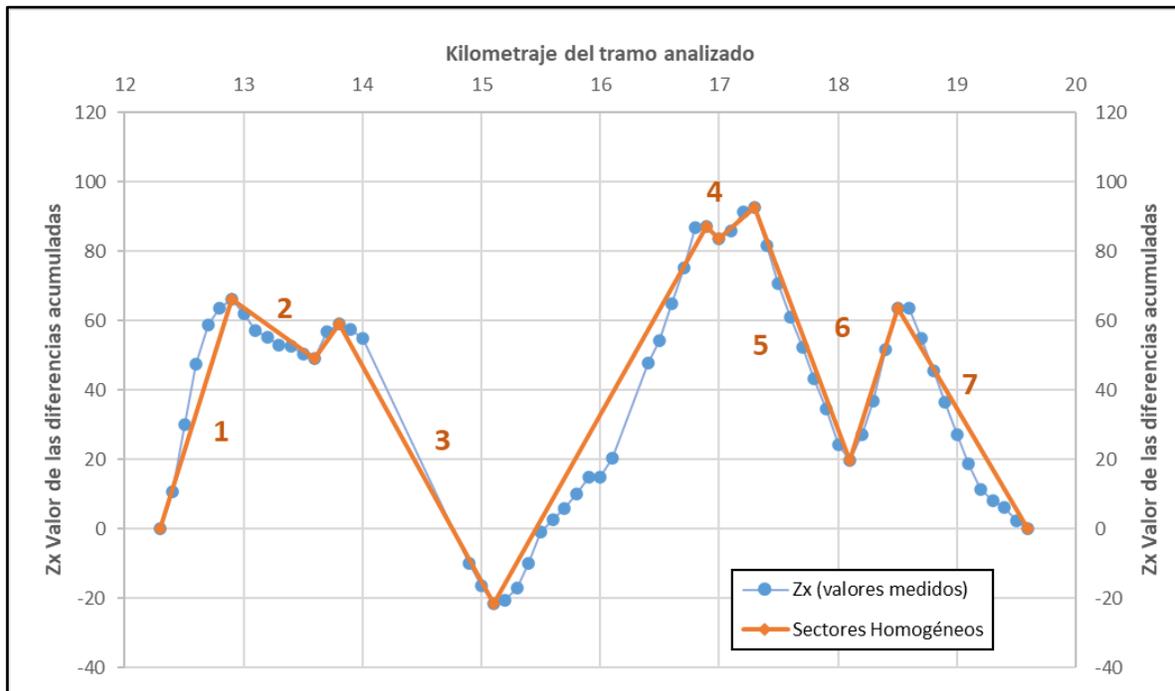
Donde:

$$A_t = \sum_{i=1}^{N_t} a_i$$

$$F = A_t / Lp$$

En la siguiente figura se ilustra el resultado de la aplicación de la metodología

Figura 3. Vista gráfica del método de diferencias acumuladas



Fuente: adaptado de *Guía AASHTO 93 para el diseño de pavimento flexible*, por The American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993, AASTHO Guía AASHTO 1993, a través de las deflexiones nos permite utilizar las deflexiones medidas en campo con el Deflectómetro de Impacto (FWD), como base para estimar el módulo resiliente de la subrasante y del pavimento.

El deflectómetro de impacto es un instrumento que se utiliza para analizar deflexiones en los pavimentos rígidos o flexibles. Desde esta perspectiva el empleo de este deflectómetro de impacto se hace significativo, es rápido y facilita un control receptivo para a tramos nuevos o tramos abiertos al para el tránsito, pues estas están sometidas a una combinación de factores que las deterioran o dañan. Dado que este equipo hace posible reproducir el comportamiento estructural del pavimento pues caracteriza mecánicamente cada una de las capas que están conformando el pavimento. De esta forma se logra evaluar la condición estructural del pavimento teniendo como base la magnitud de carga de impacto y el cuenco de deflexiones de la superficie a evaluarse.

2.2 Deflectómetro de impacto FWD (Falling Weight Deflectometer)

A nivel mundial el equipo más empleado es el FWD Shock Deflectometer (deflectómetro de caída de peso); esta elección se debe a la naturaleza dinámica de la carga de prueba y la deflexión en diversos radios desde el centro de carga utilizando sensores sísmicos o geófonos. La deflexión obtenida en el extremo de la cubeta refleja las propiedades del subsuelo, no obstante la deflexión obtenida en el centro de la carga refleja el estado de la capa superficial.

2.3 Descripción y operación del equipo

La medición se realiza con el deflectómetro de impacto con el FWD Dynatest 8002, con el propósito de identificar la capacidad de las vías por medio de la aplicación de una carga dinámica en sus superficies, con lo que se determina cómo es la estructura del pavimento, su capacidad y las capas que hacen parte de él.

Figura 4. Equipo Deflectómetro de Impacto



Fuente: elaboración propia

El conductor controla todas las funciones del medidor de deflexión desde una computadora montada en el vehículo remolcador (si hay un remolque disponible). Este procedimiento facilita que un solo operador realice tareas de medición de forma más fácil.

Los indicadores que se obtienen son los siguientes:

- Máxima deflexión
- Cuenco de deflexiones

PARTES DE UN DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO

Equipo de Carga se encarga de provocar un impacto cuando se deja caer

A una cierta altura un peso en un plato de carga con un radio conocido, el cual se coloca en contacto con la superficie de la carpeta asfáltica.

Equipo de Medición sirve para la medición de deflexiones

En diversos espacios en relación al plato de carga y el tamaño aplicado de la carga

Equipo Computacional sirve para procesar, recolectar y

Mandar la información conseguida por el equipo de medición. Luego estos son guardados, asimismo la información requerida para el proyecto.

Figura 5. Barra de geófonos



Fuente: elaboración propia

Los geófonos

Se le conoce a los sensores que traducen la rapidez de respuesta de la vía a cierta carga aplicada en deflexiones las que se miden en “mm”.

Estos se ubican en una barra que se coloca en una superficie de la carretera en las que se hacen lecturas de forma automática. Estos aparatos son unos artefactos sensibles del deflectómetro FWD y requieren ser calibrados de forma periódica de acuerdo a las especificaciones del proveedor.

Figura 6. Deflectómetro de impacto



Características

El JILS-20 FWD (medidor de deflexión de caída de peso) está montado en un remolque de dos ejes que puede ser movido por una furgoneta, camión o automóvil similar.

El JILS-20 FWD solo requiere de un operario, y el conductor puede operar el FWD conectándolo con un cable de computadora. Cuenta con las siguientes características:

- Peso: 2600 libras
- Longitud 160 pulgadas
- Ancho: 72 pulgadas
- Altura: 72 pulgadas
- Tráiler de eje doble
- Frenos Hidráulicos
- Cuenta con un motor de gasolina de dos cilindros con 18HP alternado con doce voltios, lo que facilita una velocidad alta.
- Secuencia de 4 caídas automatizadas en 30 segundos.

53

Figura 7. Deflectómetro de impacto (FWD). y disposición de los geófonos



Fuente: Google

Utilización de software

HOJA ELECTRÓNICA PARA EL CÁLCULO DE SECCIONES HOMOGÉNEAS

Se describen los libros de cálculo desarrollados que ayudan al uso de los métodos de cálculo de refuerzo AASHTO.

A continuación, se explica el funcionamiento y contenido del cuaderno:

- **Estructura del Pavimento**

Esta hoja ayuda a definir la estructura de pavimento que se estudia, esta hoja cuenta con zonas de entrada para los datos como son:

- * Datos generales de las capas del pavimento, en la parte superior del cuadro.
- * Datos específicos de la localización y los grosores, en el contenido del cuadro.

- **Deflexiones medidas y corregidas**

Los valores de deflexión medidos y las condiciones de prueba asociadas, como la carga y la temperatura de la superficie de la carretera, se ingresan en esta tabla. También se proporcionan condiciones de referencia para interpretar los resultados de estos cambios. Esta tabla calcula todas las deflexiones corregidas por cargas. Si se corrige la carga, la desviación del centro también se corrige por temperatura.

- **Método AASHTO para aproximación de diferencias acumuladas.**

Introduzca el valor de la abscisa y el sesgo corregido. Esta hoja de cálculo calcula todas las distancias de intervalo (Δx_i), las distancias acumuladas ($\Sigma \Delta x_i$), la respuesta media (\bar{r}), las áreas de intervalo (a_i), las áreas acumuladas (Σa_i) y finalmente las diferencias acumuladas. (Z_x).

Gráficas de las secciones homogéneas

El gráfico resulta de graficar el valor de la diferencia acumulada en el eje de ordenadas con la abscisa (km) en el eje de abscisas.

Análisis del cuenco de deflexiones

El cuenco de deflexión, que se obtuvo a través de un deflectómetro de impacto, permite obtener significativa información acerca de la pavimentación (sobre todo de pavimentos flexibles), este aspecto permite la evaluación a través de diferentes técnicas (calculo inverso o análisis de su forma desde diferentes parámetros) del estado de toda capa que lo constituye, y del cimiento sobre el que se apoya.

Todo sensor del deflectómetro permite el registro de las máximas deformaciones, los puntos más altos de la onda en cada punto. El cuenco de deflexión no se cataloga como deformación real “estática”, tal como se suele entender, tampoco como línea de influencia, sin duda se considera el registro de una secuencia espacial de máximos del frente de onda.

Factores que afectan en la medición de deflexiones

Unos de los factores que afecta la medición de las deflexiones es la temperatura, como bien sabemos a altas temperaturas el pavimento tiende a ablandarse y en este caso se incrementa la medición en la deflexión. Es por ello que hacemos una corrección de estas. Otro de los factores que afectan en este ensayo la humedad.

La condición del pavimento, es muy importante para este ensayo ya que al ver las condiciones nos encontramos con grietas, fisuras, hundimientos, entre otros, en estas zonas no es recomendable hacer el ensayo, sino debemos realizarlo en otra zona sin presencia de estas fallas.

Frecuentemente cuando se requiere realizar una rehabilitación para pavimentos flexibles se recomienda realizar evaluaciones cada dos años para acciones preventivas, y cuando queremos verificar la evolución de la condición estructural del pavimento se recomienda realizar evaluaciones deflectométricas cada cinco años.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de Investigación

Ñaupas et al. (24) aseveraron que los estudios de tipo aplicada se enfocan en dar solución a dificultades de manera precisa, por ejemplo la presencia de fenómenos, en este tipo de estudios se puede realizar la formulación de hipótesis que deben de ser contrastadas. Por ende, la presente investigación uso el ensayo de deflectómetro impacto (FWD) con la GUÍA AASHTO 93, para medir deflexiones y así aumentar el tiempo de vida del pavimento, sobre todo sin ocasionar daños y minorizando tiempos.

3.1.2 Enfoque de Investigación

Según Hernández, Fernández y Baptista (25), el enfoque cuantitativo implica la recogida de valores con el fin de contrastar la hipótesis en base a la cuantificación y estadística. Por ende, el enfoque de esta investigación es cuantitativo porque recolecta resultados obtenidos del ensayo realizado con el deflectómetro de impacto (FWD) para un posterior análisis, interpretación y esquematización de la información.

3.1.3 El diseño de la Investigación

Según Hernández, Fernández y Baptista (26), en el diseño no experimental, no se manipulan las variables, debido a que solo es precisa la observación de la problemática y el entorno en que se desenvuelve. Asimismo, el diseño de este estudio es no experimental debido que estamos midiendo deflexiones y de esta manera evaluar de manera no destructiva a la carretera Piura-Paita.

Esta tesis cuenta con un diseño de investigación No Experimental con carácter Descriptivo Simple, debido a que, se obtienen valores de deflexiones en forma directa mediante el Deflectómetro de Impacto (FWD) para realizar la evaluación.

3.1.4 El nivel de la investigación

Para Ñaupas et al. (27), la investigación explicativa es compleja, pues tiene el objetivo de verificar, o no, las hipótesis del estudio, así, se empleó un nivel explicativo para evaluar las estructuras de los pavimentos, con el fin de repararlos, para lo que se midieron las deflexiones.

3.2 Variables y Operacionalización

- Variable dependiente: Evaluación Estructural No Destructiva.
- Variable independiente: Deflexiones.
(ver matriz de operacionalización)

3.3 Población, muestra y muestreo

3.3.1 Población

Tamayo-Tamayo en su libro define a la población como “el total del objeto a estudiar, teniendo en cuenta que las unidades de población tienen una característica común para estudiarla y dar origen a los datos de la investigación” (28). La población de la investigación es la carretera Piura-Paita desde el Km0+00.0 al Km0+38.0.

3.3.2 Muestra

Según Borja, “la muestra es la unidad de objeto de estudio que forma un grupo que representa a una población con características iguales o similares” (29). La muestra de la presente investigación es desde el Km5+100 al Km15+100, para el ensayo deflectométrico de la carretera Piura-Paita.

3.3.3 Muestreo

El muestreo se realizó con la elección de elementos conforme con los planteamientos de Hernández, Fernández y Baptista (30). Así, el muestreo es no probabilístico, pues se toman muestras con criterios propios.

3.4 Técnica e instrumentos

En la presente investigación la técnica e instrumentos utilizados están basados en la recolección de deflexiones a partir de un equipo que es un Deflectómetro de Impacto (FWD) el cual levanta los datos necesarios para poder hacer los análisis bajo el enfoque de la presente investigación.

3.5 Procedimientos

Se hizo un reconocimiento del tramo carretera Piura-Paita, se seleccionó una muestra de solución, esta muestra comprendida desde Km5+100 al Km15+100 A continuación, se puso el equipo en marcha y empezó a medir con una frecuencia de 200m, estas mediciones fueron recolectadas a través de una computadora y listas para el análisis bajo los criterios y diseño de la GUIA AASHTO 1993, la puesta a punto del ensayo con el deflectómetro de impacto la detallaré a continuación:

-Primero, llegar al lugar en donde se desarrollará el ensayo.

-Segundo, se procederá a coordinar con el personal para controlar el tráfico, para recoger muestras y realizarlas y otro personal si es que lo requiere.

-Tercero, se hace la inspección del ensayo; realizamos una visita inicial de la sección del pavimento, verificamos las condiciones generales, verificamos los límites de sección del pavimento, posterior a ello marcamos las zonas en donde se realizará el ensayo.

Figura 8. Reconocimiento de la carretera Piura-Paita



Fuente: elaboración propia

-Cuarto, se mide la temperatura en el pavimento, para identificar los lugares en los que hacer los agujeros, con el fin de tomar los datos, hacer las mediciones, de este modo, es preciso esperar que el calor se disipe; se recomiendan mediciones de temperatura cada 50 minutos luego de llevar a cabo la lectura inicial.

Figura 9. Termómetro para registro temperatura de pavimento



Fuente: elaboración propia

Cuando la estructura del pavimento está conformada por pavimento flexible, se debe realizar una corrección por temperatura, según lo estipulado por la metodología AASHTO 93. Para tal fin, la corrección se realiza sobre la deflexión central (d_0) a una

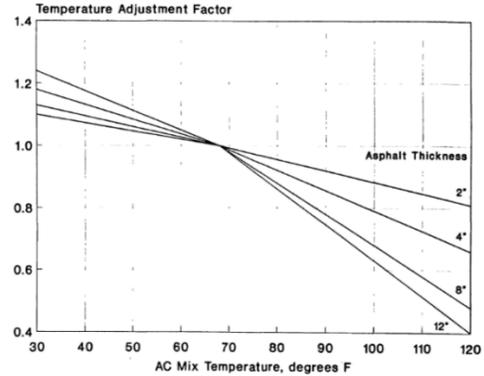
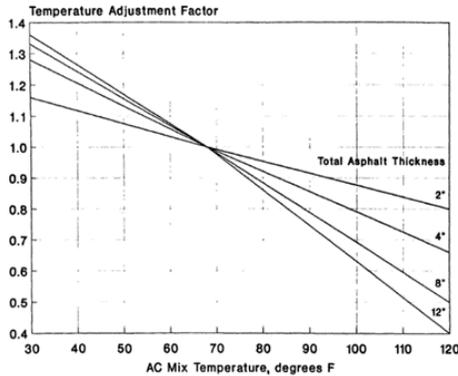
temperatura de referencia de 20°C (68 °F), donde el factor de corrección depende del espesor de la capa asfáltica, de su temperatura y del material de base.

El factor de ajuste se establece si la estructura del pavimento cuenta con una base granular o mejorada con asfalto (Figura 13a) o posee una base mejorada con insumos químicos (Figura 13b) (31).

Figura 10. Factor de ajuste

a) Base granular o estabilizada con
asfalto

b) Base estabilizada con cemento
y/o puzolanas



-Quinto, preparar el deflectómetro de impacto (FWD), Las mediciones de la deflexión se realizan con una frecuencia de muestreo de 200 m por carril en configuración de tres bolillos. El equipo posee un odómetro de una precisión alta que controle los espacios recorridos desde el punto de origen hasta el siguiente punto de medición a realizarse.

En cada punto donde se realice la medición de la deflexión se aplicarán tres golpes efectivos, los dos primeros con una carga de 40 kN y el tercero con 50 kN, se emplea el plato de carga segmentado con un radio de 15 cm.

El deflectómetro de impacto permitirá realizar el análisis del cuenco de deflexiones por lo que los geófonos o sensores de deformación del equipo presentarán la siguiente distribución: 0, 20, 30, 45, 60, 75, 90, 150 y 180 cm de distancia con respecto al centro del plato de carga en la dirección y sentido del avance del tránsito.

Figura 11. Barra de geófonos



Fuente: elaboración propia

Figura 12. Medición de deflexiones con el deflectómetro de impacto



Fuente: elaboración propia

3.6 Método de análisis

Con base en la información recibida de las pruebas de deformación, los datos serán analizados en la oficina utilizando un software de aplicación como hojas de cálculo Excel y AASHTO GUIDE 1993 para la obtención el módulo de elasticidad del suelo de subyacente, el pavimento y el número de diseño.

3.7 Aspectos éticos

Según Consejo Universitario núm. 0126-2017/UCV, este estudio se centrará en todos los estándares previstos en la resolución, que incluyen el rigor científico, la integridad y la competencia profesional, y también se someterá al Programa Antiplagio para la aprobación de toda la información. se encuentra dentro de lo estipulado por la Universidad Cesar Vallejo.

IV. RESULTADOS

4.1 Descripción de la zona de estudio

La presente investigación se realizó en la carretera Piura – Paita ubicado en el distrito de Paita, provincia Paita, en el departamento de Piura.

- Departamento : Piura
- Provincia : Paita
- Distrito : Paita
- Ubicación : Carretera Piura – Paita

4.1.1 Ubicación política

Figura 13. Mapa político del Perú



Fuente. Google

Figura 14. Mapa político del Departamento de Junín



Fuente. Google

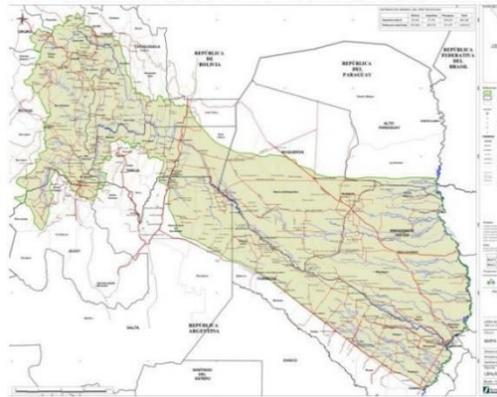
4.1.2 Ubicación del proyecto

Figura 15. Mapa del departamento de Piura



Fuente. Google

Figura 16. Mapa de la provincia de Paita



Fuente. Google

Limites

- “Norte : Provincia de Talara
- Sur : Provincia de Piura
- Este : Provincia de Sullana
- Oeste : Con el Océano Pacífico”

4.1.3 Ubicación geográfica

En la parte central y occidental, se posiciona entre los 4° 45' y 5° 23' de latitud sur y los 80° 49' y 81° 14' de longitud oeste, asimismo, cuenta con un área aproximada de 1,784.24 Km², por ende, tiene una extensión pequeña habitada por 105 151 personas.

4.1.4 Clima

El clima tiene una alta temperatura, por lo que posee dos estaciones: invierno con una temperatura aproximada de 20°C y verano con temperaturas que alcanzan 32 ° C.

Según SENAMHI en Piura, los meses con las máximas temperaturas se presentan en los meses de febrero y marzo que oscilan los 34.1°C, mientras que las temperaturas más bajas se presentan entre los meses de julio y setiembre que alcanzan los 17°C y las precipitaciones pluviales alcanzan los 65.5 mm/mes en el mes de marzo.

Figura 17. Promedio de Temperatura normal

Mes	Temperatura Máxima °C	Temperatura Mínima °C	Precipitación (Lluvia) ML.
Enero	33.3	21.9	42
Febrero	34.1	23.2	41
Marzo	34.1	22.8	66
Abril	32.5	21.4	53
Mayo	30.3	19.4	15
Junio	28.3	18	7
Julio	27.5	17.1	0
Agosto	27.9	17.1	0
Setiembre	28.8	17.1	0
Octubre	29.5	17.8	1
Noviembre	30.3	18.2	1

Fuente: Senamhi, 2022.

Un factor bastante importante es la temperatura que ya que esto afecta a la medición de nuestras deflexiones en el sentido de que a altas temperaturas el asfalto tiende a ablandarse y se incrementarían dichas mediciones; teniendo en cuenta que la variación de la temperatura se está dando a lo largo del día, en el caso de las mañanas son bajas y va aumentando conforme va avanzando el día, y luego en el caso de la noche bajan.

Objetivo Específico 1

Conocer el Módulo resiliente real del suelo de fundación y capas del pavimento, que a continuación detallaré:

Tabla 3. Modulo resiliente de la subrasante

Distancia	CURVA DE DEFLEXION									CORRECCION POR TEMP.	PARÁMETROS ESTRUCTURALES		
	Deflexiones Corregidas (µm)										CBR (%)	Mr	Mr
	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9			d0	Kg/cm ²
(Km)	0 cm	20 cm	30 cm	45 cm	60 cm	75 cm	90 cm	150 cm	180 cm	0 cm			
5+100	190	102	69	42	28	21	19	13	7	166	40,3	1.914	27.230
5+300	227	123	82	49	30	21	18	12	9	198	36,2	1.787	25.415
5+500	299	168	114	70	45	32	27	16	16	258	19,2	1.191	16.943
5+700	189	97	66	41	27	21	18	12	9	164	42,7	1.985	28.239
5+900	210	112	74	45	29	25	22	14	12	182	38,2	1.848	26.291
6+100	221	133	99	76	58	55	51	37	26	192	8,4	701	9.967
6+300	226	128	92	63	48	41	37	26	16	198	15,7	1.046	14.877
6+500	244	135	86	49	29	22	20	13	12	213	38,2	1.848	26.291
6+700	235	130	89	52	31	26	21	16	12	206	34,4	1.729	24.595
6+900	168	100	72	51	39	33	31	23	20	148	22,0	1.300	18.484
7+100	154	89	65	47	37	33	32	25	21	135	22,0	1.300	18.484
7+300	217	129	86	51	30	22	16	11	7	192	36,2	1.787	25.415
7+500	343	213	152	99	61	43	33	17	13	302	11,9	879	12.499
7+700	296	187	137	89	56	38	30	15	10	261	13,7	957	13.615
7+900	175	91	60	38	28	24	22	15	14	153	40,3	1.914	27.230
8+100	208	126	94	64	46	37	32	23	21	183	18,4	1.159	16.485
8+300	168	98	74	53	42	39	34	26	21	148	17,0	1.100	15.640
8+500	138	77	51	30	18	14	13	10	8	123	80,5	2.978	42.359
8+700	196	120	89	64	47	39	34	24	19	173	17,0	1.100	15.640

8+900	170	92	62	37	22	18	16	12	11	150	58,8	2.437	34.657
9+100	155	87	63	43	32	27	24	18	14	137	30,1	1.588	22.591
9+300	297	217	177	139	110	91	78	51	28	261	4,3	458	6.517
9+500	242	152	120	90	68	54	47	26	25	213	10,2	794	11.296
9+700	157	82	54	32	22	18	16	13	11	140	58,8	2.437	34.657
9+900	162	93	60	34	23	17	16	14	11	143	54,9	2.331	33.150
10+100	138	73	49	29	20	18	16	15	9	123	68,2	2.680	38.123
10+300	133	79	60	43	33	29	25	20	14	118	26,9	1.479	21.033
10+500	148	92	70	53	44	38	36	27	22	132	14,5	993	14.120
10+700	223	141	98	64	40	29	25	19	15	196	23,1	1.340	19.061
10+900	188	110	77	49	31	22	19	13	10	169	34,4	1.729	24.595
11+100	229	151	114	80	54	41	34	21	18	205	15,7	1.046	14.877
11+300	293	210	164	118	85	68	60	37	29	261	7,1	631	8.970
11+500	255	143	99	64	44	37	35	24	19	228	19,9	1.218	17.328
11+700	168	104	78	56	44	37	32	22	16	149	18,4	1.159	16.485
11+900	221	125	85	51	30	21	16	9	7	199	36,2	1.787	25.415
12+100	273	165	126	90	65	51	42	25	21	243	11,2	841	11.960
12+300	228	133	92	58	35	24	16	10	8	203	28,5	1.532	21.784
12+500	304	184	131	84	56	42	34	26	18	273	13,7	957	13.615
12+700	226	139	100	67	49	41	36	25	17	201	15,7	1.046	14.877
12+900	326	201	147	99	64	48	39	24	18	292	11,1	838	11.913
13+100	131	78	59	45	38	34	30	22	15	117	19,2	1.191	16.943
13+300	195	104	74	52	39	33	30	19	15	178	24,0	1.375	19.550

13+500	156	89	63	43	32	29	25	19	16	141	32,7	1.675	23.827
13+700	216	116	80	51	37	31	28	19	14	195	26,1	1.449	20.607
13+900	209	126	89	61	43	34	29	19	15	188	20,6	1.247	17.731
14+100	172	100	68	45	33	28	24	19	16	155	31,2	1.624	23.105
14+300	162	92	61	38	23	18	14	9	8	147	54,9	2.331	33.150
14+500	190	117	90	64	47	38	33	21	15	171	17,7	1.129	16.052
14+700	162	91	63	40	27	22	20	14	11	146	42,7	1.985	28.239
14+900	179	97	62	36	23	18	16	13	10	161	54,9	2.331	33.150
15+100	154	83	57	38	29	25	23	18	14	141	38,2	1.848	26.291

Tabla N° 04. ANÁLISIS ESTADISTICO

PROME DIO	207	122	87	58	41	33	28	19	15	184	28,9	1.49 1	21.203
DESV. STD.	53,2 2	37,7 2	30,0 6	22,8 6	17,2 7	14,0 5	12,2 7	7,8 3	5,4 7	46,6 6	16,8 9	562, 79	8004,7 4
COEF. VAR.	0,26	0,31	0,35	0,39	0,42	0,43	0,43	0,4 0	0,3 7	0,25	0,58	0,38	0,38
MAXIMO	343	217	177	139	110	91	78	51	29	302	80,5	2.97 8	42.359
MINIMO	131	73	49	29	18	14	13	9	7	117	4,3	458	6.517

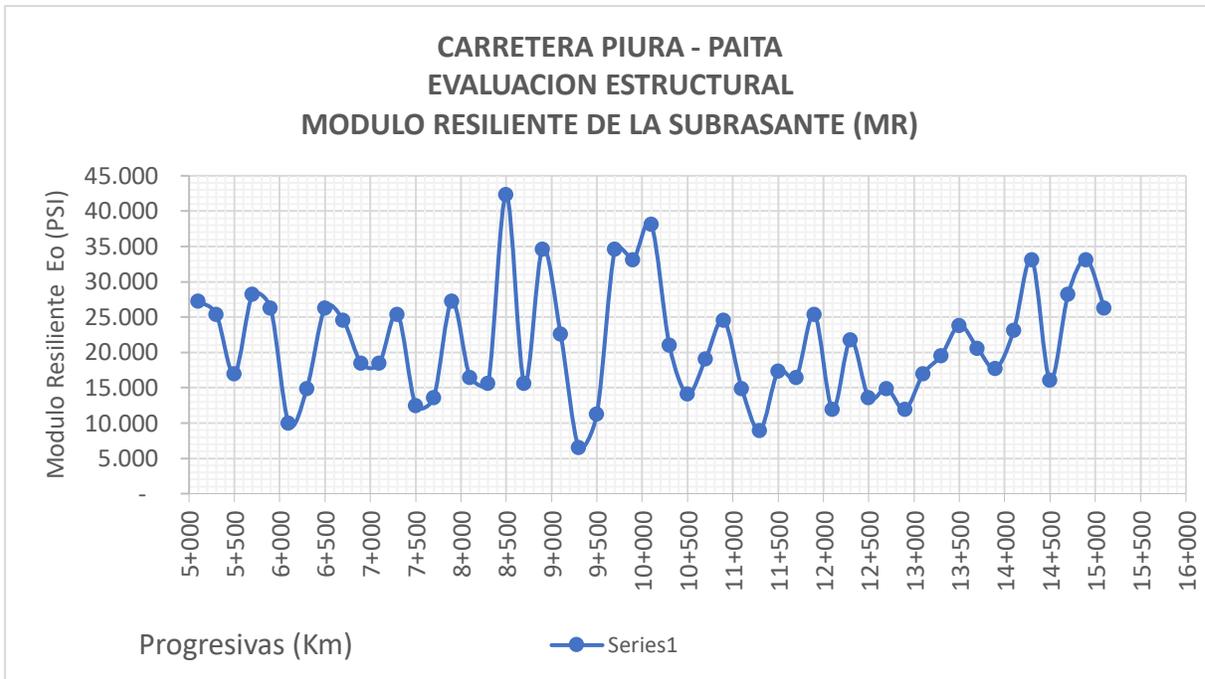


Tabla 5. Fuente: elaboración propia

En las Tabla 5, 6 y 7 se puede observar el Módulo Resiliente de la Subrasante que se ha obtenido a través del retro cálculo siguiendo los parámetros de la Guía AASHTO 1993. En dicha tabla se observa que el promedio del Módulo Resiliente de la Subrasante (MR) es de 21,203PSI, dicho valor representa un comportamiento regular con valores máximos y mínimos promedios que están entre los 42,359 y 6517PSI.

Objetivo Específico 2

Estimar el Módulo resiliente del pavimento (Ep).

Tabla 4. Resultados del Módulo resiliente del pavimento

Distancia	CURVA DE DEFLEXION									CORRECCION POR TEMP.	PARAMETROS ESTRUCTURALES		
	Deflexiones Corregidas (μm)										d0	Ep	Ep
	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9				
(Km)	0 cm	20 cm	30 cm	45 cm	60 cm	75 cm	90 cm	15 0 cm	18 0 cm	0 cm	Kg/cm ²	PSI	
5+100	19 0	10 2	69	42	28	21	19	13	7	166	8.565	121.8 21	
5+300	22 7	12 3	82	49	30	21	18	12	9	198	6.919	98.40 9	
5+500	29 9	16 8	11 4	70	45	32	27	16	16	258	5.578	79.34 4	
5+700	18 9	97	66	41	27	21	18	12	9	164	8.595	122.2 43	
5+900	21 0	11 2	74	45	29	25	22	14	12	182	7.657	108.9 02	
6+100	22 1	13 3	99	76	58	55	51	37	26	192	11.44 3	162.7 53	

6+300	22 6	12 8	92	63	48	41	37	26	16	198	8.614	122.5 16
6+500	24 4	13 5	86	49	29	22	20	13	12	213	6.216	88.40 6
6+700	23 5	13 0	89	52	31	26	21	16	12	206	6.635	94.37 4
6+900	16 8	10 0	72	51	39	33	31	23	20	148	11.96 8	170.2 24
7+100	15 4	89	65	47	37	33	32	25	21	135	13.79 3	196.1 89
7+300	21 7	12 9	86	51	30	22	16	11	7	192	7.209	102.5 39
7+500	34 3	21 3	15 2	99	61	43	33	17	13	302	5.047	71.78 1
7+700	29 6	18 7	13 7	89	56	38	30	15	10	261	5.990	85.20 0
7+900	17 5	91	60	38	28	24	22	15	14	153	9.578	136.2 36

8+100	20 8	12 6	94	64	46	37	32	23	21	183	9.211	131.0 08
8+300	16 8	98	74	53	42	39	34	26	21	148	13.14 2	186.9 19
8+500	13 8	77	51	30	18	14	13	10	8	123	11.01 1	156.6 18
8+700	19 6	12 0	89	64	47	39	34	24	19	173	10.29 8	146.4 72
8+900	17 0	92	62	37	22	18	16	12	11	150	9.036	128.5 20
9+100	15 5	87	63	43	32	27	24	18	14	137	12.15 2	172.8 44
9+300	29 7	21 7	17 7	13 9	11 0	91	78	51	28	261	9.160	130.2 90
9+500	24 2	15 2	12 0	90	68	54	47	26	25	213	8.926	126.9 63
9+700	15 7	82	54	32	22	18	16	13	11	140	9.906	140.8 99

9+900	16 2	93	60	34	23	17	16	14	11	143	9.776	139.0 53
10+100	13 8	73	49	29	20	18	16	15	9	123	11.409	162.2 78
10+300	13 3	79	60	43	33	29	25	20	14	118	15.829	225.1 37
10+500	14 8	92	70	53	44	38	36	27	22	132	16.951	241.1 02
10+700	22 3	14 1	98	64	40	29	25	19	15	196	7.809	111.0 76
10+900	18 8	11 0	77	49	31	22	19	13	10	169	8.679	123.4 49
11+100	22 9	15 1	11 4	80	54	41	34	21	18	205	8.179	116.3 32
11+300	29 3	21 0	16 4	11 8	85	68	60	37	29	261	7.402	105.2 80
11+500	25 5	14 3	99	64	44	37	35	24	19	228	6.562	93.33 7

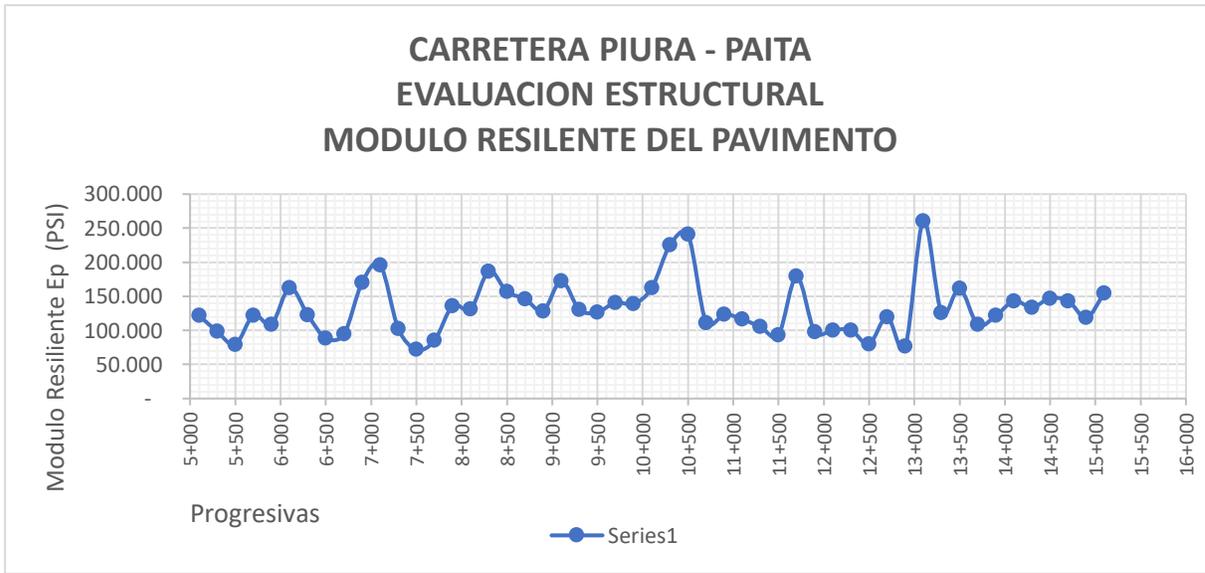
11+70 0	16 8	10 4	78	56	44	37	32	22	16	149	12.61 0	179.3 52
11+90 0	22 1	12 5	85	51	30	21	16	9	7	199	6.873	97.75 1
12+10 0	27 3	16 5	12 6	90	65	51	42	25	21	243	7.066	100.5 01
12+30 0	22 8	13 3	92	58	35	24	16	10	8	203	7.060	100.4 14
12+50 0	30 4	18 4	13 1	84	56	42	34	26	18	273	5.619	79.91 7
12+70 0	22 6	13 9	10 0	67	49	41	36	25	17	201	8.422	119.7 94
12+90 0	32 6	20 1	14 7	99	64	48	39	24	18	292	5.404	76.86 4
13+10 0	13 1	78	59	45	38	34	30	22	15	117	18.33 4	260.7 67
13+30 0	19 5	10 4	74	52	39	33	30	19	15	178	8.864	126.0 73

13+50 0	15 6	89	63	43	32	29	25	19	16	141	11.36 6	161.6 63
13+70 0	21 6	11 6	80	51	37	31	28	19	14	195	7.621	108.4 02
13+90 0	20 9	12 6	89	61	43	34	29	19	15	188	8.555	121.6 74
14+10 0	17 2	10 0	68	45	33	28	24	19	16	155	10.05 3	142.9 88
14+30 0	16 2	92	61	38	23	18	14	9	8	147	9.420	133.9 90
14+50 0	19 0	11 7	90	64	47	38	33	21	15	171	10.34 0	147.0 67
14+70 0	16 2	91	63	40	27	22	20	14	11	146	10.07 8	143.3 44
14+90 0	17 9	97	62	36	23	18	16	13	10	161	8.348	118.7 30
15+10 0	15 4	83	57	38	29	25	23	18	14	141	10.89 1	154.9 03

Tabla 5. Análisis estadístico

PROMEDIO	207	122	87	58	41	33	28	19	15	184	9.336,7	132.798
DESV. STD.	53,22	37,72	30,06	22,86	17,27	14,055	12,27	7,835	5,475	46,66	2847,45	40500,19
COEF. VAR.	0,257	0,309	0,345	0,393	0,422	0,429	0,434	0,403	0,368	0,25	0,30	0,30
MAXIMO	343	217	177	139	110	91	78	51	29	302	18.333,8	260.767
MINIMO	131	73	49	29	18	14	13	9	7	117	5.046,7	71.781

Figura 18. Evaluación estructural



Fuente: elaboración propia

Figura 19. Vista del ensayo con el deflectómetro de impacto (FWD)



Fuente: elaboración propia

En la Tabla 7 y 8 se puede observar el Módulo Resiliente del Pavimento (E_p), que se ha obtenido midiendo las deflexiones del pavimento para posteriormente proceder con el retrocálculo siguiendo los parámetros de la Guía AASHTO 1993. Se obtuvo un E_p de 132,798 PSI promedio y un valor mínimo de 71,781 PSI, lo cual estaría reflejando una menor capacidad estructural.

Objetivo Específico 3

Estimar el Número Estructural existente del pavimento de la carretera Piura Paita.

Tabla 6. Resultados del Número Estructural existente

Distancia	CURVA DE DEFLEXION									CORRECCION POR TEMP.	PARAMETRO ESTRUCTURAL
	Deflexiones Corregidas (μm)										
	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d0	SN efectivo
(Km)	0 cm	20 cm	30 cm	45 cm	60 cm	75 cm	90 cm	150 cm	180 cm	0 cm	
5+100	190	102	69	42	28	21	19	13	7	166	3,9
5+300	227	123	82	49	30	21	18	12	9	198	3,6
5+500	299	168	114	70	45	32	27	16	16	258	3,4
5+700	189	97	66	41	27	21	18	12	9	164	3,9
5+900	210	112	74	45	29	25	22	14	12	182	3,8
6+100	221	133	99	76	58	55	51	37	26	192	4,3
6+300	226	128	92	63	48	41	37	26	16	198	3,9
6+500	244	135	86	49	29	22	20	13	12	213	3,5
6+700	235	130	89	52	31	26	21	16	12	206	3,6
6+900	168	100	72	51	39	33	31	23	20	148	4,4
7+100	154	89	65	47	37	33	32	25	21	135	4,6
7+300	217	129	86	51	30	22	16	11	7	192	3,7
7+500	343	213	152	99	61	43	33	17	13	302	3,3
7+700	296	187	137	89	56	38	30	15	10	261	3,5
7+900	175	91	60	38	28	24	22	15	14	153	4,1
8+100	208	126	94	64	46	37	32	23	21	183	4,0
8+300	168	98	74	53	42	39	34	26	21	148	4,5
8+500	138	77	51	30	18	14	13	10	8	123	4,2
8+700	196	120	89	64	47	39	34	24	19	173	4,2
8+900	170	92	62	37	22	18	16	12	11	150	4,0
9+100	155	87	63	43	32	27	24	18	14	137	4,4
9+300	297	217	177	139	110	91	78	51	28	261	4,0
9+500	242	152	120	90	68	54	47	26	25	213	4,0
9+700	157	82	54	32	22	18	16	13	11	140	4,1
9+900	162	93	60	34	23	17	16	14	11	143	4,1
10+100	138	73	49	29	20	18	16	15	9	123	4,3
10+300	133	79	60	43	33	29	25	20	14	118	4,8
10+500	148	92	70	53	44	38	36	27	22	132	4,9
10+700	223	141	98	64	40	29	25	19	15	196	3,8

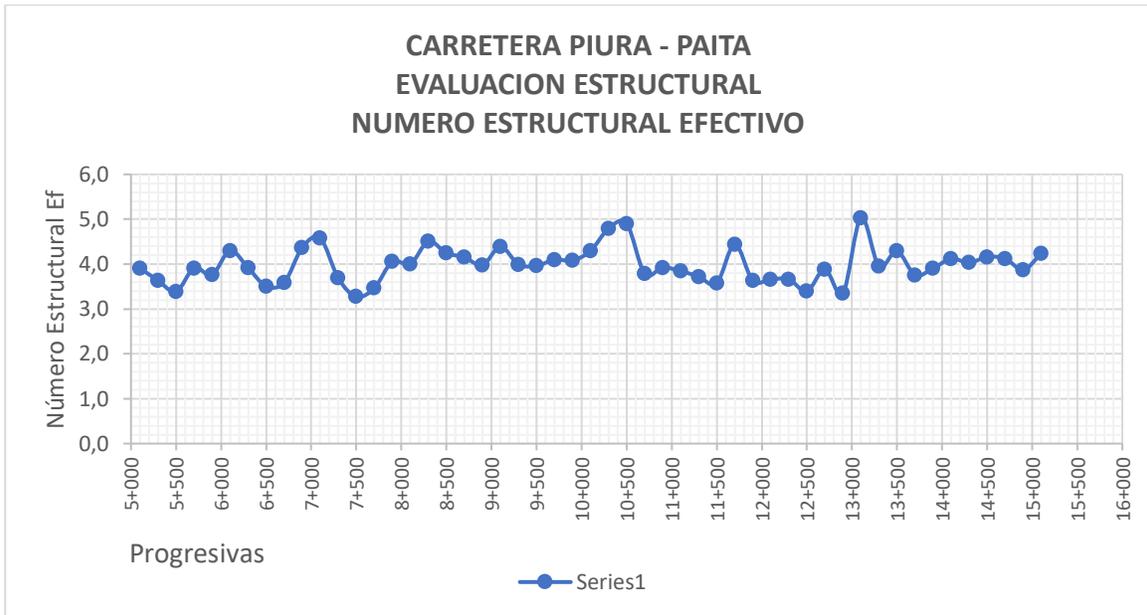
10+900	188	110	77	49	31	22	19	13	10	169	3,9
11+100	229	151	114	80	54	41	34	21	18	205	3,8
11+300	293	210	164	118	85	68	60	37	29	261	3,7
11+500	255	143	99	64	44	37	35	24	19	228	3,6
11+700	168	104	78	56	44	37	32	22	16	149	4,4
11+900	221	125	85	51	30	21	16	9	7	199	3,6
12+100	273	165	126	90	65	51	42	25	21	243	3,7
12+300	228	133	92	58	35	24	16	10	8	203	3,7
12+500	304	184	131	84	56	42	34	26	18	273	3,4
12+700	226	139	100	67	49	41	36	25	17	201	3,9
12+900	326	201	147	99	64	48	39	24	18	292	3,3
13+100	131	78	59	45	38	34	30	22	15	117	5,0
13+300	195	104	74	52	39	33	30	19	15	178	4,0
13+500	156	89	63	43	32	29	25	19	16	141	4,3
13+700	216	116	80	51	37	31	28	19	14	195	3,8
13+900	209	126	89	61	43	34	29	19	15	188	3,9
14+100	172	100	68	45	33	28	24	19	16	155	4,1
14+300	162	92	61	38	23	18	14	9	8	147	4,0
14+500	190	117	90	64	47	38	33	21	15	171	4,2
14+700	162	91	63	40	27	22	20	14	11	146	4,1
14+900	179	97	62	36	23	18	16	13	10	161	3,9
15+100	154	83	57	38	29	25	23	18	14	141	4,2

Tabla 7. Análisis estadístico

PROMEDIO	207	122	87	58	41	33	28	19	15	184	4,0
DESV. STD.	53,2	37,7	30,1	22,9	17,3	14,1	12,3	7,8	5,5	46,7	0,4
COEF. VAR.	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,1
MAXIMO	343	217	177	139	110	91	78	51	29	302	5,0
MINIMO	131	73	49	29	18	14	13	9	7	117	3,3

Fuente: elaboración propia

Figura 20. Evaluación estructural



Fuente: elaboración propia

Figura 21. Vista del ensayo con el deflectómetro de impacto (FWD)



Fuente: elaboración propia

En la Tabla 9, 10 y 11 se observa el comportamiento del Número Estructural Existente del tramo, dichos valores representan un regular comportamiento, con valores que están entre los 3.3 y 5.8. El promedio para todo el tramo es de 4.

Seguidamente resultados del objetivo general que es, evaluar estructuralmente pavimentos para fines de rehabilitación mediante procedimientos No Destructivos (Medición de Deflexiones) para el diagnóstico estructural al pavimento de la carretera Piura-Paita.

A continuación, tenemos:

4.2 Medición de deflexiones

Medido con una frecuencia de 200m, en cada punto se midió nueve deflexiones.

En la tabla se observa el cuenco de deflexiones que esta dado por la curva distancia entre geófonos versus deflexiones.

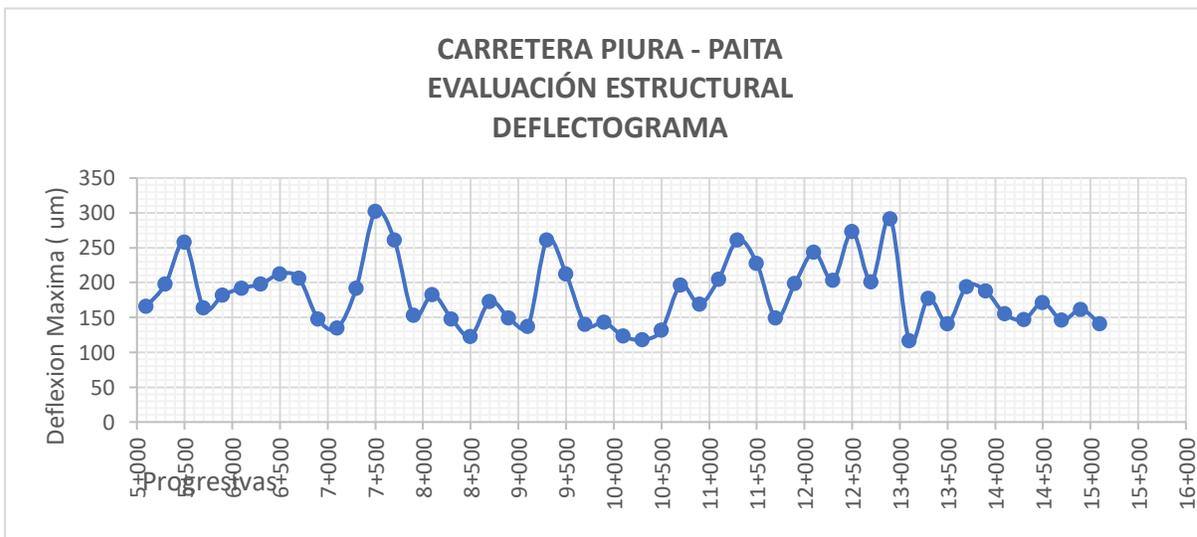
Tabla 8. Deflectograma

Distancia	CURVA DE DEFLEXION									CORRECCION POR TEMP.
	Deflexiones Corregidas (μm)									
	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	
(Km)	0 cm	20 cm	30 cm	45 cm	60 cm	75 cm	90 cm	150 cm	180 cm	0 cm
5+100	190	102	69	42	28	21	19	13	7	166
5+300	227	123	82	49	30	21	18	12	9	198
5+500	299	168	114	70	45	32	27	16	16	258
5+700	189	97	66	41	27	21	18	12	9	164
5+900	210	112	74	45	29	25	22	14	12	182
6+100	221	133	99	76	58	55	51	37	26	192
6+300	226	128	92	63	48	41	37	26	16	198
6+500	244	135	86	49	29	22	20	13	12	213
6+700	235	130	89	52	31	26	21	16	12	206
6+900	168	100	72	51	39	33	31	23	20	148
7+100	154	89	65	47	37	33	32	25	21	135
7+300	217	129	86	51	30	22	16	11	7	192
7+500	343	213	152	99	61	43	33	17	13	302
7+700	296	187	137	89	56	38	30	15	10	261
7+900	175	91	60	38	28	24	22	15	14	153
8+100	208	126	94	64	46	37	32	23	21	183
8+300	168	98	74	53	42	39	34	26	21	148
8+500	138	77	51	30	18	14	13	10	8	123
8+700	196	120	89	64	47	39	34	24	19	173
8+900	170	92	62	37	22	18	16	12	11	150
9+100	155	87	63	43	32	27	24	18	14	137
9+300	297	217	177	139	110	91	78	51	28	261
9+500	242	152	120	90	68	54	47	26	25	213
9+700	157	82	54	32	22	18	16	13	11	140
9+900	162	93	60	34	23	17	16	14	11	143
10+100	138	73	49	29	20	18	16	15	9	123
10+300	133	79	60	43	33	29	25	20	14	118
10+500	148	92	70	53	44	38	36	27	22	132
10+700	223	141	98	64	40	29	25	19	15	196
10+900	188	110	77	49	31	22	19	13	10	169
11+100	229	151	114	80	54	41	34	21	18	205
11+300	293	210	164	118	85	68	60	37	29	261

11+500	255	143	99	64	44	37	35	24	19	228
11+700	168	104	78	56	44	37	32	22	16	149
11+900	221	125	85	51	30	21	16	9	7	199
12+100	273	165	126	90	65	51	42	25	21	243
12+300	228	133	92	58	35	24	16	10	8	203
12+500	304	184	131	84	56	42	34	26	18	273
12+700	226	139	100	67	49	41	36	25	17	201
12+900	326	201	147	99	64	48	39	24	18	292
13+100	131	78	59	45	38	34	30	22	15	117
13+300	195	104	74	52	39	33	30	19	15	178
13+500	156	89	63	43	32	29	25	19	16	141
13+700	216	116	80	51	37	31	28	19	14	195
13+900	209	126	89	61	43	34	29	19	15	188
14+100	172	100	68	45	33	28	24	19	16	155
14+300	162	92	61	38	23	18	14	9	8	147
14+500	190	117	90	64	47	38	33	21	15	171
14+700	162	91	63	40	27	22	20	14	11	146
14+900	179	97	62	36	23	18	16	13	10	161
15+100	154	83	57	38	29	25	23	18	14	141

Fuente: elaboración propia

Figura 22. Deflectograma



Fuente: elaboración propia

En la Tabla 9, se observa el Deflectograma; la deflexión máxima es de 184μm promedio.

A partir de las deflexiones:

Tabla 9. Curva de deflexión

CURVA DE DEFLEXION									CORRE CION POR TEMP.	Espesores de Estructura		
Deflexiones Corregidas (μm)										Capa Asfál tica	Granul ares	Espe sor Total
d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d0			
0	20	30	45	60	75	90	150	180	0 cm	cm	cm	cm
cm	c m	c m	cm	c m	c m	cm	cm	cm				
19	10	69	42	28	21	19	13	7	166	9,4	35,0	44,4
0	2											
22	12	82	49	30	21	18	12	9	198	9,4	35,0	44,4
7	3											
29	16	11	70	45	32	27	16	16	258	9,4	35,0	44,4
9	8	4										
18	97	66	41	27	21	18	12	9	164	9,4	35,0	44,4
9												
21	11	74	45	29	25	22	14	12	182	9,4	35,0	44,4
0	2											
22	13	99	76	58	55	51	37	26	192	9,4	35,0	44,4
1	3											

22 6	12 8	92	63	48	41	37	26	16	198	9,4	35,0	44,4
24 4	13 5	86	49	29	22	20	13	12	213	9,4	35,0	44,4
23 5	13 0	89	52	31	26	21	16	12	206	9,4	35,0	44,4
16 8	10 0	72	51	39	33	31	23	20	148	9,4	35,0	44,4
15 4	89	65	47	37	33	32	25	21	135	9,4	35,0	44,4
21 7	12 9	86	51	30	22	16	11	7	192	9,4	35,0	44,4
34 3	21 3	15 2	99	61	43	33	17	13	302	9,4	35,0	44,4
29 6	18 7	13 7	89	56	38	30	15	10	261	9,4	35,0	44,4
17 5	91	60	38	28	24	22	15	14	153	9,4	35,0	44,4
20 8	12 6	94	64	46	37	32	23	21	183	9,4	35,0	44,4
16 8	98	74	53	42	39	34	26	21	148	9,4	35,0	44,4
13 8	77	51	30	18	14	13	10	8	123	9,4	35,0	44,4
19 6	12 0	89	64	47	39	34	24	19	173	9,4	35,0	44,4

17 0	92	62	37	22	18	16	12	11	150	9,4	35,0	44,4
15 5	87	63	43	32	27	24	18	14	137	9,4	35,0	44,4
29 7	21 7	17 7	13 9	11 0	91	78	51	28	261	9,4	35,0	44,4
24 2	15 2	12 0	90	68	54	47	26	25	213	9,4	35,0	44,4
15 7	82	54	32	22	18	16	13	11	140	9,4	35,0	44,4
16 2	93	60	34	23	17	16	14	11	143	9,4	35,0	44,4
13 8	73	49	29	20	18	16	15	9	123	9,4	35,0	44,4
13 3	79	60	43	33	29	25	20	14	118	9,4	35,0	44,4
14 8	92	70	53	44	38	36	27	22	132	9,4	35,0	44,4
22 3	14 1	98	64	40	29	25	19	15	196	9,4	35,0	44,4
18 8	11 0	77	49	31	22	19	13	10	169	9,4	35,0	44,4
22 9	15 1	11 4	80	54	41	34	21	18	205	9,4	35,0	44,4
29 3	21 0	16 4	11 8	85	68	60	37	29	261	9,4	35,0	44,4

25 5	14 3	99	64	44	37	35	24	19	228	9,4	35,0	44,4
16 8	10 4	78	56	44	37	32	22	16	149	9,4	35,0	44,4
22 1	12 5	85	51	30	21	16	9	7	199	9,4	35,0	44,4
27 3	16 5	12 6	90	65	51	42	25	21	243	9,4	35,0	44,4
22 8	13 3	92	58	35	24	16	10	8	203	9,4	35,0	44,4
30 4	18 4	13 1	84	56	42	34	26	18	273	9,4	35,0	44,4
22 6	13 9	10 0	67	49	41	36	25	17	201	9,4	35,0	44,4
32 6	20 1	14 7	99	64	48	39	24	18	292	9,4	35,0	44,4
13 1	78	59	45	38	34	30	22	15	117	9,4	35,0	44,4
19 5	10 4	74	52	39	33	30	19	15	178	9,4	35,0	44,4
15 6	89	63	43	32	29	25	19	16	141	9,4	35,0	44,4
21 6	11 6	80	51	37	31	28	19	14	195	9,4	35,0	44,4
20 9	12 6	89	61	43	34	29	19	15	188	9,4	35,0	44,4

17 2	10 0	68	45	33	28	24	19	16	155	9,4	35,0	44,4
16 2	92	61	38	23	18	14	9	8	147	9,4	35,0	44,4
19 0	11 7	90	64	47	38	33	21	15	171	9,4	35,0	44,4
16 2	91	63	40	27	22	20	14	11	146	9,4	35,0	44,4
17 9	97	62	36	23	18	16	13	10	161	9,4	35,0	44,4
15 4	83	57	38	29	25	23	18	14	141	9,4	35,0	44,4

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 10, se observa los espesores del pavimento con un espesor total de 44.4cm.

Tabla 10. Cálculo del refuerzo

CARRETERA PIURA - PAITA
CALCULO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL

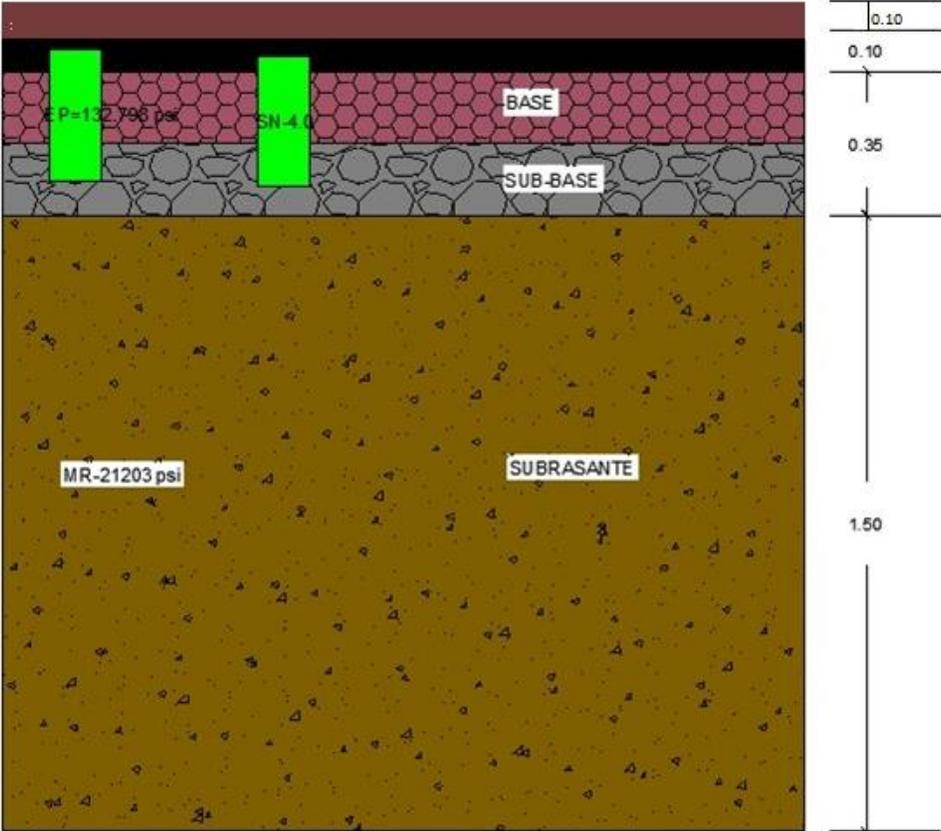
PARÁMETROS GENERALES AASHTO				Confiabilidad, R (%)		90%	Serviciabilidad Inicial, Po			4	Desviación Estándar, So		0.49	
				Variable normalizada, Zr		-1.036	Serviciabilidad final, Pt			2	Período de Diseño, (años)		5	
SECCION	PROGRESIVA		ESAL	E _{sg}	MR	R	Zr	So	ΔPSI	Ec. Iter	SN _{req}	SN _{eff}	ICE (%)	ESPESOR REFUERZO
	INICIO	FIN		(kg/cm ²)	(psi)									Asf. Std. (cm)
1	5+000	15+000	90000000	745.4	10,602	90%	-1.036	0.49	2	5.6082	5.6082	40,000	71.324	9.3

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 11 se expone la sección 1 con una condición regular de serviciabilidad y un valor de dos, por ello, los vehículos pueden transitar continuamente a una limitada velocidad; el número estructural (SN) efectivo es de cuatro.

Con los resultados descritos anteriormente, se tiene como espesor de refuerzo para un periodo adicional de vida útil de 15 años un espesor de 10cm de refuerzo (carpeta asfáltica).

Figura 23. Diseño del pavimento



Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIÓN

Hipótesis General: Mediante ensayos no destructivos (deflexiones) y la implementación de los algoritmos descritos en la Guía AASHTO 1993 se podría evaluar estructuralmente el pavimento de la carretera Piura-Paita.

Para evaluar estructuralmente el pavimento de la carretera Piura-Paita, fue necesario recopilar los datos obtenidos con el Deflectómetro de Impacto (FWD) para que en conjunto el algoritmo con la Guía AASHTO 1993 se proceda a calcular, el número estructural, el Módulo Resiliente de la Subrasante y del pavimento.

Así, Condori (6) determinó el uso de la medición de impacto para hallar el estado de la subrasante de una vía de 4 km de Pulau Pinang, por lo tanto, el deflectómetro de impacto (FWD) es preciso para identificar el estado de la subrasante y el pavimento que ha sido afectado, lo que depende de la resistencia de la subrasante y la rigidez de las capas.

Por lo tanto, al igual que Condori (6), se acepta la hipótesis general que establece que es posible evaluar estructuralmente el pavimento de la carretera Piura-Paita mediante ensayos no destructivos (deflexiones) y la implementación de los algoritmos descritos en la Guía AASHTO 1993.

Hipótesis Específica N° 1: Mediante el análisis de deflexiones y la obtención del módulo de resiliencia se podría conocer la real condición o rigidez del suelo de fundación.

En base a la medición de deflexiones a través del deflectómetro de impacto (FWD), el CBR y el retro análisis de la Guía AASHTO 1993; obtuvimos el módulo de resiliencia o real condición del suelo sin necesidad de hacer perforaciones en la vía dañando el pavimento. El valor del módulo resiliente promedio es de 1491 kg/cm² en el tramo ya mencionado.

Según Zúñiga (7), es preciso mejorar el diseño del pavimento sin perjudicar al medio ambiente, con el fin de obtener beneficios económicos y sociales, así, se debe tener

en cuenta el análisis topográfico, la estructura del suelo, la vida útil y el flujo de vehículos.

Por tanto, se acepta la hipótesis específica 2 que establece mediante el análisis de deflexiones y la obtención del módulo de resiliencia se puede conocer la real condición o rigidez del suelo de fundación.

Hipótesis Específica N° 2: Mediante el análisis de deflexiones se estimaría el módulo elástico del pavimento (Ep).

Para evaluar estructuralmente el pavimento, fue necesario recopilar los datos obtenidos con el Deflectómetro de Impacto (FWD) para que en conjunto con la Guía AASHTO 1993 y el retrocálculo, conozcamos el módulo elástico del pavimento (Ep). Estos resultados obtenidos están en un promedio de 5000 a 18000 kg/cm², siendo el valor del Ep promedio 9336 kg/cm².

Estos resultados contrastan los sostenidos por Aguirre, Alas y Rivera (3), quienes consideraron como objetivo principal de su proyecto de investigación determinar los módulos estructurales de pavimentos flexibles en el país de El Salvador utilizando el método de cálculo inverso de Aashto. Directrices de 1993 y software pitra-back bajo Obtener resultados en el lado derecho de la acera: carretera Sonsonate-Puerto Acajutla un módulo resiliente (MR) de 27786psi, en la carretera Comalapa-Zacatecoluca un módulo resiliente (MR) de 25401psi y para la carretera desvío San Vicente-km 70 un Mr. de 13384psi, para el lateral izquierdo del pavimento obtuvo un módulo resiliente de 22370psi en la carretera Sonsonate-puerto Acajutla y en la carretera Comalapa-Zacatecoluca un módulo resiliente de 26516psi.

Por tanto se acepta la hipótesis específica 2, que a partir del análisis de deflexiones se puede estimar el módulo elástico del pavimento (Ep).

Hipótesis Específica N° 3: Mediante el análisis de deflexiones se obtendría el Número Estructural (SN) para fines de conocer el refuerzo del pavimento.

Analizando las condiciones para encontrar la capacidad portante del material base y el espesor existente del sitio, se evalúa el módulo de elasticidad y el módulo de elasticidad equivalente por el análisis inverso y la deformación obtenida por la galga

extensométrica de impacto (FWD) y la valores. rango de 458 a 2978 kg/cm² Todo el perfil se puede distinguir con un valor medio promedio de 1492 kg/cm². Módulo equivalente calculado de 5000 a 18000 kg/cm². Al observar los resultados obtenidos, identificamos una tendencia general de los valores que se encuentran entre 2 a 4, con un promedio de Número Estructural Efectivo de 4.

Estos resultados obtenidos se contrastan con la tesis de Condori (3), quien estudió la capacidad del material de la subrasante, con ello, planteó un módulo de resiliencia mediante un retrocálculo en función de las deflexiones conseguidas con el deflectómetro de impacto.

El valor exacto varía entre 500 y 2000 kg/cm² en cada tramo, excepto en la Zona 1 donde el valor está entre 1000 kg/cm² y 7000 kg/cm², por lo que la media global de las carreteras es de 1070 kg/cm² centímetros. Los módulos calculados correspondientes van de 1000 a 8000 kg/cm², pero también existen sectores con valores superiores a 8000 kg/cm², Km 1077 000, Km 1078 500 y Km 1079 400. El examen de estos valores reveló solo una tendencia general de valores entre 2,3 y 4,0 con un SN efectivo medio de 3,0.

Por tanto se acepta la hipótesis específica 3, mediante el análisis de deflexiones se obtendría el Número Estructural (SN) para fines de conocer el refuerzo del pavimento.

VI. CONCLUSIONES

Conclusión 1: con el fin de identificar el espesor de refuerzo del pavimento para un periodo de vida adicional de 15 años se obtuvo el número estructural, el módulo resiliente de la subrasante y del pavimento, los espesores, en consideración con el ensayo del deflectómetro de impacto (FWD), la Guía AASHTO 1993 y el retrocálculo, en este sentido, fue posible agilizar el servicio de mejoramiento para un pavimento útil y seguro.

Conclusión 2: fue preciso fijar el número estructural del pavimento de la vía Piura - Paita, a través de la metodología del retrocálculo, por ello, se emplearon las deflexiones medidas en campo con el deflectómetro de impacto, con lo que se obtuvo un valor de SN existente promedio actual de 4, con un promedio de SN Efectivo de 5.

Conclusión 3: el deflectómetro de impacto es, hoy en día, una de las herramientas que modela, correctamente, el comportamiento de las cargas actuantes al pavimento, por lo que es empleado por los estudiosos del tema.

Conclusión 4: se confirma el número estructural de diseño requerido mediante la Guía AASHTO 1993, con el empleo del ESAL de 9×10^6 de la carretera Piura – Paita, para un periodo de 15 años y valores ponderados de la capacidad de soporte de modulo resiliente de diseño, los que se obtuvieron con el ensayo no destructivo, así, el número estructural SNrequerido es de 5.6.

Conclusión 5: el deflectómetro de impacto es usado para llevar a cabo evaluaciones estructurales del pavimento, lo que contribuye a la gestión de la infraestructura vial.

Conclusion 6: con los procedimientos expuestos en la presente tesis se validan todos los objetivos planteados en esta investigación.

VII. RECOMENDACIONES

Recomendación 1: utilizar de la metodología de retrocálculo (FWD) y la ASSHTO 93, por lo que, son eficaces para determinar los espesores del pavimento.

Recomendación 2: el deflectómetro de impacto solo debe ser usado por operadores experimentados guiados por un ingeniero especialista, de lo contrario, se pueden invalidar los resultados.

Recomendación 3: para el desarrollo de la evaluación estructural, es preciso considerar los estándares de carga y presión de la ASSHTO 93, en vista de que los datos de los espesores de campo son fundamentales.

Recomendación 4: es necesario consideran las investigaciones de tráfico, con el fin de identificar el número de ejes equivalentes de diseño conforme con la realidad de la vía.

REFERENCIAS

- [1] HERNÁNDEZ, Óscar. CCL: el 80% de las carreteras del Perú está en mal estado. En: *Logística 36* [en línea]. 2019. Disponible en: <https://www.logistica360.pe/ccl-el-80-de-las-carreteras-del-peru-esta-en-mal-estado/> [Consulta: 1-11-2022], p. 1.
- [2] BALAREZO, César. “Evaluación Estructural del Pavimento de la Vía Cuenca - Azogues, Tramo El Salado - Guangarcucho (20 km), con el Método no Destructivo FWD (Falling Weight Deflectometer) y Diseño de su Rehabilitación” [Tesis de grado]. Director: Juan Sebastián López. Cuenca: Universidad de Cuenca, 2022.
- [3] AGUIRRE, Gabriela, ALAS, Miguel y RIVERA, Mario. “Determinación de los módulos estructurales de pavimento flexible en El Salvador, mediante retrocálculo con el método AASHTO 93 y el software Pitra-Back” [Tesis de grado]. Director: Dilber Antonio Sánchez Vides. Universidad de El Salvador, San Salvador, 2020.
- [4] CRUZ, Óscar y OCAÑA, Freddy. “Evaluación estructural de pavimentos flexibles construidos en la localidad de Usme utilizando el deflectómetro de impacto o FWD” [Tesis de grado]. Director: Juan Miguel Sánchez Durán. Universidad Santo Tomás, Bogotá, 2019.
- [5] AGUILAR, Álvaro y SALINAS, Pablo. “Evaluación de la vida útil del pavimento flexible de la vía Conococha – Yanacancha ante el incremento de los ejes equivalentes no proyectados, utilizando la metodología AASHTO 93” [Tesis de grado]. Director: Manuel Elías Silvera Lima. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, 2019.
- [6] CONDORI, Kely. “Determinación de espesores en pavimento flexible para mejoramiento de carreteras usando Deflectómetro de Impacto (FWD) y ASSTHO 93, Combapata-Sicuaní 2021” [Tesis de grado]. Director: Gustavo Aybar. Universidad César Vallejo, Lima, 2021.

- [7] ZÚÑIGA, Óscar. “Diseño de la Estructura del Pavimento Flexible de las Calles Comprendidas dentro del perímetro de la CA. VHRT, CA. LA PAZ, CA. Pachacutec y Av. Gran Chimú de Distrito de la Victoria - Chiclayo – Lambayeque” [Tesis de grado]. Director: Miriam Serrepe. Pimentel: Universidad Señor de Sipán, 2018.
- [8] *Ibíd.*
- [9] BOUSSINESQ, Joseph. *Application des potentiels à l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques: principalement au calcul des déformations et des pressions*. New York: Astor Library, 1985.
- [10] BURMISTER, D. The General Theory of Stresses and displacements in layered soil systems. Washington: Transportation Research Board [TRB], 1943.
- [11] Carrión, Salvador. *Curso de Master en PNL*. Barcelona: Editorial Obelisco, 2003.
- [12] AGUILAR, Álvaro y SALINAS, Pablo. “Evaluación de la vida útil del pavimento flexible...”, *op. cit.*
- [13] HERRERA, Martha. “Determinación del módulo resiliente de diseño de pavimentos mediante criterios ASSHTO 1993 y 2002” [Tesis de grado]. Director: Germán Gallardo Zevallos. Universidad de Piura, Lima, 2014.
- [14] GUZMÁN, Dany y ULLOA, Javier. “Evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal aeropuerto de Pisco: Renán Elías Olivera” [Tesis de grado]. Director: Guillermo Laso. Universidad Ricardo Palma, Lima, 2015, p. 1.
- [15] CABRERA, Carlos. Proceso de retrocálculo mediante la metodología AASHTO 93. En: *SlideShare* [en línea]. <https://es.slideshare.net/Ceca18/metodologa-retroclculo-aashto-93> [Consulta: 1-11-2022].

- [16] VARGAS, Michel. “Metodología para la estimación del número estructural efectivo de los pavimentos flexibles recién construidos y su capacidad estructural” [Tesis de grado]. Director: Javier Camacho. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2017, p. 10.
- [17] *Ibíd.*
- [18] HIGUERA, Carlos. Caracterización de la resistencia de la subrasante con la información del deflectómetro de impacto. *Revista Facultad de Ingeniería*. 2010, vol. 19, núm. 28, p. 77.
- [19] *Ibíd.*
- [20] *Ibíd.*
- [21] VARGAS, Michel. “Metodología para la estimación del número estructural...”, *op. cit.*
- [22] CONDORI, Kely. “Determinación de espesores en pavimento flexible...”, *op. cit.*
- [23] *Ibíd.*, p. 41.
- [24] ÑAUPAS, Humberto et al. *Metodología de la Investigación Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de Tesis*. Bogotá: Ediciones de la U, 2018.
- [25] HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María. *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill, 2014.
- [26] *Ibíd.*
- [27] ÑAUPAS, Humberto et al. *Metodología de la Investigación Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de Tesis*, *op. cit.*
- [28] TAMAYO-TAMAYO, Mario. *El proceso de la investigación científica*. México: Editorial Limusa S.A., 1997, p. 117.

- [29] BORJA, Manuel. Metodología de investigación científica. En: *SlideShare* [en línea]. 2020. Disponible en: <https://es.slideshare.net/manborja/metodologia-de-inv-cientifica-para-ing-civil> [Consulta: 1-11-2022], p. 3.
- [30] HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María. *Metodología de la investigación*, op. cit.
- [31] PAVIMENTOS. Muestreo y ensayo de materiales. En: *Pavimentos* [en línea]. 2021. Disponible en: <https://libro-pavimentos.blogspot.com/2021/11/> [Consulta: 1-11-2022].

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables

TTULO: Evaluación Estructural No Destructiva de Pavimento Flexible Mediante la Solución del Algoritmo AASHTO 1993, Carretera Piura-Paita, 2022

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	METODOLOGIA
INDEPENDIENTE		Como ingresa				
DEFLEXIONES	La deflexión se define como, el desplazamiento vertical del paquete estructural de un pavimento ante la aplicación de una carga; generalmente, la carga es producida por el tránsito vehicular. Cuando se aplica una carga en la superficie no solo se desplaza el punto bajo su aplicación, produciendo una deflexión máxima, sino que también se desplaza una zona alrededor del eje de aplicación de la carga, que se denomina cuenco de deflexión.	Para medir las deflexiones en la carretera se realizará a través del uso de un equipo denominado Deflectometro de Impacto (FWD), se aplicará una carga, la carga generará esfuerzos, deflexiones y deformaciones. El equipo medirá deflexiones con 7 sensores que esta debidamente distribuidos a lo largo de una barra.	Deflexiones	Deflexión máxima	RAZÓN	<p>Metodo: Científico</p> <p>Tipo de Investigación: Tipo Aplicada</p> <p>Nivel de Investigación: Explicativa (Causa-Efecto)</p> <p>Diseño de Investigación No experimental</p> <p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Población: Carretera Piura-Paita del 0Km al 38Km</p> <p>Muestra: Del 5Km al 15Km</p> <p>Muestreo: No Probabilístico</p> <p>Instrumentos de la Investigación Ensayos in-situ Pruebas In-situ</p>
				Cuenco deflectométrico		
DEPENDIENTE		Que efecto				
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA	Podemos definir a la evaluación estructural no destructiva como el análisis y proceso elementos estructurales para determinar su integridad, asimismo analizar los resultados para poder calificar la condición estructural del componente a evaluar.	Son tecnologías de alto rendimiento que han mejorado la evaluación de estado actual del pavimento flexible.	Módulo Resiliente de la Subrasante	Eo	RAZÓN	
			Módulo Resiliente del Pavimento	Ep		
			Número Estructural	SN		

Anexo 2. Matriz de consistencia

TITULO: Evaluación Estructural No Destructiva de Pavimento Flexible Mediante la Solución del Algoritmo AASHTO 1993, Carretera Piura-Paita, 2022

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	HIPOTESIS	VARIABLE	DIMENSION	INDICADORES	INSTRUMENTOS
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	INDEPENDIENTE			
De qué manera se puede evaluar estructuralmente un pavimento con fines de rehabilitación sin realizar procedimientos destructivos (calcatas o extracción de diamantinas)?	Evaluar estructuralmente pavimentos para fines de rehabilitación mediante procedimientos No Destructivos (Medición de Deflexiones) para el diagnóstico estructural al pavimento de la carretera Piura-Paita.	Mediante ensayos no destructivos (deflexiones) y la implementación de los algoritmos descritos en la Guía AASHTO 1993 se podría evaluar estructuralmente el pavimento de la carretera Piura-Paita.	Deflexiones	Recuperación elástica del pavimento	Deflexión Máxima, Cuenco Deflectrometrico	Deflectómetro de Impacto FWD
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA	DEPENDIENTE			
¿Cuál es el procedimiento más preciso para estimar el real modulo resiliente del suelo de fundación?	Conocer el Módulo resiliente real del suelo de fundación y de las capas del pavimento.	Mediante el análisis de deflexiones y la obtención del módulo de resiliencia se podría conocer la real condición o rigidez del suelo de fundación.	Evaluación Estructural No Destructiva	Módulo Resiliente de la Subrasante	Eo	Retroanálisis AASHTO 1993
¿Mediante qué procedimiento No Destructivo se puede estimar el módulo del pavimento EP?	Estimar el Módulo resiliente del pavimento (Ep).	Mediante el análisis de deflexiones se estimaría el módulo elástico del pavimento (Ep).		Módulo Resiliente del Pavimento	Ep	Retroanálisis AASHTO 1993
¿Mediante qué procedimiento No Destructivo se puede estimar el Número Estructural Efectivo del Pavimento SNeF?	Estimar el Número Estructural existente del pavimento de la carretera Piura Paita.	Mediante el análisis de deflexiones se obtendría el Número Estructural (SN) para fines de conocer el refuerzo del pavimento.		Número Estructural	SN	Algoritmos AASHTO 1993

Anexo 3. Formato de Juicio de Expertos

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE

Nº	VARIABLES/DIMENSIONES/INDICADORES	Pertinencia ¹	Relevancia ²	Claridad ³	Sugerencias
	VARIABLE INDEPENDIENTE: Deflexiones	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
	DIMENSIÓN 1	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
1	Deflexiones	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
2					
	DIMENSIÓN 2	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
3					
4					
	VARIABLE DEPENDIENTE: Evaluación estructural no destructiva	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
	DIMENSIÓN 1:	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
5	Módulo Resiliente de la Subrasante	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
6					
	DIMENSIÓN 2	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
7	Módulo Resiliente del Pavimento	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
8					
	DIMENSIÓN 3	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
9	Número Estructural	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	

Observaciones (precisar si hay suficiencia): _____

Opinión de aplicabilidad: Aplicable Aplicable después de corregir No aplicable

Apellidos y nombres del juez validador. Dr/ Mg: BARRALES TACOLA CARLOS A. DNI: 26675123

Especialidad del validador: INGENIERO CIVIL.

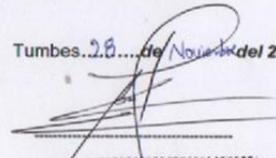
¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

²Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión

Tumbes, 28 de Noviembre del 2022


Firma del Experto Informante.
 CARLOS A. BARRALES TACOLA
 INGENIERO CIVIL
 C.P. 115 5911

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE

Nº	VARIABLES/DIMENSIONE/INDICADORES	Pertinencia ¹	Relevancia ²	Claridad ³	Sugerencias
	VARIABLE INDEPENDIENTE: Deflexiones	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
	DIMENSIÓN 1	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
1	Deflexiones	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
2	DIMENSIÓN 2	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
3					
4					
	VARIABLE DEPENDIENTE: Evaluación estructural no destructiva	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
	DIMENSIÓN 1:	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
5	Módulo Resiliente de la Subrasante	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
6	DIMENSIÓN 2	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
7	Módulo Resiliente del Pavimento	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
8	DIMENSIÓN 3	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
9	Número Estructural	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	

Observaciones (precisar si hay suficiencia): _____

Opinión de aplicabilidad: Aplicable / Aplicable después de corregir / No aplicable

Apellidos y nombres del juez validador: Dr/ Mg: QUINTILIANO HIPOLITO ROMERO RENTERIA DNI: 06930862

Especialidad del validador: Ing. CIVIL

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

²Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión

Tumbes 28 de Nov del 2022



Firma del Experto Informante.

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE

Nº	VARIABLES DIMENSIONES INDICADORES	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		Sugerencias
		SI	No	SI	No	SI	No	
	VARIABLE INDEPENDIENTE: Deflexiones	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	DIMENSIÓN 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1	Deflexiones	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	DIMENSIÓN 2.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3								
4								
	VARIABLE DEPENDIENTE: Evaluación estructural no destructiva	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	DIMENSIÓN 1:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	Módulo Resiliente de la Subrasante	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	DIMENSIÓN 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	Módulo Resiliente del Pavimento	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	DIMENSIÓN 3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	Número Estructural	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Observaciones (precisar si hay suficiencia): _____

Opinión de aplicabilidad: **Aplicable** **Aplicable después de corregir** **No aplicable**
Apellidos y nombres del juez validador: Dr/ Mg. Cecilia Delgado Almonacid Humberto **DNI:** 44182207
Especialidad del validador: Ing. Civil
¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión

Tumbes, 28 de Noviembre del 2022

Firma del Experto Informante.

Anexo 4. Reporte Turnitin

DPI-ROMERO PEREZ, BRIGGY GIANELLA Turnitin ok pasar.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

6%

2

dspace.ucuenca.edu.ec

Fuente de Internet

2%

3

ri.ues.edu.sv

Fuente de Internet

2%

4

repositorioacademico.upc.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

prezi.com

Fuente de Internet

<1%

6

repositorio.urp.edu.pe

Fuente de Internet

<1%



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, JORGE RICHARD OLARTE PINARES, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - PIURA, asesor de Tesis Completa titulada: "Evaluación Estructural No Destructiva de Pavimento Flexible Mediante la Solución del Algoritmo AASHTO 1993, Carretera Piura-Paita, 2022", cuyo autor es ROMERO PEREZ BRIGGY GIANELLA DEL PILAR, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 16.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

PIURA, 19 de Diciembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
JORGE RICHARD OLARTE PINARES DNI: 40752422 ORCID: 0000-0001-5699-1323	Firmado electrónicamente por: JOLARTEP el 12-01- 2023 22:30:57

Código documento Trilce: TRI - 0495066