



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR (ES):

KATIUSKA GEOMAYRA BRAVO MENDOZA

TUTOR:

ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MS.c

LA LIBERTAD, ECUADOR

2023

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO
FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y
DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA
BENKELMAN”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

KATIUSKA GEOMAYRA BRAVO MENDOZA

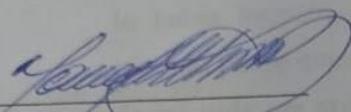
TUTOR:

ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MS.c

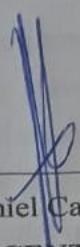
LA LIBERTAD – ECUADOR

2023

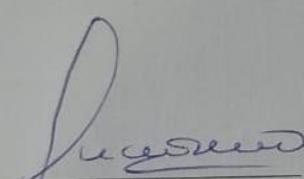
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



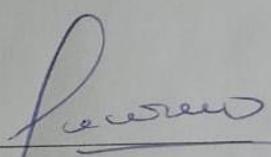
Ing. Jonny Raúl Villao Borbor, MSc
DIRECTOR DE CARRERA



Ing. Daniel Campoverde, MSc
DOCENTE TUTOR



Ing. Lucrecia Cristina Moreno, PhD
DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Lucrecia Cristina Moreno, PhD
DOCENTE UIC

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mi madrecita, sin ella no lo había logrado, a mis hermanos, a Xavier, también a mi querido padre que con su bendición del cielo a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien, Al forjador de mi camino a mi padre celestial que me acompaña y siempre me levanta de mi continuo trabajo con el más sincero amor.

Katiuska Bravo

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN” elaborado por el estudiante Katiuska Bravo Mendoza, egresado de la carrera de Ingeniería Civil , de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 1% de la valoración permitida.

FIRMA DEL TUTOR



ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MS.c

C.I.: 0913176541

Tesis Katuska Bravo

1%
Similitudes

< 1% Texto entre comillas
0% Similitudes entre secciones
< 1% Idioma no reconocido

Nombre del documento: Tesis Katuska Bravo.docx
ID del documento: 704ac09834ac058612d34652715abc181f64183a
Tamaño del documento original: 15 Mb

Depositante: DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE
Fecha de depósito: 26/03/2023
Tipo de carga: Interfaz
Fecha de fin de análisis: 26/03/2023

Número de palabras: 14.065
Número de caracteres: 102.754

Ubicación de las similitudes en el documento



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario El documento proviene de otro grupo	30%		Total de similitudes: 295.028 palabras
2	www.diamantevalaccientos.com Trabajo sobre la similitud de los compuestos de los grupos de la tabla periódica	2%		Total de similitudes: 29.104 palabras
3	repositorio.uide.edu.ec https://repositorio.uide.edu.ec/handle/123456789/123456789	2%		Total de similitudes: 29.1219 palabras
4	repositorio.uide.edu.ec Implementación del proceso de categorización de la información http://repositorio.uide.edu.ec/handle/123456789/123456789	1%		Total de similitudes: 19.1702 palabras
5	Wiley.com Evaluación del factor de impacto de los artículos de investigación y el factor de impacto de los artículos de investigación	< 1%		Total de similitudes: 17.1135 palabras

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario El documento proviene de otro grupo	< 1%		Total de similitudes: 17.129 palabras
2	repositorio.uide.edu.ec Evaluación funcional y estructural para determinar el efecto https://repositorio.uide.edu.ec/handle/123456789/123456789	< 1%		Total de similitudes: 17.1176 palabras
3	dspace.uicmex.edu.ec https://dspace.uicmex.edu.ec/handle/123456789/123456789	< 1%		Total de similitudes: 17.034 palabras
4	dspace.uicmex.edu.ec Prehipertensión y factores asociados en el personal de 22 años https://dspace.uicmex.edu.ec/handle/123456789/123456789	< 1%		Total de similitudes: 17.022 palabras
5	www.normalizacion.gov.ec https://www.normalizacion.gov.ec/handle/123456789/123456789	< 1%		Total de similitudes: 17.014 palabras

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento, pero no se detectaron similitudes.

- <https://pbitua.udel.edu.pe/handle/11042/3195>
- <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/27813>
- <https://www.slideshare.net/SadhamNimer/Alga-benkelman>
- <https://www.cotecna.cl/alga-de-benkelman-h-3220a/>
- <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/17080>

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **KATIUSKA GEOMAYRA BRAVO MENDOZA**, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**, Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,

f. 

Katiuska Geomayra Bravo Mendoza

C.I. 091929666-5

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Daniel Campoverde Campoverde, MSc.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo, **“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”**, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil Elaborado por la Srta. Katuska Geomayra Bravo Mendoza, egresado de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

TUTOR

f. _____

Ing. Daniel Campoverde Campoverde, Msc.

Tutor

CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA

ING. SHIRLEY YULIANA FLORES TOMALÁ
Magíster en Administración de la Educación

La libertad, febrero 06 de 2022

Certifica

Yuliana_2022

Yo, Ing. Shirley Yuliana Flores Tomalá, Mg. con domicilio ubicado en el Cantón La Libertad, provincia de Santa Elena, tengo a bien **CERTIFICAR:** Que he revisado la tesis titulada: "COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN", elaborada por la Srta. **Katiuska Geomayra Bravo Mendoza**, previa a la Obtención del título de **Ingeniería Civil**.

La tesis arriba mencionada ha sido escrita de acuerdo a las normas gramaticales y sintaxis vigentes de la Lengua Española.



Ing. Shirley Yuliana Flores Tomalá, Mg.
CI. 0923315279
Nº Registro SENEKYT 6043149835

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme otorgado tu amor, tu bondad no tiene fin , me permites sonreír ante todos mis triunfos, mis logros, que son resultados de tu ayuda que cuando caigo me pones a prueba , aprendo de mis errores y me doy cuenta de lo que pones en frente mío para que mejore como ser humano, crezca en diversas ,maneras , gracias por darme una familia maravillosa quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio, enseñándome a valorar todo lo que tengo, a mi Universidad por permitirme convertirme en profesional en lo que me apasiona, gracias a cada uno de los maestros que hizo parte de este proceso integral de formación , a mis queridos amigos que Jesús me los puso en mi camino, a las diversas instituciones como es Prefectura de Santa Elena, Abg. José Daniel Villao, Directores, Fiscalizadores, Constructora Verdú , Ing. Enrique Villagómez, Ing. Ciro Mejía, Ing. Edwin Sánchez, Ing. Franklin Cochea, Ing. Viviana Ávila, a mi madrina Mariela Zambrano, a mi amigo Edison González, cada uno de mis compañeros de la Facultad , a mi bella madrecita Katiuska Mendoza, a su esposo Xavier Santana , a mis hermanos Carlos y Fernando Santana Mendoza que siempre estuvieron dándome ánimos , a mis tíos , primos.

Cada momento vivido durante estos años son simplemente únicos, cada oportunidad de corregirme, y la oportunidad de que cada mañana puedo empezar de nuevo.

Katiuska Bravo

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	vi
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	vii
CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
TABLA DE CONTENIDO	x
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE TABLAS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.2. ANTECEDENTES	4
1.3. HIPÓTESIS	6
1.3.1. Hipótesis General	6
1.3.2. Hipótesis Específicas	6
1.4. OBJETIVOS	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos.....	7
1.5. ALCANCE	7
1.6. VARIABLES.....	8
1.6.1. Variables Independientes	8
1.6.2. Variables Dependientes.....	8

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS USANDO LA VIGA BENKELMAN.....	9
2.2. FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	11
2.3. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA.....	11
2.4. DEFLEXIÓN.....	12
2.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE..	12
2.6. VIGA BENKELMAN	13
2.6.1. Partes de la Viga.....	14
2.6.2. Normas AASHTO	15
2.6.3. Especificaciones técnicas del equipo.	15
2.6.4. Campos de Aplicación.	16
2.6.5. Ventajas de la Viga Benkelman	17
CAPITULO III: METODOLOGÍA	18
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	18
3.1.1. Tipo	18
3.1.2. Nivel.....	18
3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	18
3.2.1. Método	18
3.2.2. Enfoque	19
3.2.3. Diseño	19
3.3. POBLACION, MUESTRA Y MUESTREO.....	19
3.3.1. Población.....	19
3.3.2. Muestra.....	20
3.3.3. Muestreo.....	20
3.4. UBICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO	20
3.4.1. Materiales de Cantera.....	21
3.4.2. Descripción de la vía de estudio.....	21

3.4.3. Diseño	22
3.5. EQUIPOS Y MATERIALES	24
3.5.1. Materiales.....	24
3.6. METODOLOGIA DEL OE.1: OBTENER LAS DEFLEXIONES BAJO LA CARGA APLICADA SIN MOVIMIENTO SOBRE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DE LA VÍA TUGADUAJA – ENGUNGA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN EN UN TRAMO DE VÍA PARA CONOCER LA CONDICIÓN ACTUAL DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	25
3.6.1. Preparación del equipo.....	25
3.6.2. Procedimiento de medición.....	25
3.7. METODOLOGÍA DEL OE.2: DETERMINAR LAS DEFLEXIONES CARACTERÍSTICAS Y EL RADIO DE CURVATURA CON LOS DATOS DE CAMPO OBTENIDOS, PARA EVALUAR LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE	28
3.7.1. Factor de corrección por temperatura (fct).....	28
3.7.2. Factor de corrección por clima (FCC).	29
3.7.3. Factor de corrección por brazo de palanca del equipo (FCE).....	30
3.7.4. Cálculo de deflexiones Dc.....	30
3.7.5. Determinación de las deflexiones características.....	30
3.7.6. Deflexiones admisibles Dadm.....	32
3.7.7. Evaluación del Radio de curvatura Rc	33
3.8. METODOLOGÍA DEL OE.3: COMPROBAR LOS VALORES DE DEFLEXIONES Y RADIO DE CURVATURA MEDIANTE EL USO DEL PROGRAMA DE DISEÑO DEPAV PARA ENCONTRAR DIFERENCIAS EN LOS RESULTADOS.	34
3.8.1. Ingreso de datos estructura de pavimento flexible contratada	35
3.9. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	37
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	38
4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.1, OBTENER LAS DEFLEXIONES BAJO LA CARGA APLICADA SIN MOVIMIENTO SOBRE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DE LA VÍA TUGADUAJA – ENGUNGA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN EN UN TRAMO DE VÍA PARA CONOCER LA CONDICIÓN ACTUAL DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	38

4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.2, DETERMINAR LAS DEFLEXIONES CARACTERÍSTICAS Y EL RADIO DE CURVATURA CON LOS DATOS DE CAMPO OBTENIDOS, PARA EVALUAR LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE.....	39
4.2.1.	Deflexiones	40
4.2.2.	Radio de Curvatura	43
4.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.3, COMPROBAR LOS VALORES DE DEFLEXIONES Y RADIO DE CURVATURA MEDIANTE EL USO DEL PROGRAMA DE DISEÑO DEPAV PARA ENCONTRAR DIFERENCIAS EN LOS RESULTADOS	48
4.3.1.	Corrida del programa DEPAV	48
4.4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	51
	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
5.1.	CONCLUSIONES.....	53
5.2.	RECOMENDACIONES	54
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
	ANEXOS	59

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Ventajas y desventajas de un pavimento flexible.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2. Viga de benkelman -H-3220^a.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 3. Viga Benkelman del Laboratorio de Suelos del MTOP DE QUITO – CV</i>	<i>14</i>
<i>Figura 4. Esquema y principio de Operación de la Viga Benkelman.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5. Uso de la viga Benkelman.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 6. Ubicación del proyecto.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 7. Geometría de ejes sobre el pavimento.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 8. Datos de estructura de pavimento flexible con el software de diseño Pav.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 9. Deflectogramas de carriles derecho e izquierdo.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 10. Radio curvatura – Carril derecho.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 11. Radio curvatura – Carril izquierdo.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 12. Radios de curvatura críticas de carriles – carril derecho.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 13. Radios de curvatura críticas de carriles – carril izquierdo.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 14. Resultados de análisis.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 15. Diseño estructural de pavimentos.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 16. Criterios para la evaluación estructural DNER PRO 11 – 79.....</i>	<i>50</i>

LISTA DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1. Elaboración Prefectura de Santa Elena.....</i>	22
<i>Tabla 2. Distancia del punto de ensayo.....</i>	26
<i>Tabla 3. Factores de corrección de las deflexiones Benkelman por clima</i>	29
<i>Tabla 4. Análisis de los resultados de los carriles - Carril Derecho</i>	31
<i>Tabla 5. Análisis de los resultados de los carriles – Carril Izquierdo.....</i>	31
<i>Tabla 6. Valor de la función m. (INVIAS, 2002, p.121).....</i>	32
<i>Tabla 7. Operacionalización de la variable independiente y dependiente.....</i>	37
<i>Tabla 8. Abscisas de medición mediante ensayo con Viga Benkelman.....</i>	38
<i>Tabla 9. Deflexiones con la viga Benkelman en los tramos de vía.....</i>	40
<i>Tabla 10. Radio curvatura – Carril derecho.....</i>	43
<i>Tabla 11. Radio curvatura – Carril izquierdo.....</i>	44
<i>Tabla 12. Tramos de radios de curvatura donde establece los radios críticos... </i>	47
<i>Tabla 13. Cuadro comparativo – carril derecho.....</i>	50
<i>Tabla 14. Cuadro comparativo – carril izquierdo.....</i>	51

“EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL
PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL
CANTÓN SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”

Autor: Bravo Katuska

Tutor: Campoverde Daniel

RESUMEN

En ingeniería vial se producen problemas derivados de la subestimación del tránsito o debido al incremento de cargas vehiculares no consideradas en el diseño de la estructura de pavimento, esto, sumado a la ausencia de una correcta evaluación estructural durante la etapa constructiva, desencadena daños prematuros en los pavimentos. El objetivo de la investigación consiste en evaluar el comportamiento estructural actual del pavimento flexible de la carretera Tugaduaja – Engunga por medio del uso de la viga para conocer las deflexiones del pavimento, para tal fin, se realizó un estudio de campo en el que se obtuvo las mediciones de las deflexiones de la viga Benkelman y un estudio analítico en el que se obtuvieron las deflexiones características siguiendo el criterio de Huang y el radio de curva, por último, se chequearon los resultados obtenidos con el programa de diseño DEPAV para encontrar diferencias contrastables. Los resultados demostraron que, bajo el criterio de Huang la condición de la vía se califica de tipo II (regular), mientras que, analizando los resultados en el programa DEPAV la condición de la vía es de tipo I (Buena). En relación con los radios de curvatura se alcanzaron radios críticos de 160m. para el carril derecho y de 120m. para el carril izquierdo, sobrepasando los valores admisibles de los criterios de diseño. Finalmente, se concluye que la metodología del ensayo viga Benkelman es una herramienta eficaz para evaluar el comportamiento de estructural de pavimentos flexibles y rígidos.

Palabras Clave: Viga Benkelman. Evaluación del pavimento. Deflexiones.
Radios de curvatura, Deflectómetros.

" STRUCTURAL BEHAVIOR OF THE FLEXIBLE PAVEMENT IN VIA
TUGADUAJA – ENGUNGA OF THE CANTON AND PROVINCE OF SANTA
ELENA USING THE BENKELMAN BEAM"

Autor: Bravo Katiuska

Tutor: Campoverde Daniel

ABSTRACT

In road engineering, problems arise from the underestimation of traffic or due to the increase in vehicular loads not considered in the design of the pavement structure, this, added to the absence of a correct structural evaluation during the construction stage, triggers premature damage in the pavements. The objective of the research is to evaluate the current structural behavior of the flexible pavement of the Tugaduaja - Engunga highway through the use of the beam to know the deflections of the pavement, for this purpose, a field study was carried out in which it was obtained the measurements of the deflections of the Benkelman beam and an analytical study in which the characteristic deflections were obtained following the Huang criterion and the radius of curve, finally, the results obtained with the DEPAV design program were checked to find contrastable differences. . The results showed that, under Huang's criteria, the condition of the road is classified as type II (regular), while, analyzing the results in the DEPAV program, the condition of the road is type I (Good). In relation to the radii of curvature, critical radii of 160m were reached. for the right lane and 120m. for the left lane, exceeding the admissible values of the design criteria. Finally, it is concluded that the Benkelman beam test methodology is an effective tool to evaluate the structural behavior of flexible and rigid pavements.

Keywords: Benkelman beam. Pavement evaluation. Deflections. Radius of curvature, Deflectometer

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

En ingeniería vial se producen problemas derivados de la subestimación del tránsito o debido al incremento de la carga vehicular, que no fueron considerados dentro de un estudio vial, estas situaciones son causantes de daños prematuros en los pavimentos, además de la ausencia de una evaluación estructural durante su construcción. Un pavimento flexible está conformado por un sistema multicapas de materiales previamente calificados, que deben ser construidas de acuerdo con las normativas y especificaciones vigentes, así también se debe complementar lo anterior con un adecuado mantenimiento para que la vía conserve su serviciabilidad y los vehículos transiten a velocidades altas, de forma segura y confortable en el desplazamiento sin provocar daños, (Balarezo, 2017).

Cárdenas Capcha (2017) en su trabajo relata que en Perú investigó que los pavimentos de la ciudad de Ica existen factores a base de las lluvias que van deteriorando el pavimento, la circulación de carros y de personas. Además, la relación entre la confluencia del tráfico vehicular con las deflexiones de los pavimentos dúctiles en la ciudad de Huancayo determinó que el deterioro temprano de los pavimentos flexibles es muy frecuente, por tal motivo los dueños de vehículos, y transportes de esta localidad deben afrontar un incremento en el costo de operación.

Hoffman (1985) indica que el valor estructural de los pavimentos son las red nacional o regional donde se va aumentando las insuficiencias de su rehabilitación y es indispensable que se evalúen las vías con el fin de obtener un buen estado y diagnostico ante un mantenimiento adecuado.

Bull (2003) nos cuenta que hay estudios en la Av. Castillo de la ciudad de Piura dieron como resultados que el incremento del volumen vehicular ha originado caos en sus vías evidenciando fallas que no han sido atendidas y cada vez van empeorando, también determino con un modelo de análisis matemático la finalidad

de optimizar los costos de mantenimientos, pero ninguno obtiene la deflexión de campo, módulo resiliente para evaluar capas de suelo, entonces se realiza la valoración, con las debidas especificaciones técnicas generales en Perú en el año 2013.

En Ecuador en la provincia de Santa Elena, la vía que se analizara en el proyecto es un pavimento flexible de reciente construcción, en la parroquia de Chanduy, comuna de Tugaduaja a Engunga, donde se realizara una evaluación estructural del comportamiento de la estructura de pavimento construida en aproximadamente 2 km de longitud de los 10.5 km, que tiene la vía.

Failing (2002) muestra que es muy importante diseñar vías que sean funcionales y resistan todas las condiciones negativas que le pudieran afectar de acuerdo con su ubicación, pero la evaluación de este propósito se realizará mediante el análisis de ensayos de varias muestras tomadas de la carretera donde aplicamos el método de la viga Benkelman cuyo ensayo mide las deflexiones donde se podrá identificar y evaluar la capacidad portante del sistema pavimento subrasante.

El método empleado para la evaluación estructural del pavimento flexible es el de la viga Benkelman, que es un ensayo “no destructivo”; y, que consiste en medir deflexiones a nivel de la capa de rodadura del pavimento; para evaluar el radio de curvatura de la deflexión registrada por el equipo y comparar estos valores con los evaluados a nivel de diseño mediante el uso del software DEPAV, y así poder evaluar el comportamiento estructural del pavimento flexible construido con el esperado en el estudio de la vía del presente proyecto.

Para ejecutar lo anterior se tomarán datos de deflexiones medidas en una posición inicial (D_0) y a 25cms. de distancia (D_{25}), con el uso de la viga Benkelman y un camión con el peso reglamentario; y. luego aplicar factores de corrección sugeridos en la normativa.

Esta viga contiene un brazo móvil suspendido en un bastidor a través de un pivote que transmite la deflexión vertical del punto de medida mediante deformímetros adaptados al equipo, el bastidor del equipo cuenta con tres patas de apoyo que sirven

como palanca, el brazo de medida es un perfil metálico suspendido del bastidor a través de un pivote que lo divide en una relación de brazo constante de la viga y este facilita además su transporte.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las metodologías para evaluar la calidad de la estructura de los pavimentos tradicionalmente consisten en inspecciones visuales por tramos de vía, sin embargo, este procedimiento permite detectar las fallas cuando existe una pérdida de capacidad estructural visible. Por lo expuesto, es importante contar con alternativas que permitan detectar el deterioro del pavimento a edades tempranas. La viga Benkelman es una excelente alternativa para la evaluación de las deformaciones a flexión del pavimento ante la aplicación de cargas, sin embargo, a nivel local no se ha implementado como método de evaluación de fallas estructurales debido a los costos de adquisición de la viga en cuestión.

El presente trabajo de titulación pretende contribuir al conocimiento del uso y manejo de la viga Benkelman en la evaluación del comportamiento estructural y la detección de fallas estructurales a edades tempranas de construcción. Lo que lleva a plantear la siguiente interrogante general de investigación; ¿La evaluación del comportamiento estructural actual del pavimento flexible de la carretera Tugaduaja – Engunga por medio del uso de la viga Benkelman permitirá conocer las deflexiones del pavimento?, de las que se desprenden las subsiguientes interrogantes específicas; ¿Obtener las deflexiones bajo la carga aplicada sin movimiento sobre la estructura de pavimento de la vía Tugaduaja – Engunga utilizando la viga Benkelman en un tramo de vía permitirá conocer la condición actual de la estructura de pavimento?, ¿Las deflexiones características y el radio de curvatura con los datos de campo obtenidos, permitirá evaluar la estructura de pavimento flexible?, y ¿La comprobación de los valores de deflexiones y radio de curvatura mediante el uso del programa de diseño DEPAV permitirá encontrar diferencias en los resultados?

1.2. ANTECEDENTES

Guzzarlapudi, en el año (2016) indica en la **COMPARACIÓN EN CAMPO CON DEFLECTOMETRO LIVIANO EN LA VIA AÑADIENDO LA VIGA**

BENKELMAN como objetivo principal en Perú realizó estudios de deflectómetro ligero y deflectómetro de viga Benkelman en carreteras de Chachapoyas para módulos de subrasante mediante la deflexión estática y dinámica por métodos convencionales en donde hay limitaciones significativas y diversas formas que se centran en identificar los dispositivos estáticos, como resultado se encontró problemas para extrapolar las deflexiones a cargas transitorias que se generan debido a velocidades más altas de los vehículos.

El científico Montejo (2022) , afirmo en su tesis **LA CONGESTIÓN DEL TRÁNSITO URBANO: CAUSAS Y CONSECUENCIAS ECONÓMICAS Y SOCIALES QUE EN LA AVENIDA DE ESTADOS UNIDOS CALLE PIZARRO** que, en el transcurso de los años se ha ido incrementado el flujo vehicular sea por camiones, buses , donde se observan lugares comerciales, recreativos , escuelas, colegios, universidades, esto es una problemática porque demanda muchas personas al transitar , donde tiene un gran grado de confort pasar por esas vías , pero se ha hecho un análisis y está totalmente deteriorada y se requerirá evaluaciones superficiales con la viga benkelman para si tener un buen diseño de estructura para un gran desempeño de vida útil.

Vintimilla (2018) como titulo principal **ANALISIS DE RESPUESTA MECANICAS DE LOS PAVIMENTOS COLOCADOS EN LA VIA URBANA DE LIMA** que se obtuvo resultados analíticos en Perú para tensiones y deflexiones por las variaciones del clima y las cargas de tráfico en pavimentos rígidos, donde da respuesta básicamente en cuanto a la naturaleza de materiales sea elástica o viscoelástica, adherencia total debido a las condiciones del entorno, los siguientes trabajos fueron de losa de hormigón que se crea un sólido homogéneo equilibrado a través de la laminas delgadas de Love- Kirchhoff.

Balarezo (2017) en su título de tesis EVALUACION ESTRUCTURAL DE LA VIGA BENKELMAN dio a conocer que en Costa Rica la evaluación de la vía explica que la metodología de los materiales del pavimento es por medio de sondeos y los resultados a través del método de deflectometría, donde se identifica zonas de deterioros, y severidad.

En el ámbito nacional, el trabajo de Molina (2022) indicó que, en la Provincia de Manabí, Portoviejo – Santa Ana con tramo a Colon, la capacidad de los deterioros se presenta más en el pavimento flexible y como finalidad hizo un estudio a través de análisis de viga benkelman y así ver los resultados de deterioros de la vía.

En la hermosa ciudad de Azogues, Moretti (2012) dijo que hay una cantidad de vías que están en mal estado dando una pobre condición en la estructura y un gran bajo nivel de servicio, donde nos dan problemas a clase social, económica, ambiental, esto es porque no hay un gran plan para estas redes de pavimentos.

Albarracín (2014) comenta a través de métodos no destructivos que en Ecuador se mide el análisis de la factibilidad y la capacidad portante de la estructura con la aplicación, pero en el año 2007, Castro nos enseña que en el Salvador se determinó la correlación entre los datos de la Viga Benkelman y el deflectómetro de impacto, ya que brinda la alternativa del problema ante el mantenimiento de la infraestructura vial.

En el ámbito local, el GAD Provincial de Santa Elena en su afán de servicio y con la meta de realizar siempre mejores vías que beneficien al desarrollo de la provincia, ejecuto el estudio y diseño de la vía Tugaduaja a Engunga (L=10.5 Kms.); y, contrato finalmente su construcción la misma que actualmente continua en proceso, se ha podido realizar la evaluación estructural en aproximadamente 2 kms. de vía que al momento de ejecución del presente proyecto de tesis se encuentra con todas sus capas estructurales construidas.

En las oficinas del GAD de Santa Elena proporcionaron información de suelos, tráfico y diseño del pavimento que se ejecutó en la vía del proyecto, con lo cual tenemos los datos bases sobre el cual se establecerá el comportamiento de la estructura de pavimento construida cuya conformación es la siguiente; 1) capa de

rodadura conformada por mezcla asfáltica en caliente $e=3''$, 2) base clase 1 $e=20\text{cms}$, 3) subbase clase 3 $e=30\text{cms}$, 4) mejoramiento de Subrasante $e=$ variable, 5) tráfico de Diseño= 1658081 ejes equivalentes de 8.2 Ton., 6) CBR de diseño= 2.2 % (3300 psi).

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis General

La evaluación del comportamiento estructural actual del pavimento flexible de la carretera Tugaduaaja – Engunga por medio del uso de la viga Benkelman permitirá conocer las deflexiones del pavimento.

1.3.2. Hipótesis Específicas

H. E1.: Las deflexiones bajo la carga aplicada sin movimiento sobre la estructura de pavimento de la vía Tugaduaaja – Engunga utilizando la viga Benkelman en un tramo de vía permitirá conocer la condición actual de la estructura de pavimento.

H. E2.: Las deflexiones características y el radio de curvatura con los datos de campo obtenidos, permitirá evaluar la estructura de pavimento flexible.

H. E2.: La comprobación de los valores de deflexiones y radio de curvatura mediante el uso del programa de diseño DEPAV permitirá encontrar diferencias en los resultados

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General.

Evaluar el comportamiento estructural actual del pavimento flexible de la carretera Tugaduaaja – Engunga por medio del uso de la viga para conocer las deflexiones del pavimento.

1.4.2. Objetivos Específicos.

O.E1.: Obtener las deflexiones bajo la carga aplicada sin movimiento sobre la estructura de pavimento de la vía Tugaduaja – Engunga utilizando la viga Benkelman en un tramo de vía, para evaluar la condición actual de la estructura de pavimento flexible.

O.E.2. : Determinar las deflexiones características y el radio de curvatura con los datos de campo obtenidos, para evaluar la estructura de pavimento flexible.

O.E.3. : Comprobar los valores de deflexiones y radio de curvatura mediante el uso del programa de diseño DEPAV para encontrar diferencias en los resultados.

1.5. ALCANCE

Este trabajo se aplicará en un tramo que se encuentra terminado y en el mismo se establecerá su comportamiento y de esa forma incentivar a las entidades públicas o privadas que se dedican a la construcción de vías, a ejecutar masivamente este tipo de controles, para con ello poder confirmar y/o rectificar métodos constructivos o métodos de diseño, y de esta forma lograr mejores de las estructuras de pavimentos flexibles que se construyen en el país.

En el presente trabajo se evaluará la vía Tugaduaja – Engunga ubicada en la Provincia de Santa Elena aplicando para ello la metodología de la viga Benkelman, y comparar la respuesta estructural obtenida en el paso anterior, con la respuesta estructural que se registran en los estudios de esta vía que fueron realizados por parte de la Prefectura de Santa Elena.

Esta evaluación tiene como intención fomentar el uso de esta metodología para chequeos de todas las vías que se construyen en la Provincia Santa Elena e inclusive a nivel nacional y con ello establecer trabajos de reforzamiento o reconstrucción vial según el grado de deterioro que se evalúe y hacer un seguimiento de las posibles causas que generan daños prematuras en este tipo de pavimentos.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variables Independientes.

- ✓ Condición estructural del pavimento.

1.6.2. Variables Dependientes.

- ✓ Deflexión de la estructura vial.
- ✓ Radio de curvatura del pavimento.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS USANDO LA VIGA BENKELMAN.

Según Palacios Carvajal (2017) indica que, para la evaluación de los pavimentos, debemos conocer su diseño, los métodos y etapas constructivas, los planos contractuales y el control de calidad realizado, para garantizar que se alcancen las rigideces, considerados a nivel de diseño para todas las capas del pavimento evaluado.

En su trabajo Morales (2015) menciona que, la carpeta asfáltica es una capa delgada de rigidez apreciable que distribuye esfuerzos generados por el tránsito, hacia la capa de base, que va sobre la subbase, siendo ambos materiales granulares que se obtienen generalmente de procesos de trituración.

Agrega Hurtado Arias (2016) que se debe conocer el estado del pavimento ya que esto nos permite optimizar los costos, mantenimientos, los ensayos no destructivos sirven directamente para este objetivo ya que se pueden establecer zonas o tramos de comportamiento no adecuado con mediciones sobre las superficies del pavimento, pero sin alterar la estructura de este.

Argumenta Aguirre (2007) refiere que, la viga Benkelman sirve para medir deformaciones elásticas de un pavimento ante la aplicación de una carga estática, la misma que sirve para evaluar estructuralmente los pavimentos, ya que si las capas de pavimento se construyen adecuadamente en cuanto a alcanzar la rigidez de diseño se esperarían deformaciones mínimas del pavimento.

Señala Anguas (2002) que hay factores que afectan las mediciones de deflexión en un pavimento, ya que la interpretación de los resultados depende de la carga empleada, el clima, la lluvia, calibración de deformímetros, brazo de palanca del

equipo de deflexión a utilizarse, que deben ser previamente verificados para tener un resultado altamente confiable.

Las mediciones registradas por el equipo viga Benkelman deben ser corregidas entonces por factores de ajuste que toman en cuenta la temperatura de la capa de rodadura, la estación invernal en la que se realizan las mediciones, el tipo de material que compone la subrasante.

Mediante el programa DEPAV se obtendrán mediante modelación de la estructura de pavimento proyectada, la deflexión y el radio de curvatura esperado convirtiéndose de esta forma en el modelo de comparación con las deflexiones y radios de curvatura que se obtengan mediante la aplicación y uso de la Viga Benkelman.

La vida útil de los pavimentos es el tiempo estimado en que la vía se comporte adecuadamente, pero debemos tener claro que hay fases desde donde se mide la vida de un pavimento flexible (P_o serviseabilidad inicial= al término de la construcción) y un P_t (serviciabilidad final cuando la vía necesitara una reconstrucción), tiempo durante el cual se espera que se desarrollen los esfuerzos estimados por la aplicación de cargas de tráfico, las mismas que van consolidando las capas de pavimento y subrasante. En nuestro proyecto al tratarse de una Reconstrucción de la vía existente, la subrasante no ha sido mejorada ni intervenida en el tramo donde se ejecutaron mediciones, por tanto, se considera que la misma ha alcanzado el módulo resiliente correlacionado a través del ensayo CBR establecido como de diseño.

La compactación es el proceso mediante el cual se pretende que los materiales asfálticos y granulares que se usan en la construcción de pavimentos flexibles alcancen la rigidez considerada a nivel de diseño con las cuales se establecen los espesores de construcción de un pavimento, sin embargo es recomendable como en otros países de la región, emplear mediciones de deflexiones por capa para garantizar en mejor forma que las rigideces de los materiales que se emplean en la construcción de un pavimento sean las adecuadas.

Las capas asfálticas están sometidas a esfuerzos de tracción mientras que las capas granulares y subrasante básicamente están sometidas a esfuerzos de compresión, por tanto, la capa asfáltica debe tener la capacidad de absorber los esfuerzos de tracción que genera el paso de las cargas mientras que las capas granulares deben desarrollar rigideces adecuadas para absorber los esfuerzos de compresión generados por las cargas de tráfico y evitar que lleguen hasta la subrasante, es en si el funcionamiento esperado dentro de un pavimento flexible.

2.2. FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

Los tipos de fallas más comunes observados en estructuras de pavimento flexibles tienen que ver con agrietamiento tipo piel de cocodrilo que se generan por la pérdida de flexibilidad de la capa de rodadura (fatiga) que ya no le permite absorber esfuerzos de tracción y comienza un proceso de agrietamiento desde la parte inferior de la capa hacia la superficie, el otro mecanismo de falla usual en estas estructuras son las deformaciones (ahuellamientos) que se pueden presentar tanto a nivel de carpeta asfáltica y/o a nivel de la subrasante, la primera derivada por un mal diseño de la mezcla asfáltica (módulo de rigidez muy bajo) o sub dimensionamiento del pavimento.

Por ello las metodologías mecanicistas evalúan el comportamiento estructural de un pavimento mediante la determinación de factores de daño, los mismos que se evalúan tanto por fatiga como por ahuellamiento, estos factores de daño se obtienen mediante la relación entre al número de pasadas admisibles (tráfico que puede soportar la capa), entre el número de pasadas esperadas (tráfico de diseño), en ambos análisis, considerándose un comportamiento adecuado del pavimento cuando ambos factores de daño con menores a 1.

2.3. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA

Hoffman (1985) explica que las mediciones de las respuestas generadas por un pavimento a fuerzas externas se basan en hipótesis y modelos matemáticos obtenidos con mediciones sin dañar la vía, la dimensión de la curva de deflexión

engloba una importante información sobre las características de la capa de rodadura y su comportamiento a los esfuerzos de tracción, mientras que las deflexiones miden la capacidad de soporte de un pavimento. En base a los resultados obtenidos se establecen zonas con comportamiento estructural homogéneo y con ello tomar acciones de ser el caso para precautelar la inversión realizada en la construcción de un determinado pavimento.

2.4. DEFLEXIÓN

Rodríguez (2004) expresa que se deben tomar medidas de deflexiones las mismas que deben luego ser corregidas y posteriormente determinar una deflexión denominada característica, la misma que es el parámetro de comparación que se toma en un análisis de deformaciones y del comportamiento estructural de un pavimento flexible.

2.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

Figura 1.

Ventajas y desventajas de un pavimento flexible



Nota: Tomado por Mozombite Gonzales et al. (2017).

2.6. VIGA BENKELMAN

Sánchez (1985) indica que la viga Benkelman es un sencillo dispositivo mediante el cual se determinan las deformaciones elásticas (deflexión) en un punto de contacto de dicha viga con el pavimento, la misma es ubicada entre las llantas de un sistema de carga dual estándar (8.2 ton.) con una presión de inflado de neumáticos de 5.6 kg/cm²., se lo diseñó en el año 1953 por el Ing. A.C. Benkelman, para ejecutar ensayos de deflexiones de vías, en lo mecánico la viga consta de un cuerpo de sostén que está sobre el terreno mediante un brazo móvil para su debida articulación de giro, además este posee un vibrador, donde indica que el dial no se trabaje y que no afecte las lecturas.

La figura 2, representa a una Viga de una palanca y consta de dos partes esenciales un cuerpo de sostén que debe ser fijo ya que se encuentra además unión de giro, donde los extremos se van apoyando en la vía, y el otro está en contacto sensible con el vástago del extensómetro de movimiento vertical.

Figura 2.

Viga de benkelman -H-3220^a



Nota: Viga Benkelman para el análisis del pavimento en la vía Tugaduaja – Engunga – Santa Elena.

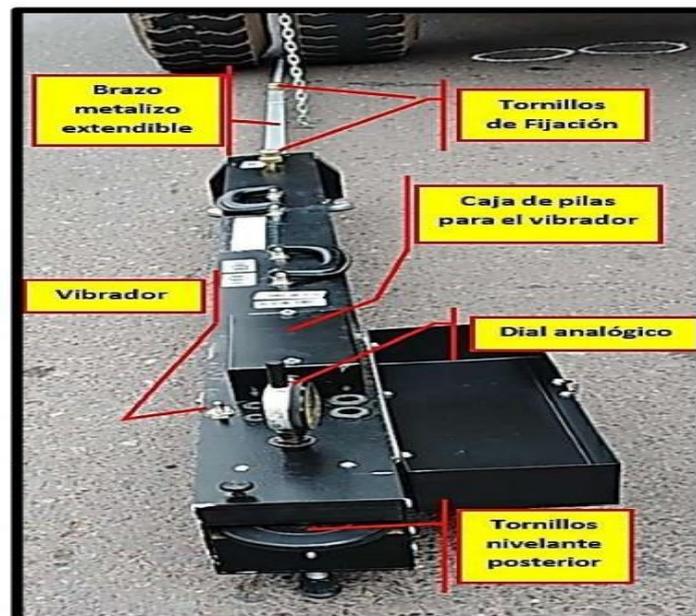
2.6.1. Partes de la Viga

- a) **Bastidor:** sujeto a la palanca o al brazo, soporta al dial, la altura posterior se regula con un tornillo, pero las delanteras son fijas, permanecen situadas al eje longitudinal de la viga.
- b) **Brazo de medida:** es metálica sostiene al bastidor con el pivote y se desmonta.
- c) **Pivote:** es el eje que está en el punto de apoyo del brazo de medida.
- d) **Seguro:** este bloquea el brazo de medida dejando fijo al bastidor
- e) **Dial:** se une al bastidor con el soporte, se mide en 0.01 mm y el recorrido superior a 10 mm.

En la figura 3, se muestran las partes de la viga y sus especificaciones.

Figura 3.

Viga Benkelman del Laboratorio de Suelos del MTOP DE QUITO – CV



Nota: Tomado de Chavarry Morveli et al. (2015).

2.6.2. Normas AASHTO

La normativa AASHTO T 256 es la que regula e indica el procedimiento técnico para la ejecución del ensayo en forma adecuada, este dispositivo puede poseer incluso un sistema electrónico que registra la deformación por medio de comparadores de caratulas digitales con indicadores luminosos que indican el estado de la batería y las más actuales hasta pueden contener sistema wifi incorporado al equipo, a este también se le incluye un sensor para la medición de temperaturas y las humedades relativas llamado termohigrómetro, pero la norma INVE 795-13 recalca que para la determinación estática de la deflexión ajustable va a reemplazar a la norma INVE 795 -07 , en exactitud de precisiones.

Las mediciones realizadas por este equipo, debe ejecutarse siguiendo los procedimientos citados en la referida norma del párrafo anterior, para tener lecturas que permitan establecer la deflexión y radio de curvatura que definen la condición estructural del pavimento y de esta forma identificar zonas de comportamiento homogéneo y además establecer trabajos de rehabilitación oportunas para evitar que los pavimentos entren en un deterioro más severo.

La viga Benkelman es un equipo portátil que permite determinar la capacidad de carga de una vía e identificar zonas débiles y funciona mediante el principio de la palanca es un equipo completamente mecánico y de uso simple, adicionalmente este equipo posee un vibrador que al ser accionado durante la toma de lecturas evita trabes del deformímetro y/o cualquier interferencia que altere las lecturas tomadas.

2.6.3. Especificaciones técnicas del equipo

- ✓ Rango de temperaturas: 15 a 50 grados Celsius
- ✓ Cuerpo principal 1397 mm (55 pulg.) de aluminio, color negro.
- ✓ Resolución de 0,1 grados Celsius
- ✓ Relación de palanca: 1:2
- ✓ Longitud del brazo: 2,44 m (8ft) de largo, se guarda en una cajita

- ✓ Longitud total: 3,70 m
- ✓ Sistema de vibración requiere 4 pilas
- ✓ Cuadrantes indicadores
- ✓ Rueda de nivelación
- ✓ Peso total de 15,9 kg

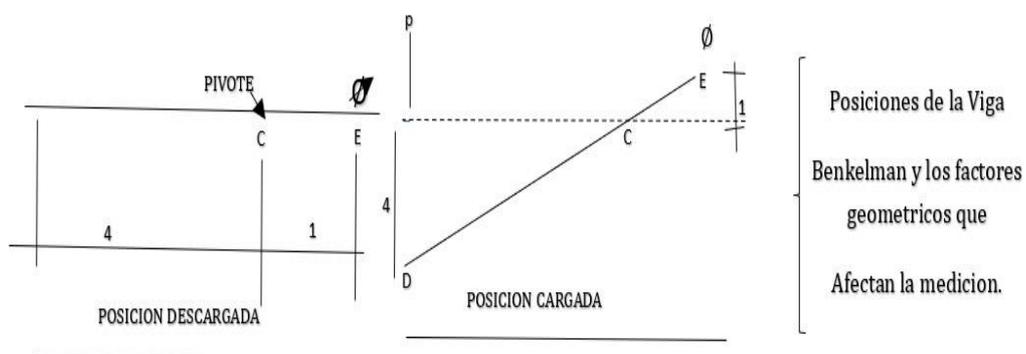
2.6.4. Campos de Aplicación

El uso de la Viga Benkelman es la de determinar o evaluar la situación estructural de los pavimentos flexibles y así poder determinar el tipo de mantenimiento necesita, luego de la interpretación y cálculos que se realizan en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto “D” de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de notar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto “D” al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta.

Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE’) no están en escala real, sino que dependen de la relación de brazos existentes. La figura 4, muestra el funcionamiento de la Viga Benkelman.

Figura 4.

Esquema y principio de Operación de la Viga Benkelman



Nota: Esquema de posición de la Viga Benkelman con sus respectivos factores.

2.6.5. Ventajas de la Viga Benkelman

Es un equipo que permite mediante un procedimiento de aplicación relativamente sencillo, tomar lecturas de deflexiones generadas en una estructura de pavimento y mediante cálculos establecer el comportamiento de la estructura evaluada, es un equipo de medición portátil de bajo peso que puede ser desplazado manualmente, cuyo funcionamiento mecánico basado en el principio de la palanca hace de este equipo una gran herramienta de trabajo de campo mediante la cual se puede llevar un control del comportamiento de pavimentos no solo flexibles sino también rígidos y su uso es mundialmente reconocido y aplicado actualmente bajo la norma AAASHTO T 256.

La figura 5, muestra el uso de la viga Benkelman en el tramo de vía Tugaduaja – Engunga, donde se desarrolló el proyecto de titulación.

Figura 5.

Uso de la viga Benkelman



Nota: Colocación de pilas en la Viga y ajuste de calibres.

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo

La investigación es de tipo aplicada porque los objetivos planteados se orientan a conseguir nuevo conocimiento que permita dar solución a problemas prácticos (Alvarez Risco, 2020). En este estudio, se analiza la estructura del pavimento a través de la medición de deflexiones con la viga Benkelman, que sirve como precedente para llevar a la práctica nuevos métodos de control de deformaciones en los pavimentos durante su etapa constructiva.

3.1.2. Nivel

El nivel de la investigación es exploratorio, como lo refiere (Ramos-Galarza, 2020) estos estudios se enfocan en fenómenos que no han sido abordados previamente y se tiene el interés de investigarlos y aplicarlos. En este caso, la investigación es exploratoria porque estudia el uso de la viga Benkelman para detectar el comportamiento de la estructura del pavimento, brindando información relevante para que en un futuro se considere este método de evaluación en las carreteras del Ecuador.

3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Método

Los métodos de investigación pueden valorarse como un conjunto de procedimientos ordenados que permiten orientar la agudeza de la mente para

descubrir y explicar una verdad. En esta operación, el método permite simplificar la complejidad al seleccionar los elementos más significativos de un problema a fin de proceder a su estructuración conceptual y explicación causal.

El método aplicado es de tipo investigativo y analítico, el cual se basa en toma de datos de campo y posterior cálculo de parámetros que permiten predecir el comportamiento estructural de un pavimento.

3.2.2. Enfoque

La investigación es de tipo cuantitativa ya que se basa en resultados obtenidos mediante el uso del equipo Viga Benkelman, en concordancia con la Norma AASHTO T256, sobre la estructura de un tramo de pavimento de reciente construcción de la vía Tugaduaja – Engunga ubicada en la provincia de Santa Elena.

3.2.3. Diseño

La propuesta investigativa es de diseño experimental, este tipo de diseño enfoca en verificar y cuantificar la diferencia entre dos procesos o metodologías diferentes, sus causas y establecer tendencias entre las variables (Castillo et al., 2007). En la investigación se analizan las deflexiones con la viga Benkelman, se obtiene el radio de curvatura y las deflexiones características y se comparan con el software DEPAV.

3.3. POBLACION, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Población

La población es el objeto de la investigación y puede ser un conjunto de individuos, objetos, entre otros, que poseen características comunes (Gonzalez & Salazar, 2008). La población corresponde a los 10,5 km de la carretera de Tugaduaja – Engunga,

3.3.2. Muestra

La población estadística para el presente proyecto de investigación está conformada por el abscisado del tramo de pavimento flexible de la carretera de Tugaduaja – Engunga, que se encuentra construido completamente esto es entre abscisas 0+200 a 1+900 en ambos carriles.

3.3.3. Muestreo

La conforman las diferentes lecturas D_0 y D_{25} , obtenidas con el uso de la viga Benkelman siguiendo los procedimientos establecidos, a lo largo del tramo indicado en el ítem anterior en cada carril que conforma la vía del presente estudio.

3.4. UBICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO

El proyecto evaluado se ubica en la comuna Chanduy donde se está ejecutando el proyecto de Rehabilitación de la vía de Tugaduaja – Engunga, hasta el Límite con la Provincia del Guayas, $L=10.56$ Km., cuya estructura de pavimento es flexible, de reciente construcción en aproximadamente 2Km., tramo donde se realizó el trabajo de evaluación con el uso de una Viga Benkelman y aplicando el procedimiento descrito anteriormente y que establece la normativa vigente. En la figura 6 se visualiza el tramo de la vía Tugaduaja – Engunga, lugar donde se desarrolló la investigación.

Figura 6.

Ubicación del proyecto



Nota: Tomado de Google Earth Explorer

3.4.1. Materiales de Cantera.

Las fuentes de materiales para la construcción del presente proyecto fueron las Canteras Villingota y Tugaduaja y su utilización se indica en tabla 1.

3.4.1.1 Análisis de los materiales de la cantera donde fueron extraídos.

Los materiales de las canteras utilizadas en la reconstrucción del pavimento existente de mejoramiento y subbase, proceden de los cerros que pertenecen a la formación Zapotal, mientras que para la construcción de hormigones, se emplean materiales que proceden del Cerro Azul de Guayaquil, constituidas por calizas de color gris a claro, densas, el material de base procede de la Concesión Minera Bencal Villingota de Cantón Santa Elena, todos estos materiales deben cumplir especificaciones técnicas establecidas en el Libro de Especificaciones Generales del MTOP 2012, finalmente para la construcción de la capa asfáltica se emplean materiales rocosos tipo basáltico localizados a 120 km de la vía del proyecto.

El sitio de explotación del cerro en Tugaduaja se ubica en coordenadas X 547642, Y 9735725, de donde se extrae material granular para mejoramiento y subbase, la cual se ubica hacia el oeste de la cordillera y está cercana a la comuna de Chanduy, la roca es de tipo conglomerado con una profundidad de explotación de 4 metros que esta meteorizada, color amarilla y rojiza con grado de oxidación importante.

3.4.2. Descripción de la vía de estudio.

La vía objeto del presente estudio tiene aproximadamente una longitud de 10.5 km la misma que incluye construcción de obras de drenaje: alcantarillas y puentes, y se desarrolla entre coordenadas X= 550100.00, Y= 9724305.00.

La característica geométrica de la vía la ubica como clase II, desarrollada sobre un terreno plano, cuya sección típica está conformada por dos calzadas de 3.50 m. de ancho, y espaldones de 0.80 m a cada lado de la vía.

Es una carretera tipo colectora que conecta dos provincias y por su importancia está siendo rehabilitada por la Prefectura de Santa Elena ya que el grado de deterioro del pavimento existente amerita una reconstrucción inmediata de la estructura del pavimento. El diseño actual cuenta con un sistema de drenaje que incorpora la construcción de 3 puentes y alcantarillas de mayor diámetro que las existentes, secciones en terraplén con alturas variables de hasta 3.00 m, la capacidad portante del terreno de cimentación de la vía fue evaluada a través de la ejecución de 16 calicatas avanzadas hasta 1.50 m. de profundidad.

3.4.3. Diseño

La construcción de la vía objeto del presente proyecto se ejecutó bajo las condiciones estructurales y contractuales que se especifican en la tabla 1.

Tabla 1.

Elaboración Prefectura de Santa Elena

Capa de pavimento	Espesor (cms)	Fuente de Material	Observaciones
Mezcla asfáltica en caliente.	7.5	Planta de Asfalto ubicada en Guayaquil.	Una sola capa compactada al 97% de la densidad bulk de la mezcla.
Capa de pavimento	Espesor (cms)	Fuente de Material	Observaciones
Base clase 1	20	Cantera Villingota	Compactada al 100% de la densidad seca máxima de laboratorio.
Subbase clase 3	30	Cantera Tugaduaja	
Mejoramiento de Subrasante	Variable	Cantera Tugaduaja	Compactada al 95% de la densidad seca máxima de laboratorio.

Nota: Datos específicos dados por la Prefectura de Santa Elena

3.4.3.1 Diseños Geométricos de la vía

De acuerdo con el estudio realizado el tráfico proyectado a 10 años es de 1658081 de ejes equivalentes, como se indicó anteriormente la vía se desarrolla básicamente sobre terrenos con característica topográfica plana. La vía clasifica como tipo colectora de clase II con condición de diseño absolutas, los parámetros geométricos de diseño son tomados del Manual de Normas de Diseño Geométrico de las carreteras del MTOP 2003, donde se definen parámetros de diseño como la velocidad, radio mínimo de curvatura, gradientes, longitudinales, peraltes máximos, ancho de calzada, ancho de espaldones, estos elementos geométricos indicados en la normativa permiten que el tránsito pueda circular con seguridad en la vía en cualquier condición de tráfico y climático.

3.4.3.2 Estudios de Drenaje Vial e Hidrológicos

En este proyecto de reconstrucción vial se ha verificado las cuencas de drenaje que aportan a los sitios de escorrentía natural del agua en los sitios de cruce de donde se estableció la necesidad de incrementar número y diámetro de alcantarillas ya que las existentes eran insuficientes para colectar el agua esperado durante los máximos eventos lluviosos, establecidos en el estudio hidrológico del sector de implantación del proyecto.

Así también, se reemplazaron los cruces tipo Baden que existían en los cauces de los ríos Tugaduaja, Engunga y Bachillero por puentes cimentados sobre pilotes barrenados tipo columna.

3.4.3.3 Intensidad de Lluvias

Los datos de precipitaciones se adquieren de los anuarios meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), provenientes de la estación más cercana a la Parroquia Chanduy, para el periodo de retorno de la lluvia de diseño considerado para el drenaje superficial de la vía.

3.4.3.4 Estudio y Seguridad Vial

La seguridad vial en el presente proyecto está conformada por la ejecución prevista de rubros de señalización tanto vertical como horizontal, que permitan una circulación segura tanto en el día como en la noche.

3.5. EQUIPOS Y MATERIALES

3.5.1. Materiales

- ✓ Viga Benkelman
- ✓ Extensómetro dial
- ✓ Volqueta de eje trasero de 1800 lb (8.2 ton)
- ✓ Presión de aire = 75 a 80 psi
- ✓ Balanza
- ✓ Cinta métrica
- ✓ Destornillador
- ✓ Plomada
- ✓ Hoja de campo
- ✓ Cono
- ✓ Lápiz
- ✓ Señales de seguridad
- ✓ Pintura
- ✓ Brocha

3.6. METODOLOGIA DEL OE.1: OBTENER LAS DEFLEXIONES BAJO LA CARGA APLICADA SIN MOVIMIENTO SOBRE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DE LA VÍA TUGADUAJA – ENGUNGA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN EN UN TRAMO DE VÍA PARA CONOCER LA CONDICIÓN ACTUAL DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.

La investigación analítica se ejecutará con los datos de campo obtenidos sobre el tramo de estructura de pavimento construido (aproximadamente 2Km.) y luego de la determinación de la deflexión característica y radio de curvatura establecer el comportamiento estructural de ese tramo de pavimento comparado con la modelación realizada con el programa DEPAV de la estructura de pavimento a nivel de diseño.

3.6.1. Preparación del equipo

Antes de ejecutar cada medición se verifica el peso que debe proveer el vehículo para lo cual se realiza la medición del peso con y sin material granular de ½ pulgada que fue empleado para este fin; y, con la ayuda de una báscula se calibra el peso hasta llegar a un valor de 80 KN en el eje posterior.

En días anteriores se verifico el abscisado de la carretera mediante el empleo de un odómetro, tanto de lado derecho como izquierdo y se realizó el marcaje con pintura de las abscisas donde se ejecutaron las mediciones, posteriormente se arma la viga Benkelman y se hacen lecturas de comprobación para establecer el correcto funcionamiento de los deformímetros.

3.6.2. Procedimiento de medición

Se procedió a marcar las abscisas en el campo desde el inicio hasta el final del tramo asfaltado el mismo que se desarrolla entre la estación 0+200 hasta la estación 1+900, se recomienda usar las distancias especificadas en cuanto a la

ubicación del equipo con respecto al borde del pavimento a ser evaluado y que se muestra en la tabla 2 adjunta.

Tabla 2.

Distancia del punto de ensayo.

ANCHO DE CARRIL	DISTANCIA DEL PUNTO DE ENSAYO EN EL BORDE DE PAVIMENTO
2.70 m	0.45 m
3.00 m	0.60 m
3.30 m	0.75 m
3.60 o mas	0.90 m

Nota: Distancias de puntos de ensayo en el borde de pavimento para su respectiva utilización de anchos de carriles.

En cada punto de prueba se realiza con el uso de un clavo y martillo orificios de 2 a 5cm de profundidad para introducir el termómetro y medir la temperatura de la capa asfáltica, luego se llena el orificio con glicerina se vuelve a meter el termómetro leyéndose la temperatura hasta cuando la marca en el termómetro se estabiliza, el procedimiento se repite cuando la temperatura ambiente durante el ensayo varié.

Con el tubo de PVC de ½ pulgada de 3metros marcaremos con brocha los intervalos de medición 25cms., 50cms.,75cms.,1.00m, se coloca el camión en la posición inicial de medida teniendo en cuenta que el mismo tenga el peso establecido en la normativa y la presión de inflado de llanta correspondiente (80psi). Se determina el ancho del carril de prueba que para este proyecto es 3.50m. y se determina la ubicación del sitio de medición del ensayo desde el borde del pavimento, que es 0.90 m por norma, donde finalmente se deberá asentar la viga Benkelman para iniciar la toma de deflexiones.

Posteriormente colocamos la plomada en la parte posterior de la volqueta a nivel de la viga Benkelman, con el hilo suelto, en el ensayo realizado se midió una altura aproximadamente 1.30m., se encera el equipo, y se ajustan los diales

extensómetro de las agujas y finalmente se activa el vibrador, se quita el bloqueo de la palanca y se ajusta por medio del tornillo del bastidor, se anota la lectura inicial D_0 que marca el deformímetro con el camión sin movimiento, una vez realizada esa medida se dispone el movimiento en forma lenta del camión hasta las marcas de medición establecidas, que para este proyecto solo se midió a 25cms. de la posición inicial, hasta que el eje de la llanta se encuentre en la medida indicada y mediante una pitada se indica al operador de la viga la toma de la lectura a la distancia establecida en este caso a 25cms. de la posición inicial.

Se lee y se anota la lectura denominada D_{25} cuando el eje posterior del camión pase sobre esa marca, este procedimiento se repite a otras distancias preestablecidas y la final se da cuando ya el deformímetro no registra ninguna deflexión. Luego de lo anterior se continúa a la estación siguiente, y así sucesivamente se determinan las lecturas D_0 y D_{25} para el posterior cálculo de deflexión característica y radio de curvatura generados en el tramo de pavimento evaluado.

La deflectometría es un procedimiento de evaluación del comportamiento estructural de pavimentos mundialmente aceptado y por tanto hay mucha experiencia y literatura sobre el tema, actualmente se han desarrollado programas informáticos como el DEFLEX, el cual permite evaluar deflexiones y radios de curvatura con las lecturas obtenidas mediante el empleo de la viga Benkelman.

Los parámetros característicos obtenidos en una evaluación completa con Viga Benkelman es la longitud L_0 (longitud característica) la cual establece la rigidez relativa, que existe entre el pavimento y la subrasante, esta depende de las deflexiones D_r . (Deflexiones a una distancia R generalmente 50cms.) y D_0 (deflexión máxima). Con el valor de L_0 , se determina mediante retro cálculo el módulo equivalente del pavimento y el espesor efectivo del pavimento. Para el presente proyecto solo se ha realizado mediciones en dos puntos D_0 y D_{25} los cuales permiten establecer la deflexión máxima y radio de curvatura del tramo de pavimento evaluado y estos valores luego serán comparados con los mismos parámetros obtenidos mediante la modelación de la estructura de pavimento existente empleando el programa DEPAV.

3.7. METODOLOGÍA DEL OE.2: DETERMINAR LAS DEFLEXIONES CARACTERÍSTICAS Y EL RADIO DE CURVATURA CON LOS DATOS DE CAMPO OBTENIDOS, PARA EVALUAR LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

Para aplicar la metodología adoptada es necesario conocer el espesor de carpeta asfáltica de la vía ensayada esto porque la normativa indica que las lecturas del equipo en carpetas asfálticas mayores a 2 pulgadas deben ser corregidas por temperatura, el proyecto evaluado tiene una carpeta asfáltica de 3” de espesor, por tanto, necesitamos realizar la corrección indicada, luego registramos en la calzada la temperatura de la calzada, para aplicar el factor de corrección por temperatura establecido en la metodología del ensayo con viga Benkelman.

3.7.1. Factor de corrección por temperatura (fct)

Las deflexiones cambian con la temperatura del pavimento, debemos de saber que hay factores que influyen como el aire, la insolación, lluvia, viento, en nuestro proyecto se registraron temperaturas en calzada de prueba de entre 32° C, y 38° C siendo la corrección indicada determinada mediante la fórmula:

$$Fct = \frac{1}{1+0.008*h(T-20)}$$

Donde:

Fct = factor de corrección por temperatura

h = espesor promedio de la capa asfáltica de la sección en centímetros.

τ = temperatura del pavimento en el proyecto en °C.

La deflexión corregida a 32 y 38°C se determina mediante la fórmula:

$$D_{c20} = D_c \times F_{ct}$$

Donde

D_c = deflexión característica de un sector

F_{ct} = factor de corrección por temperatura

Para este proyecto en función de las temperaturas evaluadas durante los ensayos se tendrán factores de corrección por temperatura de 0.93 para el carril derecho y de 0.90 para el carril izquierdo.

3.7.2. Factor de corrección por clima (FCC).

En aplicación de la metodología del ensayo con viga Benkelman, se debe determinar un factor de corrección adicional generado por la época en que se realiza el ensayo las mediciones fueron realizadas el 17 de mayo del 2022, que se puede considerar un periodo intermedio en la provincia de Santa Elena, y por otra parte el material que conforma la subrasante en tramo de prueba es de predominancia fina, tipo CL (arcilla limosa) y con estos datos aplicamos los factores de corrección sugeridos en tabla 3, mostrada a continuación.

Tabla 3.

Factores de corrección de las deflexiones Benkelman por clima

Naturaleza del suelo de subrasante	COEFICIENTE DE CORRECCIÓN		
	PERIODO LLUVIOSO	PERIODO INTERMEDIO	PERIODO SECO
Suelos arenosos y permeables	1.0	1.0 – 1.1	1.1 – 1.3
Suelos arcillosos e impermeables	1.0	1.2 – 1.5	1.5 – 1.8

Para nuestro proyecto se tomará un valor promedio de 1.35 en función del mes en que se realizaron las mediciones y el tipo de material de la subrasante tipo arcilloso limoso (CL).

3.7.3. Factor de corrección por brazo de palanca del equipo (FCE)

Esta corrección depende del tipo de viga Benkelman que se utiliza para el ensayo, siendo el brazo de palanca la relación entre la distancia del brazo de medida y la viga de apoyo del equipo.

Para nuestro proyecto el equipo empleado tiene distancias similares de brazo de medida y viga de apoyo por tanto el factor de corrección es igual a 1.

3.7.4. Cálculo de deflexiones Dc.

Con las deflexiones medidas en cada abscisa y carriles de la vía del presente proyecto, se procede a determinar las deflexiones corregidas (Dc) por temperatura, clima y brazo de palanca del equipo, y posteriormente se determina la deflexión característica de cada sector ensayado mediante la expresión:

$$D'c = \frac{\sum_{f=1}^m Dc20f}{m}$$

Donde:

$D'c$ = deflexión característica de un sector

m = factor de corrección por temperatura

3.7.5. Determinación de las deflexiones características.

Luego de determinar las deflexiones corregidas se procede al cálculo de la deflexión denominada característica para cada tramo de prueba, para ello es preciso determinar parámetros estadísticos tales como la desviación standard, la media aritmética y la varianza de todos los datos registrados durante el ensayo con la viga Benkelman,

Los valores obtenidos del análisis de resultados en el presente proyecto son los siguientes:

Carril derecho:

Tabla 4.

Análisis de los resultados de los carriles - Carril Derecho

D promedio	301.70 x 10 ⁻² mm	
σ=	9.47 x 10 ⁻² mm	
V=	3.14	< 10 %

Nota: Análisis de resultados de carril derecho.

Carril izquierdo:

Tabla 5.

Análisis de los resultados de los carriles – Carril Izquierdo

D promedio	218.82 x 10 ⁻² mm	
σ=	10.05 x 10 ⁻² mm	
V=	3.40	< 10 %

Nota: Análisis de resultados de carril izquierdo.

La deflexión característica D'c de los tramos evaluados se determina aplicando la siguiente ecuación:

$$D'c = D_{promedio} + m * \sigma$$

Donde el valor de *m*, es tomada de la distribución estadística T student, para diferentes niveles de confiabilidad, para nuestro proyecto se adopta una confiabilidad del 85% sugerida por el instituto del asfalto para las evaluaciones de deflexiones.

Tabla 6.

Valor de la función m . (INVIAS, 2002, p.121)

Nivel de confianza (%)	Valor de m
50	0
85	1
90	1.28
95	1.65
98	2

Nota: En la tabla se expone el valor de la función de m en base a porcentajes de confianza.

Finalmente determinamos las deflexiones características registradas en los carriles evaluados en el presente proyecto y se indican a continuación:

Carril derecho:

Deflexión Característica $D_o=$	311.17×10^{-2} mm
---------------------------------	----------------------------

Carril Izquierdo:

Deflexión Característica $D_o=$	305.46×10^{-2} mm
---------------------------------	----------------------------

3.7.6. Deflexiones admisibles D_{adm} .

Las deflexiones características evaluadas en el paso anterior, se compararon con las deflexiones consideradas admisibles para este proyecto, cabe indicar que las deformaciones admisibles se correlacionan con la intensidad de tráfico que se tiene previsto circule por la vía mediante la siguiente expresión:

$$D_{adm} = 26.32202 (N)^{-0.2438} \text{ (Libro de Yan Huang)}$$

Donde:

D_{adm} = Deflexión admisible expresada en mm.

N = Numero de ejes equivalentes de 8.2 Ton. en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

Según el estudio de tráfico realizado durante el estudio de la vía del presente proyecto se tiene previsto un tráfico de diseño de 1658081 Ejes equivalentes de 8.2 Ton., por tanto, la deflexión considerada admisible para el presente estudio sería de:

$$D_{adm} = 26.32202 (1658081)^{-0.2438}$$

$$D_{adm} = 0.80\text{mm. o } 80 \times 10^{-2} \text{ mm. (Tráfico de diseño)}$$

Sin embargo, al ser la vía de reciente construcción se ha estimado un volumen de tráfico representativo para este análisis considerando un tiempo de construcción del pavimento de un mes con ello aplicando los criterios considerados en el estudio de tráfico de este proyecto se determina un volumen de 23500 ejes equivalentes como modelo de tráfico a evaluar.

Por tanto, la deflexión que se debería esperar se desarrolle en el pavimento bajo la condición indicada sería de:

$$D_{adm} = 26.32202 (23500)^{-0.2438}$$

$$D_{adm} = 2.26\text{mm. o } 226 \times 10^{-2} \text{ mm. (TRAFICO ESTIMADO TIEMPO DE PRUEBA)}$$

3.7.7. Evaluación del Radio de curvatura R_c :

Este parámetro expresa la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas asfálticas al flexionarse bajo la aplicación de cargas. Se determina mediante la siguiente expresión:

$$R_c = \frac{6250}{2 (D_0 - D_{25})}$$

Donde:

R_c = radio de curvatura en metros.

D_0 = Deflexión corregida en el eje vertical de la carga en 1/100 mm.

D_{25} = Deflexión corregida a 25cms. del eje de la carga en 1/100mm.

Los valores de radio de curvatura calculados en función de las deflexiones D_0 y D_{25} para este proyecto se mostrarán a continuación.

3.8. METODOLOGÍA DEL OE.3: COMPROBAR LOS VALORES DE DEFLEXIONES Y RADIO DE CURVATURA MEDIANTE EL USO DEL PROGRAMA DE DISEÑO DEPAV PARA ENCONTRAR DIFERENCIAS EN LOS RESULTADOS.

Se verifico en función de los espesores de pavimento contratados por el GAP de Santa Elena, mediante el uso del software DEPAV, que analiza el comportamiento de estructuras de pavimento flexibles desde el punto de vista mecanicista - empírico, y básicamente para el desarrollo de la presente investigación, los valores de deflexión y de radio de curvatura que se generarían en la estructura de pavimento contratada.

Para este análisis consideramos las mismas características de la subrasante evaluada en los estudios y diseños de la vía, la misma que está conformada en el tramo evaluado básicamente por materiales arcillosos – limosos (CL), con un CBR de diseño de 2.2% (3300 psi), para el caso de la capa de rodadura, sub-base y mejoramiento de subrasante, se utilizó el mismo módulo de capa empleados en el estudio y diseño, y únicamente el módulo de la Base se modificó con respecto a la del diseño original en virtud de que el material contratado fue granular y en el estudio se indica una base estabilizada con asfalto, por tanto, se ha considerado que el material de Base clase 1 contratado debe alcanzar como mínimo 80% de CBR, con lo cual se alcanzaría un módulo de capa de 28000 psi.

El resultado de análisis usando el programa de DEPAV, ingresando los espesores de capas de pavimento contratados que se indican a continuación:

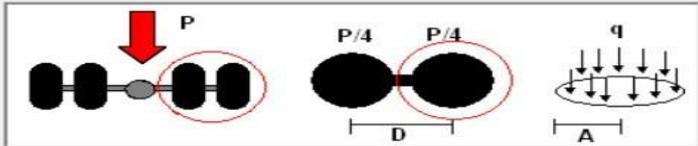
- ✓ Concreto asfáltico = 3''
- ✓ Base clase 1= 20cms.
- ✓ Sub-Base clase 3= 30cms.
- ✓ Mejoramiento de subrasante=40cms. en promedio para el tramo analizado.

Se ha considerado en el análisis el mismo tráfico de diseño del estudio de la vía el mismo que está compuesto de 1658081 Ejes equivalentes de 8.2 Ton., por tanto, se selecciona ese modelo de carga para la corrida del programa DEPAV.

Figura 7.

Geometría de ejes sobre el pavimento

Geometría del semieje de carga sobre el pavimento



Modelo	P(ton.)	A (cm)	D (cm)	q (kgf/cm ²)
<input type="radio"/> MOPT UNICAUCA	8.200	10.8	32.4	5.594
<input checked="" type="radio"/> ASPHALT INSTITUTE	8.164	11.5	34.5	4.912
<input type="radio"/> SHELL OIL	8.156	10.5	31.5	5.887
<input type="radio"/> GUÍA FRANCESA 1994	13.26	12.5	37.5	6.752
<input type="radio"/> RUEDA SENCILLA	8.200	15.0	0.00	5.800
<input type="radio"/> Definido por el usuario	<input type="text" value="8.164"/>	<input type="text" value="11.5"/>	<input type="text" value="34.5"/>	<input type="text" value="4.912"/>

Para una rueda sencilla emplee D = 0.0 cm.
El programa calcula la presión de contacto.

Nota: Se exponen la geometría de ejes sobre el pavimento.

3.8.1. Ingreso de datos estructura de pavimento flexible contratada.

A continuación, se modela las capas estructurales de pavimento con sus correspondientes espesores, módulos y coeficientes Poisson.

Figura 8.

Datos de estructura de pavimento flexible con el software de diseño Pav.

WinDepav 2.6 (con DOSBox 0.74) por Luis Ricardo Vásquez Varela, M.Sc.

Archivo DEPAV Acerca de

Descripción del proyecto (no use comas)
 CARRETERA TUGADUAJA - ENGUNGA

Número de capas
 2 3 4 5 6

Archivo: _____

Estructura y criterios de evaluación de comportamiento por fatiga y ahuellamiento

Capa	E (kgf/cm ²)	v	h (cm)	Liga	Daño por tensión			Daño por compresión					
					C*k1*(1/E)^k3	k2	N esperado	k4	k5	N esperado			
1	30280	0.35	¿E?	7.5	<input checked="" type="checkbox"/>	8,8903E-13	4,9020	?	<input type="checkbox"/>				
2	1970	0.35	¿E?	20	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>				
3	1050	0.35	¿E?	30	<input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>				
4	900	0.35	¿E?	40	<input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>				
5	211	0.45	¿E?		<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	1,1262E-06	3,5710	?	1658081

Carga en la superficie del pavimento

Seleccionar modelo de carga

Radio del área de contacto (cm) 10,80
 Distancia entre ruedas (cm) 32,40
 Presión de contacto (kgf/cm²) 5,594

IMPORTANTE: Para el correcto funcionamiento de WinDEPAV es necesario que el sistema operativo reconozca el punto (.) como símbolo decimal y la coma (,) como separador de listas.
 Este programa requiere el software DOSBox para funcionar en sistemas operativos de 64 bits.
 Escriba al correo electrónico: ingepav@gmail.com, si requiere algún tipo de asistencia en el uso de WinDEPAV.
 Luis Ricardo Vásquez Varela, 2017.

Nota: Se exponen los datos de estructura de pavimento flexible con el software de diseño DePav.

3.9. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 7.

Operacionalización de la variable independiente y dependiente

Variable independiente	Detalles	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas y equipos
Evaluación estructural	Medición de Deflexiones	Tramo asfaltado 0+200 a 1+900 en ambos carriles.	Deflexión y Radio de Curvatura.	¿Cuál es la condición estructural de la vía?	Ensayo Viga Benkelman
Variable dependiente	Detalles	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas y equipos
Estructura del pavimento	Deformación admisible.	Vía de 10.5 Kms.	Valores máximos obtenidos en Modelo DEPAV.	¿Cuál es el comportamiento del pavimento?	Análisis de resultados obtenidos.

Nota: esta tabla muestra la operacionalización de las respectivas variables en su uso estructural.

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.1, OBTENER LAS DEFLEXIONES BAJO LA CARGA APLICADA SIN MOVIMIENTO SOBRE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DE LA VÍA TUGADUAJA – ENGUNGA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN EN UN TRAMO DE VÍA PARA CONOCER LA CONDICIÓN ACTUAL DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.

En el presente estudio se realizó la medición de deflexiones a cada 50m. en el carril derecho y en carril izquierdo a cada 100m. en carril derecho, la distancia desde el borde del pavimento al sitio de medición fue de 90cm, a continuación, se resume en la tabla 2 las mediciones registradas.

Tabla 8.

Abscisas de medición mediante ensayo con Viga Benkelman.

ABSCISA	Deflexiones X10 ⁻³ Pulg		ABSCISA	Deflexiones X10 ⁻³ Pulg	
	D0	D25		Carril Izq..	D0
Carril Der.			Carril Izq..		
0+200	97	88	0+200	98	96
0+250	96	92	0+300	97	93
0+300	98	96	0+400	96	90
0+400	98	96	0+500	98	90
0+450	97	93	0+600	98	97
0+500	97	93	0+700	99	95
0+550	96	93	0+800	99	94
0+600	96	90	0+900	96	88
0+650	94	84	1+000	95	90
0+700	98	90	1+100	98	90
0+750	94	90	1+200	95	86
0+800	98	97	1+300	95	90
0+850	96	90	1+400	94	86

ABSCISA	Deflexiones X10 ⁻³ Pulg		ABSCISA	Deflexiones X10 ⁻³ Pulg	
	Carril Der.	D0		D25	Carril Izq..
0+900	97	93	1+500	93	92
0+950	98	92	1+600	92	80
1+000	99	94	1+700	90	80
1+050	96	92	1+800	96	94
1+100	96	88	1+900	94	83
1+150	96	92			
1+200	98	90			
1+250	94	88			
1+300	98	95			
1+350	92	86			
1+400	95	86			
1+450	96	90			
1+500	95	90			
1+550	95	90			
1+600	94	86			
1+650	96	95			
1+700	93	92			
1+750	98	96			
1+800	96	92			
1+850	96	90			
1+900	90	80			
1+950	95	90			
2+000	94	92			
2+050	98	93			
2+080	94	86			

Nota: Esta tabla muestra las abscisas y las deflexiones obtenidas en carriles derecho e Izquierdo de la vía.

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.2, DETERMINAR LAS DEFLEXIONES CARACTERÍSTICAS Y EL RADIO DE CURVATURA CON LOS DATOS DE CAMPO OBTENIDOS, PARA EVALUAR LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

Las deflexiones medidas con la viga Benkelman en los tramos de vía evaluados y corregidos con los factores antes indicados se muestran a continuación:

4.2.1. Deflexiones

Tabla 9.

Deflexiones con la viga Benkelman en los tramos de vía

ABSCISA	Deflexiones X10 ⁻³ Pulg		ESPESOR	TEMP.	FACTOR CORR	FACTOR CORR	BRAZO	Deflexiones Corregidas 10 ⁻² mm	
	Carril Der.	DO						D25	DO
			ASFALTO	°C	TEMP	POR CLIMA	PALANCA		
			cms						
0+200	97	88	7.5	32	0.93	1.35	1	309.33	280.63
0+250	96	92	7.5	32	0.93	1.35	1	306.14	293.39
0+300	98	96	7.5	32	0.93	1.35	1	312.52	306.14
0+400	98	96	7.5	32	0.93	1.35	1	312.52	306.14
0+450	97	93	7.5	32	0.93	1.35	1	309.33	296.57
0+500	97	93	7.5	32	0.93	1.35	1	309.33	296.57
0+550	96	93	7.5	32	0.93	1.35	1	306.14	296.57
0+600	96	90	7.5	32	0.93	1.35	1	306.14	287.01
0+650	94	84	7.5	32	0.93	1.35	1	299.76	267.87
0+700	98	90	7.5	32	0.93	1.35	1	312.52	287.01
0+750	94	90	7.5	32	0.93	1.35	1	299.76	287.01
0+800	98	97	7.5	32	0.93	1.35	1	312.52	309.33
0+850	96	90	7.5	32	0.93	1.35	1	306.14	287.01
0+900	97	93	7.5	32	0.93	1.35	1	309.33	296.57
0+950	98	92	7.5	32	0.93	1.35	1	312.52	293.39
1+000	99	94	7.5	32	0.93	1.35	1	315.71	299.76
1+050	96	92	7.5	32	0.93	1.35	1	306.14	293.39
1+100	96	88	7.5	32	0.93	1.35	1	306.14	280.63
1+150	96	92	7.5	32	0.93	1.35	1	306.14	293.39
1+200	98	90	7.5	32	0.93	1.35	1	312.52	287.01
1+250	94	88	7.5	32	0.93	1.35	1	299.76	280.63
1+300	98	95	7.5	32	0.93	1.35	1	312.52	302.95
1+350	92	86	7.5	38	0.9	1.35	1	283.92	265.40
1+400	95	86	7.5	38	0.9	1.35	1	293.18	265.40
1+450	96	90	7.5	38	0.9	1.35	1	296.27	277.75
1+500	95	90	7.5	38	0.9	1.35	1	293.18	277.75
1+550	95	90	7.5	38	0.9	1.35	1	293.18	277.75
1+600	94	86	7.5	38	0.9	1.35	1	290.09	265.40
1+650	96	95	7.5	38	0.9	1.35	1	296.27	293.18
1+700	93	92	7.5	38	0.9	1.35	1	287.01	283.92
1+750	98	96	7.5	38	0.9	1.35	1	302.44	296.27
1+800	96	92	7.5	38	0.9	1.35	1	296.27	283.92
1+850	96	90	7.5	38	0.9	1.35	1	296.27	296.27
1+900	90	80	7.5	38	0.9	1.35	1	277.75	246.89
1+950	95	90	7.5	38	0.9	1.35	1	293.18	277.75
2+000	94	92	7.5	38	0.9	1.35	1	290.09	283.92
2+050	98	93	7.5	38	0.9	1.35	1	302.44	287.01
2+080	94	86	7.5	38	0.9	1.35	1	290.09	265.40

ABSCISA	Deflexiones X10 ⁻³ Pulg		ESPESOR	TEMP.	FACTOR CORR	FACTOR CORR	BRAZO	Deflexiones Corregidas 10 ⁻² mm			
	Carril Izq.	DO						D25	ASFALTO	°C	TEMP
			cms								
0+200	97	88	7.5	38	0.93	1.35	1	302.44	296.27		
0+300	96	92	7.5	38	0.93	1.35	1	299.35	287.01		
0+400	98	96	7.5	38	0.93	1.35	1	296.27	277.75		
0+500	98	96	7.5	38	0.93	1.35	1	302.44	277.75		
0+600	97	93	7.5	38	0.93	1.35	1	302.44	299.35		
0+700	97	93	7.5	38	0.93	1.35	1	305.52	293.18		
0+800	96	93	7.5	38	0.93	1.35	1	305.52	290.09		
0+900	96	90	7.5	38	0.93	1.35	1	296.27	271.58		
1+100	94	84	7.5	38	0.93	1.35	1	293.18	277.75		
1+200	98	90	7.5	38	0.93	1.35	1	293.18	277.75		
1+300	94	90	7.5	38	0.93	1.35	1	293.18	265.40		
1+400	98	97	7.5	38	0.93	1.35	1	290.09	277.75		
1+500	96	90	7.5	38	0.93	1.35	1	287.01	265.40		
1+600	97	93	7.5	38	0.93	1.35	1	283.92	283.92		
1+700	98	92	7.5	38	0.93	1.35	1	277.75	246.89		
1+800	99	94	7.5	38	0.93	1.35	1	296.27	290.09		
1+900	96	92	7.5	38	0.93	1.35	1	290.09	256.15		

Nota: En la tabla se exponen los resultados de las deflexiones de la viga Benkelman en los tramos de la vía en los cuales se realizó la experimentación para este proyecto.

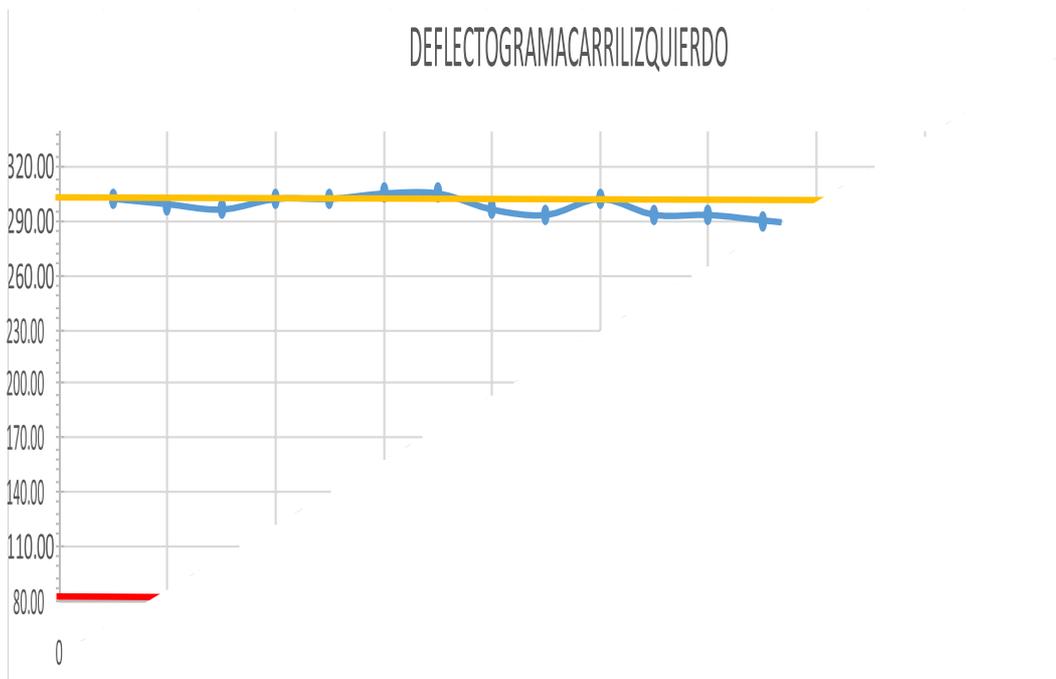
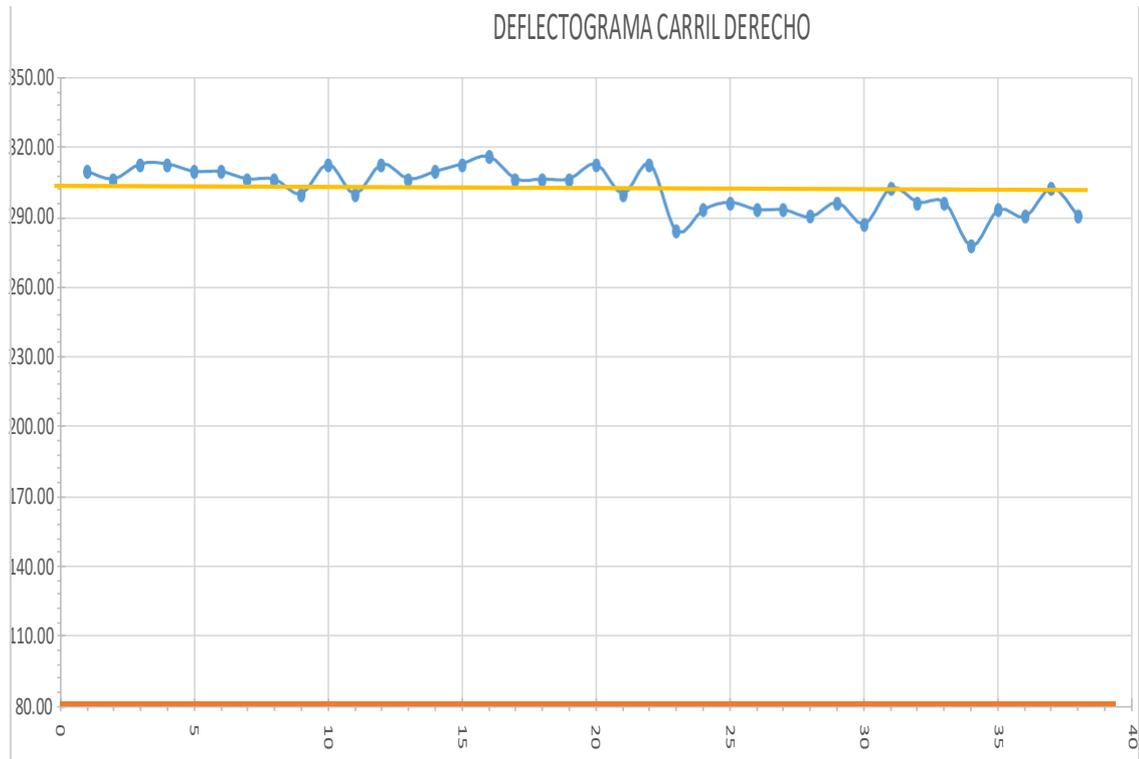
Cabe indicar que las deflexiones finales corregidas se expresan en unidades $\times 10^{-2}$ mm., como se puede apreciar en cuadros anteriores.

Los resultados de deflexiones de campo se midieron con deformímetros cuya lectura esta expresada en 10^{-3} pulgadas.

Finalmente, con los datos generados en las mediciones de campo realizadas en el proyecto se presente a continuación el deflectograma resultante, en el cual se establecen además el valor de la deflexión característica (línea amarilla) y la admisible (línea roja):

Figura 9.

Deflectogramas de carriles derecho e izquierdo



Nota: Se expone los deflectogramas de los carriles derecho e izquierdo obtenidos en base a los resultados de la investigación de campo.

4.2.2. Radio de Curvatura

4.2.2.1 CARRIL DERECHO

Tabla 10.

Radio curvatura – Carril derecho

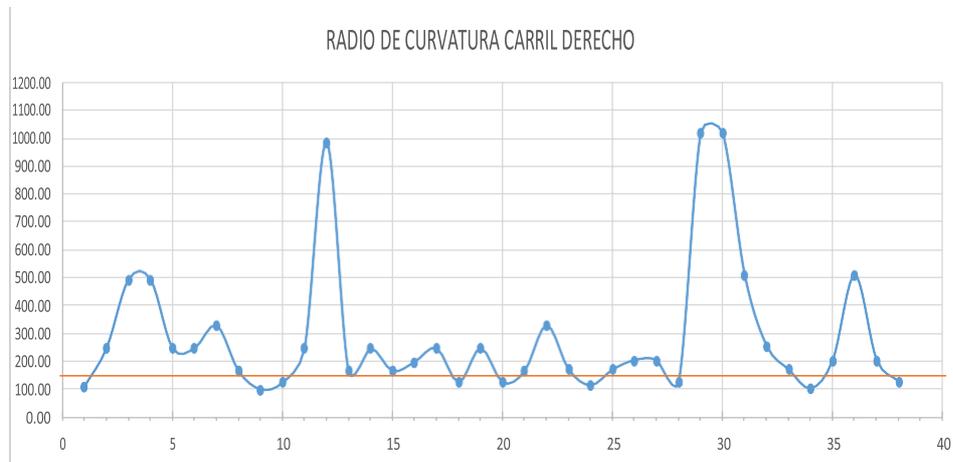
DEFLEXIONES CORREGIDAS 10 ⁻² mm		
DO	D25	RADIO CURV
309.33	280.63	108.88
306.14	293.39	244.99
312.52	306.14	489.97
312.52	306.14	489.97
309.33	296.57	244.99
309.33	296.57	244.99
306.14	296.57	326.65
306.14	287.01	163.32
299.76	267.87	97.99
312.52	287.01	122.49
299.76	287.01	244.99
312.52	309.33	979.94
306.14	287.01	163.32
309.33	296.57	244.99
312.52	293.39	163.32
315.71	299.76	195.99
306.14	293.39	244.99
306.14	280.63	122.49
306.14	293.39	244.99
312.52	287.01	122.49
299.76	280.63	163.32
312.52	302.95	326.65
283.92	265.40	168.77
293.18	265.40	112.51
296.27	277.75	168.77
293.18	277.75	202.52
293.18	277.75	202.52
290.09	265.40	126.58
296.27	293.18	1012.60
287.01	283.92	1012.60
302.44	296.27	506.30
296.27	283.92	253.15
296.27	296.27	168.77
277.75	246.89	101.26
293.18	277.75	202.52
290.09	283.92	506.30
302.44	287.01	202.52
290.09	265.40	126.58

Nota: Se exponen los resultados de la radio curvatura del carril derecho.

Radio de Curvatura promedio de la serie de datos anteriores: 285m.

Figura 10.

Radio curvatura – Carril derecho



Nota: Se exponen los resultados de la radio curvatura del carril derecho.

4.2.2.2 CARRIL IZQUIERDO

Tabla 11.

Radio curvatura – Carril izquierdo

DEFLEXIONES CORREGIDAS 10 ⁻² mm		
DO	D25	RADIO CURV
302.44	296.27	506.30
299.35	287.01	253.15
296.27	277.75	168.77
302.44	277.75	126.58
302.44	299.35	1012.60
305.52	293.18	253.15
305.52	290.09	202.52
296.27	271.58	126.58
293.18	277.75	202.52
293.18	277.75	126.58
293.18	265.40	112.51
290.09	277.75	202.52
287.01	265.40	126.58
283.92	283.92	1012.60
277.75	246.89	84.38
296.27	290.09	101.26
290.09	256.15	506.30
290.09	256.15	92.05

Nota: Se exponen los resultados de la radio curvatura del carril izquierdo.

Radio de Curvatura promedio de la serie de datos anteriores: 290m.

Figura 11.

Radio curvatura – Carril izquierdo



Nota: Se exponen los resultados de la radio curvatura del carril izquierdo.

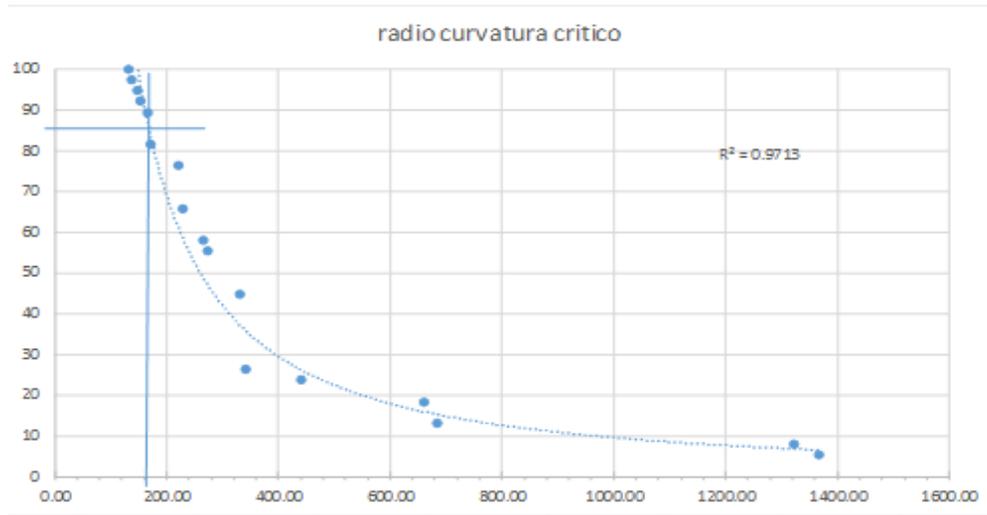
De la experiencia disponible se puede concluir que radios de curvatura menores a 100m. indican zonas débiles bajo la capa de rodadura. Como puede observarse en los valores calculados se muestran ciertos tramos con radios de curvatura menores al indicado en los dos tramos evaluados.

Los radios de curvatura no se ajustan en general a una distribución normal sino a una logarítmica, y cuyos valores representativos estarán dentro del percentil 95, determinándose su valor admisible llamado radio de curvatura crítico que quedará definido como el valor superado por el 95% del percentil de los resultados, calculado en base a estos y no a parámetros estadísticos de la distribución normal, por tanto, se ha realizado la evaluación del radio de curvatura denominado crítico agrupando todos los valores obtenidos de radios de curvatura en la vía de menor a mayor y estableciendo el percentil 95 indicado, se obtienen los siguientes valores:

4.2.2.3 Carril Derecho

Figura 12.

Radios de curvatura críticas de carriles – carril derecho

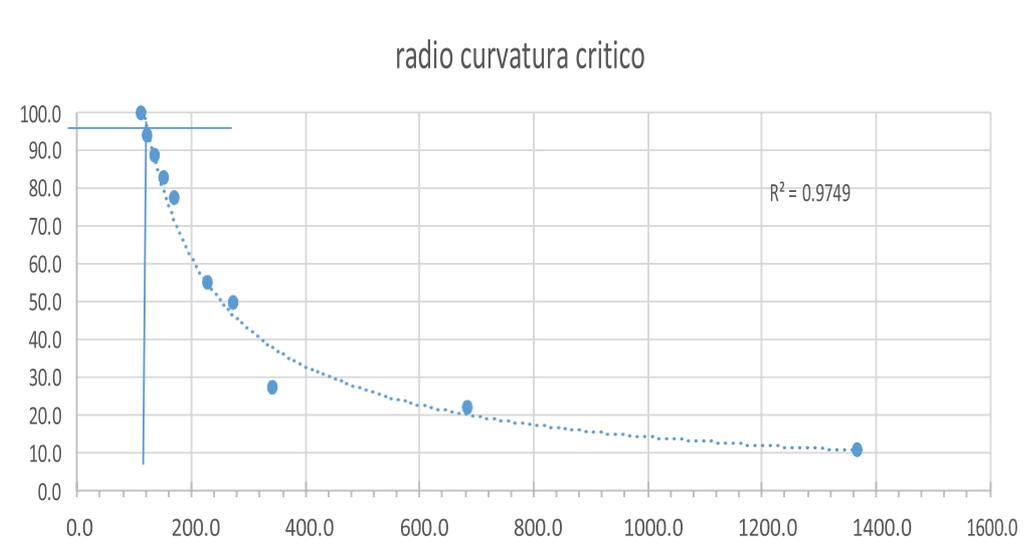


Nota: Resultados ordenados de mayor a menor.

4.2.2.4 Carril Izquierdo:

Figura 13.

Radios de curvatura críticas de carriles – carril izquierdo



Nota: Resultados ordenados de mayor a menor.

Como puede observarse existen varios tramos con radios de curvatura menores a los considerados críticos en ambos carriles de la vía, donde el comportamiento de la estructura de pavimento se evalúa como potencialmente deficientes y que provocarán fallas prematuras en la capa de rodadura.

Se considera que el pavimento sujeto de evaluación tiene la capacidad estructural adecuada para resistir los esfuerzos del tráfico de diseño, para las condiciones de resistencia del suelo, si se cumple que la deflexión característica sea menor que la deflexión admisible ($D_c < D_{adm.}$) y los radios de curvatura mayores a los evaluados como críticos ($R_c > R_{critico}$).

4.2.2.5 Radios de Curvatura Críticos

Se observan varios tramos en donde se tienen radios de curvatura menores a los establecidos como críticos y se indican a continuación, en la tabla 12.

Tabla 12.

Tramos de radios de curvatura donde establece los radios críticos

ABSCISA CARRIL DER.	DEFLEXIONES $\times 10^{-3}$ PULG		ESPESOR ASFALTO CMS.	TEMPERATURA °c	FACTOR CORR. TEMP.	FACTOR CORR. POR CLIMA	BRAZO PALANCA	DEFLEXIONES CORREGIDAS 10-2 MM.		RADIO CURVATURA
	D0	D25						D0	D25	
0+200	97	88	7.5	32	0.93	1.35	1	309.33	280.63	108.88
0+600	96	90	7.5	32	0.93	1.35	1	306.14	287.01	163.32
0+650	94	84	7.5	32	0.93	1.35	1	299.76	267.87	97.99
0+700	98	90	7.5	32	0.93	1.35	1	312.52	287.01	122.49
1+100	96	88	7.5	32	0.93	1.35	1	306.14	280.63	122.49
1+200	98	90	7.5	32	0.93	1.35	1	312.52	287.01	122.49
1+250	94	88	7.5	32	0.93	1.35	1	299.76	280.63	163.32
1+350	92	86	7.5	38	0.9	1.35	1	283.92	265.40	168.77
1+400	95	86	7.5	38	0.9	1.35	1	293.18	265.40	112.51
1+450	96	90	7.5	38	0.9	1.35	1	296.27	277.75	168.77

1+600	94	86	7.5	38	0.9	1.35	1	290.09	265.40	126.58
1+850	96	90	7.5	38	0.9	1.35	1	296.27	277.75	168.77
1+900	90	80	7.5	38	0.9	1.35	1	277.75	246.89	101.26
2+080	94	86	7.5	38	0.9	1.35	1	290.09	265.40	126.58

ABSCISA CARRIL IZQ.	DEFLEXIONES $\times 10^{-3}$ PULG		ESPESOR ASFALTO	TEMPERATURA °c	FACTOR CORR. TEMP.	FACTOR CORR. POR CLIMA	BRAZO PALANCA	DEFLEXIONES CORREGIDAS 10-2 M.M.		RADIO CURVATURA
	D0	D25						D0	D25	
0+500	98	90	7.5	38	0.9	1.35	1	302.44	277.75	126.58
0+900	96	88	7.5	38	0.9	1.35	1	296.27	271.58	126.58
1+100	98	90	7.5	38	0.9	1.35	1	302.44	277.75	126.58
1+200	95	86	7.5	38	0.9	1.35	1	293.18	265.40	112.51
1+400	94	86	7.5	38	0.9	1.35	1	290.09	265.40	126.58
1+600	92	80	7.5	38	0.9	1.35	1	283.92	246.89	84.38
1+700	90	80	7.5	38	0.9	1.35	1	277.75	246.89	101.26
1+900	94	83	7.5	38	0.9	1.35	1	290.09	256.15	92.05

Nota: Se exponen los tramos de radios de curvatura donde establece los radios críticos

En los tramos señalados, la capa de rodadura experimentaría la evolución de fisuras por fatiga que luego derivaran en piel de cocodrilo.

En cuanto al radio de curvatura evaluado con ayuda del programa DEPAV estimado para la estructura de pavimento flexible contratada, se observa que se obtuvo un valor mínimo de 114m., valor menor a los evaluados como críticos con la viga Benkelman, con lo que podemos establecer que el comportamiento de la mezcla asfáltica en cuanto al módulo de capa considerado a nivel de diseño vario en más con relación con el que se alcanzó en obra

4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.3, COMPROBAR LOS VALORES DE DEFLEXIONES Y RADIO DE CURVATURA MEDIANTE EL USO DEL PROGRAMA DE DISEÑO DEPAV PARA ENCONTRAR DIFERENCIAS EN LOS RESULTADOS.

4.3.1. Corrida del programa DEPAV

Figura 14.

Resultados de análisis

Resultados del análisis

Archivo:

Descripción del proyecto: VÍA TUGADUAJA ENGUNGA

Sistema de carga: Radio de las ruedas (cm) Distancia entre los centros de las ruedas (cm) Presión de contacto de las ruedas (kg/cm²)

Posición del valor máximo para una carga: A Bajo una rueda simple B Bajo una de las ruedas de la carga C Al centro de la carga

Gráficos de respuesta

Exportar resultados a Excel (csv)

Respuestas estructurales en las interfaces y evaluación del comportamiento por fatiga y ahueamiento.

Número de capas:

No.	E (kgf/cm²)	v	Z (cm)	Tracción (fatiga)		Compresión	
				Sigma T (kgf/cm²)	Sigma Z (kgf/cm²)	Épsilon T (microstrain)	Épsilon Z (microstrain)
1	3.030E+04	0.35	0.00	1.785E+01	4.915E+00	352.0	-224.0
			7.50	-1.173E+01	2.111E+00	-298.0	331.0
			27.50	-5.201E-01	6.842E-01	-330.0	940.0
2	1.973E+03	0.35	27.50	-1.040E-01	6.842E-01	-330.0	684.0
			57.50	-1.948E-01	2.264E-01	-204.0	338.0
			97.50	-7.199E-02	2.264E-01	-204.0	423.0
3	1.050E+03	0.35	97.50	-1.224E-01	7.342E-02	-167.0	245.0
			Continúa				
			97.50	-2.702E-03	7.342E-02	-167.0	356.0
4	6.434E+02	0.35	97.50				
			Continúa				
			97.50				
5	2.111E+02	0.45	97.50				
			Continúa				
			97.50				

Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm)

Radio de curvatura (m)

Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100)

Salir y descartar los resultados

Nota: Se exponen los resultados de los análisis.

Como se puede observar la deflexión esperada que tendría la estructura de pavimento analizada alcanza un valor de 90.5×10^{-2} mm., y un radio de curvatura mínimo de 114.2m.

Sin embargo, el coeficiente de daño a nivel de carpeta solo alcanzaría a soportar un tráfico de 170730 ESAL's, de diseño, mientras que el espesor total del pavimento diseñado si previene deformaciones a nivel de la subrasante, esto indica que el espesor de carpeta debió ser mayor al contratado o en su defecto haber construido la base estabilizada con asfalto considerada en el estudio, para aumentar la rigidez del pavimento.

Por otra parte, considerando que el tráfico al momento no llega al de diseño porque es un pavimento de reciente construcción, se evaluó una nueva corrida del programa DEPAV con los mismos parámetros excepto que en el tráfico se ha considerado un volumen de 23500 ESAL's para que sirve de comparación al tema de tesis propuesto, con este ajuste se tiene una deflexión esperada para el paquete estructural de pavimento construido de 387.5×10^{-2} mm.

Figura 15.

Diseño estructural de pavimentos

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS - DEPAV2 - Sin Nombre

EVALUACION DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES

Ver Salir

Vehículo: SRDS. Simple de Rueda Doble Carga E Componente: 1. SRDS

Posición: Valores Máximos

Capa	Profundidad (cm)	Epsilon X	Sigma X (MPa)	Epsilon Y	Sigma Y (MPa)	Epsilon Z	Sigma Z (MPa)	Dzz (mm)	Ep
1	0.00	-1.70E-05	-2.79E-02	-2.90E-05	-7.31E-02	-2.15E-04	5.52E-01	1.260	-6
	3.75	2.89E-05	2.76E-01	-3.28E-06	1.77E-02	3.66E-05	3.82E-01	1.263	-7
	7.50	-2.86E-04	-1.52E+00	-1.86E-04	-1.44E+00	2.77E-04	1.85E-01	1.260	-5
2	7.50								
	17.50	-2.97E-04	-2.17E-02	-1.69E-04	-4.44E-03	5.71E-04	1.03E-01	1.196	-6
	27.50	-3.53E-04	-6.13E-02	-2.24E-04	-4.30E-02	5.11E-04	6.23E-02	1.144	-6
3	27.50								
	42.50	-2.81E-04	-2.47E-02	-1.98E-04	-1.83E-02	4.43E-04	3.07E-02	1.062	-7
	57.50	-3.55E-04	-4.33E-02	-2.55E-04	-3.59E-02	4.27E-04	1.65E-02	1.002	-9
4	57.50								
	68.12	-3.55E-04	8.44E-05	-2.55E-04	1.62E-03	6.89E-04	1.65E-02	1.002	-9
	80.36	-2.39E-04	2.51E-04	-1.61E-04	1.44E-03	4.56E-04	1.11E-02	0.881	-6

CONSUMOS Y FACTORES DE EQUIVALENCIA				
	Número de Repeticiones Admisibles	% Consumo 2.3500E+04 de Ejes	Factor Equivalencia	Deformación Unitaria Admisible
Fatiga MEPDG	5.0553E+06	0.4649	1.021	-1.0995E-03
Fatiga IIA	9.9520E+04	23.8135	1.021	-4.1114E-04
Fatiga SHELL	1.8815E+04	124.9029	1.027	-2.7289E-04
Ahuellamiento IIA	1.2484E+06	1.6824	1.144	1.1055E-03
Ahuellamiento SHELL	2.4450E+06	0.9611	1.127	1.4538E-03
Deflexión Admisible (mm)		SigmaZ Admisible (MPa)		
Método	IIA	IVANOV	Dormon-Kerhoven	CRR
	2.263	1.568	3.92E-02	3.58E-01
Concreto Asfáltico		Base y Subbase	Subrasante	
Deformación Permanente MEPDG (mm)	0.326	2.124 : 0.982 1.142	1.424	
Total Def. Permanente MEPDG (mm)	3.875			
Def. Permanente Máxima MEPDG (mm)	Local Roads	17.000		
	Requerido	Suministrado	Diferencia	
Número Estructural	2.559	3.563	1.004	

(+) Compresión (-) Tensión

Nota: Se exponen los criterios del diseño estructural de pavimentos

Figura 16.*Criterios para la evaluación estructural DNER PRO 11 – 79*

HIPÓTESIS	CALIDAD ESTRUCTURAL	NECESIDAD DE ESTUDIOS COMPLEMENTARIO	CRITERIO PARA EL CALCULO DEL REFUERZO	MEDIDAS CORRECTIVAS
I	BUENA	NO	-----	SOLO EN SUPERFICIE
II	Si $D_p \leq 3 D_{adm}$	NO	DEFLECTOMETRO	REFUERZO
III	Si $D_p > 3$ MALO	SI	DEFLECTOMETRO Y RESISTENCIA	REFUERZO Y RECONSTRUCCIÓN
IV	REGULAR PARA MALO	SI	RESISTENCIA	REFUERZO Y RECONSTRUCCIÓN
V	MALO	SI	RESISTENCIA	REFUERZO Y RECONSTRUCCIÓN
VI	MALO, PAVIMENTO CON DEFORMACION PERMANENTE	SI	RESISTENCIA	RECONSTRUCCION

Nota: Se exponen los criterios para la evaluación estructural en base a criterios de dos regiones.

Con lo anteriormente evaluado se tiene el siguiente cuadro comparativo de resultados:

4.3.1.1 Carril Derecho:

Tabla 13.*Cuadro comparativo – carril derecho*

Parámetro Evaluado	Viga Benkelman	Correlación Modelo Huang	Programa DEPAV	Condición Estructural
Deflexión x 10^{-2} mm.	311.2	226	387.5	$D > D_{adm}$
Radio de Curvatura (m.)	160		114.2	$R_c > 100$

Nota: Resultados en base a lo investigado

De acuerdo con criterio de Huang el pavimento se ha deflectado más de lo admisible, mientras que según la evaluación del paquete estructural contratado con el programa DEPAV la deflexión medida es menor a la admisible, en cuanto al radio d curvatura todos los criterios evaluados resultan en valores mayores a 100m. recomendado.

4.3.1.2 Carril Izquierdo

Tabla 14.

Cuadro comparativo – carril izquierdo

Parámetro Evaluado	Viga Benkelman	Correlación Modelo Huang	Programa DEPAV	Condición Estructural
Deflexión x 10 ⁻² mm.	305.5	226	387.5	D > Dadm
Radio de Curvatura (m.)	120		114.2	Rc>100

Nota: Resultados en base a lo investigado

De acuerdo con criterio de Huang el pavimento se ha deflectado más de lo admisible, mientras que según la evaluación del paquete estructural contratado con el programa DEPAV la deflexión medida es menor a la admisible, en cuanto al radio de curvatura todos los criterios evaluados resultan en valores mayores a 100m. recomendado.

En base a lo anterior se puede establecer que en aplicación del criterio contenido en figura 14, la calidad estructural del tramo es de tipo I, evaluado como buena, y si se aplica la correlación de Huang, la estructura de pavimento estaría en una condición tipo II condición regular y que necesitaría de un refuerzo, particularmente en aquellas zonas donde se observan tramos con radios de curvatura menores al crítico.

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos permiten aseverar la eficacia de emplear la viga Benkelman como herramienta para la evaluación de las deflexiones en la estructura de pavimento flexible, las deflexiones según el modelo de Huang y el radio de curvatura registraron valores críticos que superan lo admisible, sin embargo, en el chequeo en el programa DEPAV estos resultados se presentaron en un rango admisible para una condición de tipo I (Buena) , una explicación, a esta situación es que los materiales del pavimento no han sido completamente consolidados por el bajo tránsito vehicular presente al momento del estudio.

Los resultados del programa DEPAV se relacionan con los datos obtenidos por las mediciones de deflexiones con viga Benkelman de los autores (Villegas & Xavier (2019) quienes, obtuvieron una deflexión de tipo I, es decir, una buena condición de pavimento, de igual manera, el radio de curvatura se encontraba en los rangos admisibles, indicando buena condición de la estructura de pavimento-.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

En base a los análisis realizados podemos concluir que, la metodología del ensayo viga Benkelman es una herramienta poderosa para evaluar el comportamiento de estructuras de pavimento no solo flexibles sino rígidas y por tanto su aplicación y uso debe ser más generalizado. Este método permite establecer sectores o tramos donde una estructura de pavimento presenta deficiencias constructivas y/o de diseño, y realizar cálculos de refuerzos estructurales de ser el caso.

En cuanto al tramo de vía donde se pudo realizar el presente estudio se observa que la deflexión admisible esperada en función del tráfico estimado en la vía al momento del ensayo es de 226×10^{-2} mm., mientras que las deflexiones características evaluadas con los datos de la viga Benkelman, arrojan resultados de 311×10^{-2} mm. (carril derecho) y 305×10^{-2} mm. (carril izquierdo), esto se puede justificar considerando que el tráfico sobre la vía que ha circulado a la fecha por la vía es muy bajo y por tanto no se ha logrado consolidar las capas de pavimento construidas. Tomando en cuenta que la deflexión de un pavimento es un indicador del comportamiento de la estructura pavimento-subrasante, frente a una determinada carga. En cuanto al análisis del radio de curvatura obtenido del cálculo de este parámetro en función de las deflexiones D_0 y D_{25} en la vía objeto del presente estudio, se alcanzaron radios críticos de 160m. para el carril derecho y de 120m. para el carril izquierdo, mientras que los radios de curvatura promedio evaluados son de 285m. en carril derecho y de 290m. para el carril izquierdo.

En cuanto a la deflexión esperada modelada en función del programa DEPAV, como respuesta de la estructura de pavimento contratada, la misma alcanzo un valor de 387.5×10^{-2} mm., valor superior a la deflexión admisible obtenida mediante la ecuación de Yan Huang, sin embargo, se sugiere considerar la deflexión estimada

mediante el programa DEPAV ya que toma en cuenta el espesor del pavimento contratado, por lo anterior podemos concluir que la deflexión está dentro de lo admisible y por tanto el comportamiento estructural del tramo evaluado en general es bueno. Finalmente, la medida del Radio de Curvatura complementa la información obtenida de la deflexión para establecer la condición estructural del pavimento.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda que las entidades contratantes de vías implementen dentro de su programa de conservación y mantenimiento vial, ensayos con viga Benkelman para poder intervenir oportunamente en aquellos sitios con deficiencia estructural y evitar el deterioro progresivo de las vías a su cargo.

Motivar a nuestras autoridades universitarias a implementar este equipo como activo del Laboratorio de suelos de la facultad de Ingeniería Civil para poder llevar a cargo más investigaciones de este tipo ya que al no poseerlo se dificulta al estudiantado optar por temas de investigación en esta línea de investigación.

En cuanto a la respuesta estructural evaluada para el nivel de tráfico estimado al tiempo de construcción y ensayo realizado, comparando la estructura de pavimento contratada con la estructura de pavimento construida, podemos observar que la estructura de pavimento construida está desarrollando la rigidez necesaria para evitar deflexiones más allá de las consideradas admisibles de acuerdo con los datos obtenidos de la evaluación en el programa DEPAV.

En cuanto al comportamiento de la capa asfáltica mediante la determinación del radio de curvatura se pudo establecer que en las mediciones de viga Benkelman los radios de curvaturas promedios son mayores a los críticos sin embargo en los tramos donde tenemos radios de curvaturas menores a los críticos la falla por fatiga de la capa asfáltica se presentaría de manera prematura.

Se recomienda se verifique el comportamiento estructural de la estructura de pavimento, mediante medidas de deflexiones a las capas granulares del pavimento para garantizar que los materiales empleados hayan alcanzado la rigidez esperada a nivel de diseño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balarezo. (2017). *EVALUACIÓN ESTRUCTURAL USANDO VIGA BENKELMAN APLICADA A UN PAVIMENTO*. Piura, Perú: Universidad de Piura. Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3135>
- Benito Cárdenas, V. (2020). Análisis comparativo entre las estimaciones del porcentaje de vida remanente útil obtenidas a partir de una evaluación funcional y una evaluación estructural, del pavimento flexible en el tramo T'icapata – Pumamarca en la carretera ENACO – Abra Ccorao. *Para optar por el título de Ingeniero Civil*. Universidad Andina del Cusco, Cusco. Obtenido de <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/3925>
- Bull, A. (2003). *Congestion vehicular*. Santiago de Chile: Cepal. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/27813>
- Cárdenas Capcha, J. I. (2017). Influencia del tráfico vehicular con respecto a las deflexiones de los pavimentos flexibles en zona urbana de la ciudad de Huancayo, Junín – 2017. *Tesis de Maestro en Ingeniería Vial, Mención en Carreteras, Puentes y Túneles*. Universidad Ricardo de Palma, Lima, Perú. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2008/T030_71095137_M%20C%3%81RDENAS%20CAPCHA,%20JES%3%9AS%20ID%3%89N.pdf?sequence=1
- Coapaza Ramos, S. N. (11 de Junio de 2021). *Viga benkelman*. Obtenido de Slidshare: <https://www.slideshare.net/SadhamNimer/viga-benkelman>
- Cotecno. (s.f.). *Viga de benkelman -H-3220A*. Obtenido de Cotecno: <https://www.cotecno.cl/viga-de-benkelman-h-3220a/>
- ELE International. (s.f.). *Asfalto - Prueba de Pavimento*. Obtenido de Asfalto - Prueba de Pavimento: <http://schiller.com.ec/pdf/asfalto/10%20Viga%20de%20Benkelman.pdf>
- Escobar Aguirre, K. A., García García, A. A., & Guzmán López, C. R. (2007). ANALISIS COMPARATIVO DE LA EVALUACION DE LA ESTRUCTURA POR MEDIO DE LA VIGA BENKELMAN Y EL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO (FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER, FWD). *Para optar por el título de Ingeniero Civil*. Universidad de El Salvador, San Salvador. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/16433734.pdf>
- García Espinosa, J. C. (2003). Evaluación técnica de pavimentos flexibles utilizando la viga Benkelman. *Trabajo de titulación de Ingeniero civil*. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/17286>

- García Morales, A. R. (2015). *DISEÑO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO POR EL METODO AASHTO-93 EMPLEANDO EL SOFTWARE DISAASHTO-93*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/143451539.pdf>
- Garnica Anguas, P., Gómez López, J. A., & Sesma Martínez, J. A. (2002). *MECANICA DE MATERIALES DE PAVIMENTOS*. SANFANDILA, México: Instituto Mexicano del Transporte. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt197.pdf>
- Guzzarlapudi. (2016). *COMPARACIÓN EN CAMPO CON DEFLECTÓMETRO LIVIANO EN LA VIA ANADIENDO VIGA BENKELMAN*. PERU.
- Hoffman, M. (1985). *ESTUDIOS DE EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO A TRAVES DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS*.
- Hurtado Arias, W. M. (2016). Evaluación funcional y estructural para determinar el deterioro de la estructura del pavimento en la avenida Abdón Calderón, parroquia Conocoto, cantón Quito, provincia de Pichincha. *Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil*. Universidad Internacional del Ecuador, Quito. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1263/1/T-UIDE-1082.pdf>
- Imata Cruz, A. L. (2020). INFORME POR SERVICIOS PROFESIONALES: CONTROL DE CALIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE Y MATERIALES BITUMINOSOS. *Para optar por el título profesional de Ingeniero de Materiales*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA, Arequipa, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/11748/IMimcra11.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN*. Quito. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2648.pdf>
- Meza Palomino, H. C. (2017). Evaluación Deflectométrica Obtenida con la Viga Benkelman y Diseño de Estructuras de Pavimentos por el Método Aashto 2008 en la Avenida Hartley del Distrito de José Luis Bustamante y Rivero Arequipa. *Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil*. Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú. Obtenido de <https://1library.co/document/qmj31x9q-evaluacion-deflectometrica-benkelman-estructuras-pavimentos-distrito-bustamante-arequipa.html>
- Molina, R. X. (2022). *Evaluación deflectométrica en pavimentos flexibles mediante la viga benkelman en Manabi*. Portoviejo.
- Ordoñez Leon, J. A. (2017). La defensa oral de los trabajos de titulación de la Universidad de Cuenca. *Licenciada en Ciencias de la Educación en Lengua, Literatura y Lenguajes Audiovisuales*. Universidad de Cuenca, Cuenca,

Ecuador. Obtenido de
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27233/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf>

Palacios Carvajal, C. E. (2017). Diseño estructural del tramo 2 de la vía Mulaute – La Florida aplicando el método empírico – mecanicista AASHTO 2008 y AASHTO 93. *Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito , Quito. Obtenido de
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14296/1/UPS%20-%20ST003129.pdf>

Pizarro, J. D. (13 de Abril de 2018). *VIGA BENKELMAN PROCESOSS*. Obtenido de Slideshare: <https://es.slideshare.net/ALEMBOY/viga-benkelman-procesoss>

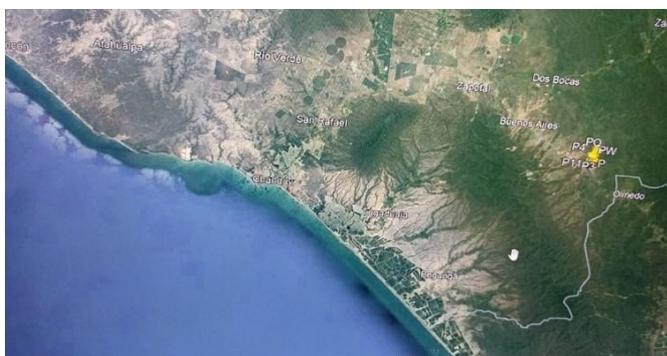
Tecnovias. (s.f.). *Servicios de Laboratorio Central*. Obtenido de Tecnovias: <https://www.tecnovias.pe/servicios/servicios-de-laboratorio-central/>

Vintimilla. (2018). *Análisis de respuestas mecánicas de los pavimentos colocadas en vía urbana del canton Cuenca*. Cuenca- Ecuador.

ANEXOS

Resumen fotográfico de actividades realizadas en la vía en la Comuna Tugaduaja – Engunga

“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN
VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE
SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”



Actividad: ““COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA
TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA
UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”

”

Fecha: 10/03/2022

Santa Elena: Tugaduaja – Engunga



Resumen fotográfico de actividades realizadas

“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”



Actividad: Campaña de sensibilización sobre el manejo de residuos sólidos dirig.

Fecha: 07/09/2019

Santa Elena: Salinas / feria ciudadana



Resumen fotográfico de actividades realizadas

“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”



Actividad: ESTUDIO DE ODOMETROS CON SUS RESPECTIVAS ABSCISAS“

Fecha: 11/03/2022

Santa Elena: Salinas / feria ciudadana



Resumen fotográfico de actividades realizadas

Actividad: “COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”



Actividad: ABSCISAS EN LA VIA CON PINTURA

Fecha:14/03/2022

Santa Elena: Salinas / feria ciudadana



**Resumen fotográfico de actividades realizadas en la vía en la Comuna
Tugaduaja – Engunga**

“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN
VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE
SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”



Actividad: “ABSCISAS EN LA VIA DE TUGADUAJA”

Fecha: 14/03/2022

Santa Elena: Tugaduaja – Engunga



**Resumen fotográfico de actividades realizadas en la vía en la Comuna
Tugaduaja – Engunga**

“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN
VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE
SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”



Actividad: Evaluación del pavimento flexible en la vía Tugaduaja - Engunga”

Fecha: 17/03/2022

Santa Elena: Tugaduaja – Engunga



Resumen fotográfico de actividades realizadas en la vía en la Comuna Tugaduaja – Engunga

“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”



Actividad: Analizar materiales en la Cantera El Tren vía Guayaquil”

Fecha: 17/03/2022

Santa Elena: Tugaduaja – Engunga



**Resumen fotográfico de actividades realizadas en la vía en la Comuna
Tugaduaja – Engunga**

**“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN
VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE
SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”**



**Actividad: “COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA
TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA
UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”**

Fecha: 17/03/2022

Santa Elena: Tugaduaja – Engunga



Resumen fotográfico de actividades realizadas en la vía en la Comuna Tugaduaja – Engunga

“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”



Actividad: Análisis de la Viga BENKELMAN en sitio”

Fecha: 8/03/2022

Santa Elena: Tugaduaja – Engunga



**Resumen fotográfico de actividades realizadas en la vía en la Comuna
Tugaduaja – Engunga**

“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN
VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE
SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”



“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA –
ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA
BENKELMAN”

Fecha: 17/03/2022

Santa Elena: Tugaduaja – Engunga



**Resumen fotográfico de actividades realizadas en la vía en la Comuna
Tugaduaja – Engunga**

“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN
VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE
SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”



“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA –
ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA
BENKELMAN”

Fecha: 17/03/2022

Santa Elena: Tugaduaja – Engunga



**Resumen fotográfico de actividades realizadas en la vía en la Comuna
Tugaduaja – Engunga**

“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN
VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE
SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”



“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA –
ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA
BENKELMAN”

Fecha: 17/03/2022

Santa Elena: Tugaduaja – Engunga



**Resumen fotográfico de actividades realizadas en la vía en la Comuna
Tugaduaja – Engunga**

“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”



“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”

Fecha: 17/03/2022

Santa Elena: Tugaduaja – Engunga



**Resumen fotográfico de actividades realizadas en la vía en la Comuna
Tugaduaja – Engunga**

**“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN
VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE
SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”**



**“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA –
ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA
BENKELMAN”**

Fecha: 17/03/2022

Santa Elena: Tugaduaja – Engunga



**Resumen fotográfico de actividades realizadas en la vía en la Comuna
Tugaduaja – Engunga**

**“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN
VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE
SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”**



**“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA –
ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA
BENKELMAN”**

Fecha: 17/03/2022

Santa Elena: Tugaduaja – Engunga



**Resumen fotográfico de actividades realizadas en la vía en la Comuna
Tugaduaja – Engunga**

“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN
VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE
SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”



“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN VIA TUGADUAJA –
ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA
BENKELMAN”

Fecha: 17/03/2022

Santa Elena: Tugaduaja – Engunga



**Resumen fotográfico de actividades realizadas en la vía en la Comuna
Tugaduaja – Engunga**

**“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN
VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE
SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”**



Actividad: ANALISIS EN CAMPO CON DIRECTIVOS DE LA PREFECTURA DE SANTA ELENA CON LA VIGA BEN

Fecha: 17/03/2022

Santa Elena: Tugaduaja – Engunga



**Resumen fotográfico de actividades realizadas en la vía en la Comuna
Tugaduaja – Engunga**

“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN
VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE
SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”



Actividad: VISITA DE LA COMISION DE TRANSITO PARA EL ANALISIS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE E
TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKEL

Fecha: 17/03/2022

Santa Elena: Tugaduaja – Engunga



**Resumen fotográfico de actividades realizadas en la vía en la Comuna
Tugaduaja – Engunga**

“COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN
VIA TUGADUAJA – ENGUNGA DEL CANTÓN Y DE LA PROVINCIA DE
SANTA ELENA UTILIZANDO LA VIGA BENKELMAN”

