



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Análisis por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos
pavimentaciones, en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-
2020”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bravo Silvestre, Carlos Axel

<https://orcid.org/0000-0002-4298-8606>

ASESOR:

Mg. Ing. Pinto Barrantes, Raúl Antonio

<https://orcid.org/0000-0002-9573-0182>

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

Lima - Perú

2020

1. Dedicatoria

Este trabajo se lo dedica a mi madre y familiares, que siempre estuvieron apoyándome en el tiempo de mi investigación.

2. Agradecimientos

Agradezco la asesoría y apoyo constante del Mg.Ing. Raúl Pinto Barrantes, que gracias a su paciencia y buen desempeño como docente aportó para que culmine mi investigación.

También el agradecimiento a los jurados, ya que gracias a su aporte dando sus observaciones sobre mi investigación, me brindaron sus enseñanzas para el desarrollo de mi investigación; sobre todo agradecer a mi madre que gracias a su apoyo constante tanto moral como económicamente pude desenvolverme en el transcurso de la carrera.

ÍNDICE

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos	ii
Índice	iii
Resumen	iv
Abstract.....	v
I. Introducción	1
II. Marco Teórico	10
III. Metodología	35
3.1 Diseño de Investigación	36
3.2 Variables, Operacionalización	36
3.3 Población, muestra y muestreo	38
3.4 Técnica e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	39
3.5 Procedimiento	39
3.6 Método de análisis de datos.....	40
3.7 Aspectos éticos	45
IV. Resultados.....	46
V. Discusión	68
VI. Conclusiones	73
VII. Reconmedaciones	75
REFERENCIAS	77
ANEXOS.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla1: Intensidad de tránsito según el tipo de carpeta	31
Tabla 2: Intensidad de tránsito según el tipo de carpeta	32
Tabla 3: Requerimientos de Agregado fino	32
Tabla 4: Requerimientos de Agregado grueso	33
Tabla 5: Categorías de subrasante	34
Tabla 6. Tabla de medición de margen derecho de carril en av. Carlos Izaguirre	47
Tabla 7. Tabla de medición de margen izquierdo de carril en av. Carlos Izaguirre	48
Tabla 8. Tabla de promedio de la medición de deflexiones sin corregir (DER)	48
Tabla 9. Tabla de promedio de la medición de deflexiones sin corregir (IZQ)	49
Tabla 10. Tabla de las mediciones corregidas de acuerdo a la temperatura que presentan	50
Tabla 11. Tabla de las mediciones corregidas de acuerdo a la temperatura que presentan.	50
Tabla 12. Tabla de Radio de curvatura (DER)	51
Tabla 13. Tabla de Radio de curvatura (IZQ)	51
Tabla 14. Tabla de promedio de deflexiones corregidas y radio de curvatura (DER)	52
Tabla 15. Tabla de promedio de deflexiones corregidas y radio de curvatura (IZQ)	53

Tabla 16. Definición de Deflexiones Características según Tipo de carretera	
- MTC	54
Tabla 17. Tabla de Deformación admisible	55
Tabla 18: Tabla de Deflexiones generales-Av. Carlos Izaguirre (margen DER)	56
Tabla 19. Tabla de Deflexiones generales-Av. Carlos Izaguirre (margen IZQ)	57
Tabla 20. Tabla de promedio de la medición de deflexiones sin corregir (DER)	60
Tabla 21. Tabla de promedio de la medición de deflexiones sin corregir (IZQ)	60
Tabla 22. Tabla de las mediciones corregidas de acuerdo a la temperatura que presentan	61
Tabla 23. Tabla de las mediciones corregidas de acuerdo a la temperatura que presentan	62
Tabla 24. Tabla de Radio de curvatura (DER)	63
Tabla 25. Tabla de Radio de curvatura (IZQ)	63
Tabla 26. Tabla de promedio de deflexiones corregidas y radio de curvatura (DER)	
Tabla 27. Tabla de promedio de deflexiones corregidas y radio de curvatura (IZQ)	
Tabla 28. Tabla de Deformación admisible	65
Tabla 29. Tabla de Deflexiones generales-Av. Canta Callao (margen DER)	Tabla
30. Tabla de Deflexiones generales-Av. Canta Callao (margen IZQ)	67

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1: Posición de la Índice de Calidad de la Infraestructura Carretera

Figura 2: Pavimentaciones en Perú en los últimos años hasta el 2016

Figura 3: Trabajo a carga sobre una viga Benkelman

Figura 4: Capas de pavimentos para el modelo Hogg

Figura 5: Análisis del pavimento a cargas

Figura 6: Esquema sobre relación entre el método Hogg y Viga

Benkelman

Figura 7: Tipos de pavimento

Figura 8: Matriz de Operacionalización

Figura 9. Gráfica de Radio de Curvatura en Av. Carlos Izaguirre DER

Figura 9. Gráfica de Radio de Curvatura en Av. Carlos Izaguirre IZQ

Figura 10. Gráfico de la deflexión admisible de la Av. Carlos Izaguirre
– MTC

Figura 11. Deflectograma de la av. Carlos Izaguirre (margen DER)

Figura 12. Deflectograma de la av. Carlos Izaguirre (margen IZQ)

Figura 13. Gráfica de comparación de las deflexiones de av. Carlos
Izaguirre

Figura 14. Gráfico de la deflexión admisible de la Av. Canta Callao
- MTC

Figura 15. Deflectograma de la av. Canta Callao (margen DER)

Figura 16. Deflectograma de la av. Canta Callao (margen IZQ)

Resumen

La problemática se genera debido a una alta demanda en la pavimentación de carreteras, en distintas ciudades del Perú, lo cual ocasiona gran impacto, ya sea ambiental, social, económico, teniendo como motivo principal de investigación analizar el deterioro de pavimentaciones, que no cumplen con determinado tiempo de vida a las que fueron designadas durante su diseño, para ello usaré métodos de ensayos no destructivos como principal referente a la viga Benkelman.

Esta investigación tiene como objetivo principal, el análisis por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, para poder determinar cuánto es el soporte a carga y deformación vertical en ella.

Se realizará ensayos en dos diferentes pavimentaciones, debido a que la pavimentación en av., Canta Callao tiene como principal flujo vehicular a vehículos de cargas pesadas, mientras que en la av. Carlos Izaguirre transitan vehículos de cargas ligeras.

Palabras Claves: deflexión de pavimentos, deflexión admisibles y deflexión características, equipos deflectómetros

Abstract

The problem is generated due to a high demand in the paving of roads, in different cities of Peru, which causes great impact, whether environmental, social, economic, having as main research reason to analyze the deterioration of pavements, which do not meet With a certain time of life to which they were designated during their design, I will use non-destructive testing methods as the main reference to the Benkelman beam.

This research has as its main objective, the analysis by deflectometry applying Benkelman beam in two flexible pavements in av. Canta Callao and av. Carlos Izaguirre, to be able to determine how much is the support to load and vertical deformation in her.

Trials will be carried out in two different pavements, because the paving in av. Canta Callao has as its main vehicular flow to heavy-duty vehicles, while in Av. Carlos Izaguirre transit light cargo vehicles.

Keywords: pavement deflection, vertical deformation, deflectometer equipment

I.INTRODUCCIÓN

En la actualidad el Estado de Perú se ve en la necesidad de mejorar la mayor parte de su infraestructura vial, en la cual la participación de tanto el sector privado como el público es de suma importancia, sin embargo, el sector privado influye de manera trascendental plasmando en los modelos de contratación según la infraestructura, para ello se solicita tener la adecuada información sobre el estado en el que se encuentra la infraestructura a trabajar.

La ejecución o la reparación de cualquier infraestructura representa un sin número de concreciones, lo cual incluye diversas propuestas, esto dependiendo del costo y de los gastos que se hará en cada proyecto.

Por ello se debe tomar como un punto importante que el tránsito es de los factores de mayor relevancia en el crecimiento de una región, provincia, centro urbano, etc.

En el contexto Internacional las entidades encargadas de cada país han cumplido con su objetivo principal, lo cual son la construcción de buenas infraestructuras viales de su determinado país. Como uno de los principales referentes tenemos a Colombia, Brasil, Chile y El Salvador.

Por ejemplo, la evaluación de infraestructura en El Salvador se ha realizado mediante ensayos con equipos de deflectometría, en la cual se aplicó el uso de diferentes métodos, uno de ellos fue la viga Benkelman, perteneciente a la rama de deflexión estática. Por otro lado, otros países como Brasil también cuentan con estos métodos, como el deflectómetro, la cual se entiende que se aplica sobre la infraestructura una carga que simula las cargas a que son sometidas por la transitabilidad de vehículos.

En México en los últimos años el índice de calidad en cuanto a infraestructura ha ido descendiendo de manera notoria, esto debido en cuanto a competitividad, sin embargo, en el rubro de infraestructura vial o de carretera tuvo una buena calificación, ya que se contó con una mejor planificación e inversión por parte de los ingenieros encargados, cabe recalcar que las pavimentaciones en estos casos fueron estudiados de manera detallada, en su mayoría se utilizó pavimentación flexible, lo cual es acorde a la demanda, estos aplicados con estudio de deflectómetro de impacto no destructivo en otras zonas de pavimentación para tener como referencias para sus futuros proyectos en infraestructura vial. A través

de los años México se caracterizó por incrementar la red de carreteras, evaluando eventualmente los pavimentos realizados para mantener su adecuado funcionamiento, como se puede observar en la imagen, ver figura 1.

Índice de competitividad en México en cuanto a la calidad en diversos campos estructurales				
Ranking WEF	2016-2017	2017-2018	2017-2018 vs. 2016-2017	Posiciones ganadas (+) ó perdidas (-)
1. Infraestructura de calidad a nivel mundial	57	62		(-) 5
2. Calidad de la infraestructura Carretera	58	52		(+) 6
3. Competitividad en estructura de ferrovías	58	65		(-) 7
4. Competitividad en estructura de portuaria	57	62		(-)5
5. Competitividad en estructura de aeropuertos	61	67		(-) 6
6. Competitividad en estructura metálicas	68	72		(-) 4
7. Infraestructura en Telecomunicaciones	65	67		(-) 2

Figura 1: Posición de la Índice de Calidad de la Infraestructura Carretera

Fuente: Centro de Estudios del Sector de la Construcción (CEESCO) de la CMI

Como se puede observar en la gráfica uno de los rubros más importantes en México que a tomado mayor impacto en cuanto a calidad fue la infraestructura vial, implementando nuevos métodos en cuanto a la pavimentación de carreteras, lo cual nos hace tomar como referencias estudios realizados sobre el diseño y pavimentación de sus carreteras.

Por otro lado, en el contexto nacional, nuestro país se encuentra en un crecimiento en cuanto al índice de calidad de pavimentación, sin embargo, es bien entendido que algunas empresas no cumplen con las normativas establecidas, lo cual genera que se haga una mal infraestructura vial, donde se puede aprovechar pavimentaciones muy pobres, con demasiadas grietas y que cumplen los años de vida establecidas cuando se hace el estudio de estos antes de realizar determinado proyecto. A continuación, se mostrará un gráfico donde se mostrará el antes y después de nuestro país en cuanto a pavimentaciones, ver figura 2.

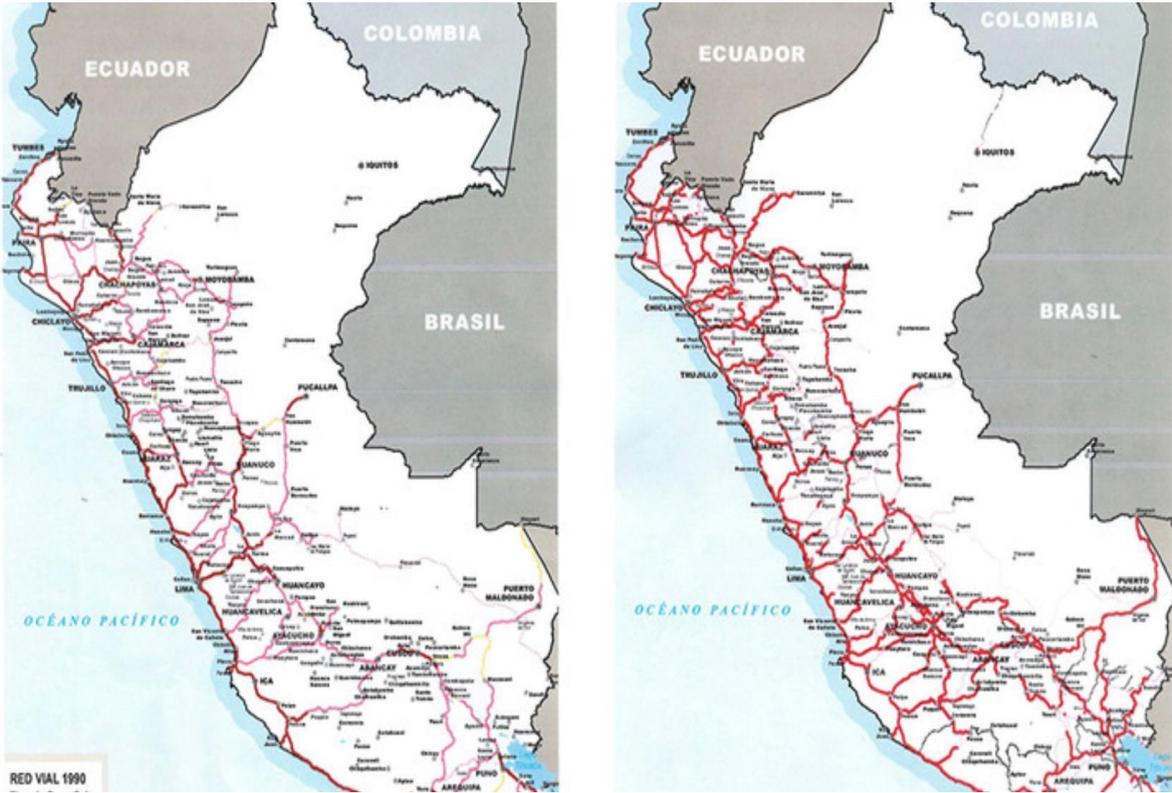


Figura 2: Pavimentaciones en Perú en los últimos años hasta el 2016

Fuente: Ministerio de Transporte 2016

En dicha gráfica se muestra el avance en cuanto a infraestructura vial, la parte de color rosado son redes viales sin pavimentar, mientras que en el segundo gráfico se observa cómo ha ido aumentando, ya que lo de color rojo representa a las redes viales pavimentadas, esto hasta el año 2016, sin embargo, el Ministerio de transporte nos indica que sigue en crecimiento la pavimentación de redes viales.

Por lo que se conoció en la ciudad de Lima, en el distrito de San Martín e Porres estuvo en crecimiento de pavimentación de carreteras, ya que se conoce que en su mayoría sus calles se encontraban sin ser pavimentadas, lo que provocaba una deficiencia en cuanto al transporte para una buena circulación. En la actualidad la Avenida Canta Callao la cual es conocida por el tránsito de vehículos de cargas pesadas, se encuentra en proceso de pavimentación de todas sus vías, es por ello que debemos analizar la problemática, en cuanto a los años de vida y los soportes a carga de cada pavimentación realizada. Para ello se realizó esta investigación, ya que, en el ámbito social, contribuyera a que se pueda conocer el diseño de la infraestructura vial, se conocerá el uso de la viga benkelman, para ver los errores, si es que necesita mantenimiento o rehabilitación; sobre todo el conocimiento sobre el análisis deflectométrico con el uso de un sistema de deflexión no destructiva, donde se obtuvo los parámetros de deflexión usando la viga en las dos pavimentaciones estudiadas, donde se conoció a lo largo del ensayo los puntos con sus respectivas deflexiones, las cuales fueron la av. Carlos Izaguirre y la av. Canta Callao, debido al flujo vehicular que estos presentaban

II. MARCO TEÓRICO

En el ámbito internacional tenemos a Cruz y Ocaña (2019) en su tesis “Evaluación estructural de pavimentos flexibles construidos en la localidad de Usme utilizando el deflectómetro de impacto o FWD” , para obtener el grado de Magister en Ingeniería Civil en la Universidad Santo Tomás , tuvieron como objetivo general analizar los distintos comportamientos estructurales de los pavimentos mediante análisis comparativo en base a agregados pétreos y RAP para ocho vías secundarias ,mediante estudio de deflexiones resultantes de estudio con el deflectómetro de impacto con la finalidad de determinar los impactos de las estructuras. Dicha investigación se dividió en 4 etapas en dos diferentes pavimentos una a base de materiales granulares y otra a base RAP estabilizado, estas se realizaron mediante ensayos no destructivo FWD. En la primera parte se recolectó información de mediciones de deflexiones de pavimentos, luego hicieron el ensayo de deflectometría para 8 tramos, para ello hicieron un retrocálculo, permitiendo que en la última etapa se analice los resultados y se efectuó una comparación. La población en esta investigación fueron 8 tramos de vías de diferente pavimentación. La muestra usada en esta investigación ha sido el estudio de pavimentaciones ya existentes, para hacerle un análisis y retrocálculo. La técnica de muestro es no probabilística. El instrumento de medición para esta investigación es el uso de un deflectómetro de impacto no destructivo. De esta manera, la investigación, al hacer un análisis comparativo entre los distintos tipos de pavimentación, tuvo como resultado principal que las pavimentaciones granulares tienen una condición de alarma, ya que cuenta con una deflexión con rango superior a 500um, esto significa que la subrasante se encuentra sometida a cierta cantidad de cargas, con lo cual genera una deformación en el pavimento.

Tinoco (2018) en su tesis “Metodología para la evaluación del daño estructural en pavimentos flexibles, a través de pruebas no destructivas” para obtener el grado de magister de Ingeniero Civil en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en México, tuvo como objetivo general de investigación realizar el retrocálculo proponiendo una metodología con las deflexiones de la superficie de la pavimentación, así también como la evaluación del daño obtenido a partir de los módulos elásticos. La investigación es de tipo aplicada, del diseño experimental con un enfoque cuantitativo. La población de la investigación fue analizar 15 diferentes tramos localizados en distintos puntos de México. El instrumento de

medición fueron los softwares que le ayudaron a realizar el retrocálculo, uno de esos programas fue el Calback. Esta tesis tuvo como resultado final llegar a la conclusión que en los casos de deflexiones de las pavimentaciones suelen ser inconsistentes, de esta manera afecta a la confiabilidad de los resultados.

Ávila, Albarracín y Bojorque (2015) en su tesis “Evaluación de pavimentos en base a métodos no destructivos y análisis inverso”, para obtener el grado de Ingeniero Civil en la Universidad de Cuenca, tuvo como objetivo general el análisis a través de aparatos de deflexión donde calculen la capacidad portante del pavimento. Dicha investigación es de tipo aplicada del diseño experimental con un enfoque cuantitativo. El instrumento de medición fue la vía Chicti-Sevilla de Oro con una longitud de 27 km de la carretera El Descanso. Esta tesis tuvo como resultado final mediante el análisis del software de la deflectometría de impacto que la vía presenta condiciones aceptables, comparando la capacidad portante sobre ella.

Gómez (2015) en su tesis “Criterio de optimización del diseño de sobrecarpetas asfálticas para Bogotá, basados en ensayos no destructivos”, para obtener el grado de Magister en Ingeniería Civil en la Universidad de Nacional de Colombia, tuvo como objetivo general realizar una propuesta de una agrupación de diseños de espesores de sobrecarpetas, caracterizando los cuencos típicos de deflexión para pavimentos flexibles. Por ello cabe recalcar que los métodos de medición de deflexión no destructivas para una evaluación estructural, se tienden a desarrollar con el fin de aumentar y ser más eficaces en relación a la velocidad de su medición, con ello también se buscó optimizar la precisión, simulando de manera real las cargas a las que son sometidas durante el tránsito del flujo vehicular, esto llevó a reducir los costos para realizar las mediciones.

Se debe resaltar que para realizar una buena medición de deflexión y del cuenco depende principalmente de equipos deflectómetros previamente calibrados, los cuales se usarán en este proceso.

En esta cita nos indica el autor que básicamente los métodos donde se utiliza el deflectómetro no destructivo de impacto sirven para analizar el tiempo de vida de una pavimentación, cuantas cargas puede soportar, haciendo una simulación del flujo vehicular. La investigación es de tipo aplicada del diseño

experimental con un enfoque cuantitativo. El instrumento de medición fueron las vías locales de Bogotá. La muestra usada en esta investigación ha sido el estudio de pavimentaciones ya existentes, para hacerle un análisis. El instrumento de medición para esta investigación es el uso de un deflectómetro de impacto no destructivo. Tuvo como resultado principal que la estructuras para soportar un mayor volumen de tráfico presentan menores deflexiones esto se debe al mayor espesor requerido.

Leal (2008) en su tesis “Relación entre el módulo resiliente hallado por retrocálculo y el encontrado en ensayos de laboratorio”, para obtener el grado de Magister en Ingeniería Civil en la Universidad Nacional de Colombia, tuvo como objetivo general analizar y determinar los factores que relacionan los módulos resilientes que se obtienen por el retrocálculo y los obtenidos por ensayos de laboratorio, esto se efectuó mediante el uso de deflectómetro de impacto, para ello también tuvo como influencia la temperatura, debido que se presentó humedad. La investigación es de tipo aplicada del diseño experimental con un enfoque cuantitativo. Los resultados de estas investigaciones obtuvieron el desarrollo de técnicas , como influencia de equipos a nivel internacional, como uno de los equipos deflectómetros más importantes el de impacto destructivo.

Horak(2003) en tesis “Benchmarking the structural condition of flexible pavements with deflection bowl parameters”, presenta como objetivo general correlacionar el estudio de deflexión de los pavimentos con los módulos existentes, aplicando el uso de equipos modernos no destructivos como el FWD para saber el estado estructural. La investigación es de tipo aplicada del diseño experimental con un enfoque cuantitativo. Se obtuvo los resultados donde se llegó a la conclusión de que el uso del FWD es más efectivo puesto que nos indica la deflexión máxima y el estado estructural del pavimento.

Hoffman(2006) en su tesis “A Direct Method for Evaluating the Structural Needs of Flexible Pavements Based on FWD Deflections”, presenta como objetivo general realizar el estudio del estado estructural mediante el método simple conocido como Yonapave para evaluar las necesidades estructurales de los pavimentos flexibles. La investigación es de tipo aplicada del diseño experimental con un enfoque cuantitativo. Como resultado de esta investigación se llegó a la conclusión que el

método Yonapave ayuda a cuantificar y presupuestar las necesidades de la superposición a nivel de red, puesto que se puede utilizar como base primordial para la evaluación estructural.

Montepara, Tebaldi, Marradi y Betti (2012) en su tesis "Effect on Pavement Performance of a Subbase Layer Composed by Natural Agreggate and RAP", tuvo como objetivo principal de este estudio es evaluar la posibilidad de usar RAP como un suplemento agregado virgen en una mezcla no unida para colocarla en capas de subbase. Para lograr este objetivo, se han realizado diferentes pruebas no destructivas para evaluar el rendimiento a corto y largo plazo de una mezcla mezclada con 50% de RAP (Sección_R), comparando los resultados con los obtenidos en una mezcla compuesta solo por agregados naturales (Sección_N) La configuración de las pruebas de FWD se planificó para aplicar diferentes niveles de tensión en las capas del pavimento, lo que permite investigar la dependencia de la tensión de los materiales no unidos.

Por otro lado en el ámbito nacional tenemos a Jiménez (2014) en su tesis "Diagnóstico estructural de afirmado estabilizado con cloruro de magnesio mediante el modelo matemático de Hogg y Viga Benkelman", para obtener el grado de Ingeniero Civil en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, tuvo como objetivo general evaluar obtener los módulos elásticos de la subrasante, debido a que se aplicaron cloruro de magnesio en el afirmado para analizar el comportamiento de este en el tramo de Supe- Caral, por ende se obtendrá el CBR de acuerdo a los diferentes puntos donde se realizó los ensayos, gracias a esto se puede identificar las zonas que necesitan rehabilitación, mantenimiento o en otros casos el mejoramiento de la subrasante, además se calculó la diferencia de costo entre realizar una base estabilizada con cloruro de magnesio y otra simplemente afirmada, resultando más barato la primera opción en un periodo de diez años.

Balarezo (2017) en su tesis "Evaluación estructural usando viga Benkelman aplicada a un pavimento", para obtener el grado de Ingeniero Civil en la Universidad de Piura, tuvo como objetivo general evaluar una pavimentación flexible, analizando las fallas estructurales y dar una solución para salvaguardar los pavimentos locales, los cuales se encuentran sin rehabilitación y mantenimiento, nos indica que la

finalidad de este tipo de investigación es que se conozca como funciona una evaluación estructural de infraestructura vial mediante el uso de Viga Benkelman, la cual se utilizó como un plan de investigación y evaluación de mantenimiento realizados para los gobiernos locales. Esta investigación dará a conocer en como se encuentra estructuralmente el pavimento según los parámetros que se le aplica a la subrasante, para ello se evaluará al conocer el módulo de elasticidad y el CBR. Dicha investigación se realizó en tramos del pavimento flexible de la Universidad de Piura, con el fin de corroborar que la pavimentación se encuentra bien estructuralmente y que no afectó de manera agresiva el aumento del flujo vehicular que se dará en los próximos años, para ello tomaron como criterio que refuerzo estructural se dio requerido en el pavimento para que se dé un buen mantenimiento, empleando un refuerzo de carácter asfáltico, obteniendo un espesor de asfalto, lo cual servirá como refuerzo estructural del pavimento.

Esto nos indica que la evaluación se hará a un pavimento flexible para dar a conocer si el pavimento cumple con los índices de la normatividad, cumpliendo con los requerimientos, esto se sabrá mediante la simulación del flujo vehicular. La investigación es de tipo aplicada del diseño experimental con un enfoque cuantitativo. De esta manera el resultado de esta investigación fue el desarrollo de técnicas y la aplicación de equipos innovadores para la obtención de deflexiones, siendo uno de los más utilizados el equipo de deflectometría de impacto.

Carahuatay (2015) en su tesis “Determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera San Miguel-Pablo, tramo San Miguel-Sunuden; mediante el análisis deflectométrico”, para obtener el grado de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Cajamarca, tuvo como objetivo general determinar el comportamiento de un pavimento flexible en la región de la carretera tramo San Miguel-Pablo, nos indica que los equipos no destructivos como la viga Benkelman, nos permite determinar las deformaciones que se originan en los pavimentos frente a los soportes de cargas que se generan a partir de un vehículo cargado. En 1983, mientras se realizaba los primeros trabajos de rehabilitación en Perú, este equipo no tuvo mayor consideración ya que su uso se consideró obsoleto, sin embargo, existió equipos más complejos y exactos pero que eran más costosos como el

Método FWD, y que el MTC no se encontraba en capacidad de adquirirla en aquel entonces.

Esto nos indica que la evaluación del equipo de deflectometría de impacto como es la viga Benkelman sirve para estudiar, analizar y recolectar datos e información sobre los años de vida de una pavimentación de una carretera, esto mediante el estudio de índices de flujo vehicular obtenidos de estas evaluaciones.

Ramos (2013) en su tesis “Evaluación del estado del pavimento por deflectometría e índice de rugosidad internacional de la carretera: Puno-Vilque- Mañazo- 4km Críticos”, para obtener el grado de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional del Altiplano, señaló como uno de sus principales objetivos el análisis en el que se encuentra el pavimento mediante la deflectometría y rugosidad, en la carretera Puno–Vilque–Mañazo, en los 4 Km. La investigación es de tipo aplicada del diseño experimental con un enfoque cuantitativo. Se obtuvo como resultado principal que a través del ensayo realizado con la viga Benkelman sometido a la estructura de la pavimentación , se llegó a obtener los valores de deflexión como un promedio de: 69.22×10^{-2} mm y radio de curvatura de 199.37m en el carril derecho; 65.53×10^{-2} mm y radio de curvatura de 197.39m en el carril izquierdo, los cuales llegan a la conclusión que las deflexiones corrientes no son mayores a las admisibles.

Flores (2012) en su tesis “Evaluación estructural de pavimentos flexibles de carreteras bajo volumen de tráfico”, para obtener el grado de Magister en Ingeniero de Transportes en la Universidad Nacional de Ingeniería, tuvo como objetivo general determinar el estado estructural del pavimento a través de ensayos de deflexiones, esto lo determina mediante el método de cálculo inverso, evaluando así diferentes tramos de la carretera a evaluar. La investigación es de tipo aplicada del diseño experimental con un enfoque cuantitativo. Tuvo como resultado principal que métodos analíticos como Boussinesq, tienden a dar a conocer las deformaciones que se realizan en campo, sin embargo, no es recomendable para obtener el módulo de elasticidad del pavimento.

La deflectometría: la deflectometría tiene la función de hacer un análisis del estado estructural del pavimento, determinando así la capacidad portante de este, los cuales se encuentra agrupados tanto como el pavimento y la subrasante. Este método es esencial ya que su uso nos indica para hacer un mantenimiento o rehabilitación.

Para Gómez quien hizo el análisis mediante la optimización de capas en el diseño en carreteras de Bogotá, según datos determinados por ensayos no destructivos, se entiende como una deflexión superficial a cierta deformación que se encuentra del lado vertical a la cual que somete las cargas, debido a que éstas pueden ser dinámicas o estáticas.

Por otro lado, Leal señala que gracias a la medición de deflexión esta puede brindarnos datos sobre el estado crítico que se encuentra en las diferentes capas del pavimento, por ello debido a esto se encontrará daños que afecten superficialmente presentando deflexiones mínimas y otra en estado óptimo con buenas deflexiones.

Según Gómez estos métodos conocidos como no destructivos porque no altera la estructura del pavimento sirve como evaluación fueron desarrollados con el fin de incrementar la rapidez con la que se mide, siendo más exactos, apoyándose de simulaciones de cargas ocasionadas por el volumen de tráfico.

Como bien se da a conocer la deflectometría determina las deflexiones verticales ocasionadas por cargas, según Ocaña y Cruz indica que la deformación sobre la superficie del pavimento es consecuencia de cargas estandarizadas.

Cabe resaltar que para investigadores como Ramos quien determinó el estado de la estructura pavimentada mediante la evaluación deflectométrica, llegó a determinar que las deflexiones que se presentan en la superficie del pavimento, pueden ser determinadas por equipo como viga Benkelman.

Por ende se llega a la conclusión de dar a conocer los diferentes métodos que se conocen para medir la deformación de un pavimento, los cuales son:

- Medición de deflexiones por medio de cargas estáticas.
- Medición de deflexiones por medio de cargas vibratorias.

- Medición de deflexiones por medio de impacto.

Ensayos no destructivos – Cargas estáticas: Para un pavimento flexible la medición de su deflexión a nivel superficial, tiene como una opción factible ensayos no destructivos, de esta manera esta actúa de manera directa al pavimento, sin necesidad de destruirla, de manera rápida y económica, esta información brindada nos resalta por lo general el estado estructural del pavimento a medir.

Viga Benkelman: La viga Benkelman sirve como un deflectómetro no destructiva, en este caso funciona como según el principio de palanca , de diseño simple y mecánico, la cual está compuesta por dos partes importantes: un cuerpo de que sostén que se sitúa en el terreno mediante dos apoyos fijos y uno en la parte de atrás que es regulable; y un brazo móvil que se encuentra situada directamente al cuerpo fijo mediante una articulación de giro, en el cual uno de ellos se encuentra en el extremo apoyado sobre el terreno y el otro se sitúa con el extensómetro.

A esto se le añade que la viga Benkelman tiene un vibrador en su equipo, que cuando se utiliza, durante el análisis, cumpla la función de evitar que el indicador del dial se trabe alterando las lecturas del ensayo. Dicho método funciona de tal manera que la punta de la viga consta de un espesor que pueda ser colocada entre las llantas dobles del eje trasero de un camión con carga; esto provoca que al aplicar una carga al pavimento produzca una deformación, ocasionando que la punta baje respectivamente del nivel descargado de la superficie.

Por otro lado, Domínguez nos señala que el uso de la viga Benkelman como ensayo determina la deformación vertical de la superficie del pavimento sometidas a cargas que son distribuidas a través de las llantas dobles de un camión de carga.

Para Carahuatay, donde determinó el comportamiento de la estructura pavimentada en San Miguel con equipos de análisis deflectómetros, nos indica que la viga Benkelman consiste en un quipo con una palanca que se encuentra suspendida del bastidor, este transmite la deformación vertical del punto medido hacia el comparador. Ver figura 3

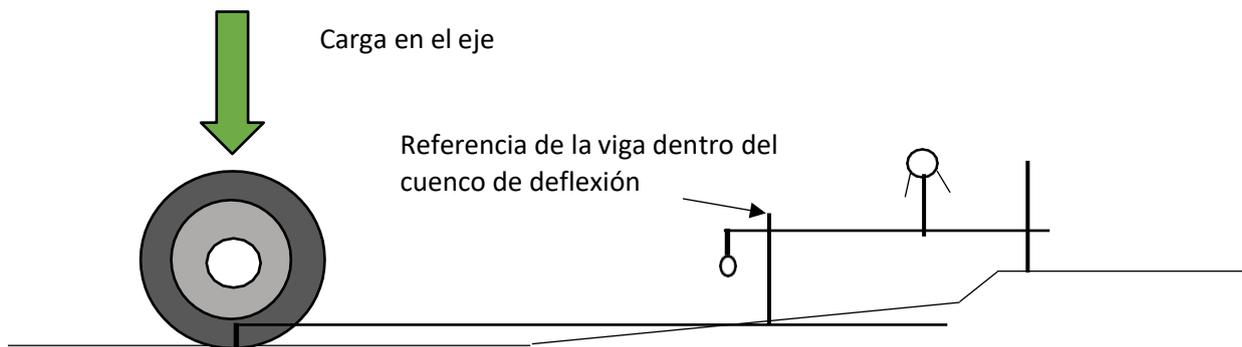


Figura 3: Trabajo a carga sobre una viga Benkelman

Fuente: Viga Benkelman. Tomado de Meier, (1995)

Se entiende que la viga pertenece a una medición de cuenca de deflexión por carga estática, por ello Gómez, señala que estos equipos se encargan de medir la respuesta a cargas de parte del sistema estructural del pavimento, a una carga vertical, de carácter estático, para ello los equipos conocidos como Benkelman y Lacroix, económicos, pero con desventajas ya que no proporcionan información completa de la deformación del pavimento, pero se obtiene la deflexión máxima.

Por otro lado, tenemos otro factor dentro de lo que nos dice Gómez, puesto que el uso de la viga Benkelman o Lacroix, tiene como objetivo general brindar información sobre la deflexión máxima del pavimento.

Deflectómetro de Impacto (FWD): Este tipo de equipo es un método de ensayo no destructivo, al igual que la viga Benkelman sirve para realizar el análisis del estado estructural de pavimentos flexibles y rígidos. Se realiza mediante un controlador del deflectómetro la cual es instalada en un móvil en este caso un remolque, su uso es de manera sencilla, puesto que constan de alarmas mediante un ordenador arrojando los datos de deflexiones, para ello es necesario tener en cuenta que el factor temperatura influye en la medición de este equipo.

Ocaña y Cruz usó otro tipo de equipo deflectómetro no destructiva pero de carácter de impacto como el Falling Weight Deflectometer, el cual tiene la misma función

que la viga Benkelman, pero nos da resultados más exactos y con mucho más precisión, ya que registra la temperatura del medio, del pavimento, y sobre todo la deformación de manera precisa.

Por lo tanto, se dice que el principal aporte de deflectómetro de impacto a diferencia de los otros ensayos, es el análisis de capacidad de soporte mediante el cálculo inverso de los módulos a partir de las deflexiones.

Deflexión Máxima: Para definir deflexión máxima se debe tener en cuenta el cuenco de deflexión generado por un deflectómetro presenta una gran deformación en el centro donde se aplica las cargas, con ello se sabe que esto puede generar que esto indica que la capacidad de soporte es baja en algunas capas de las estructuras, principalmente en la subrasante.

Factor principal que influye en las deflexiones: Para la medición de deflexiones de un pavimento existen diversos factores que influyen de manera muy relevante los cuales se asocian con la estructura del pavimento, estos influyen tanto al equipo de medición como las condiciones del medio ambiente en el instante en el que se realiza el ensayo. Entre uno de los principales factores, se encuentra uno que siempre tiene importancia como es la temperatura.

Temperatura: En el análisis de deflexión como es conocido el factor climático es de gran relevancia puesto que afecta de manera directa a la rigidez de la carpeta asfáltica, puesto que las propiedades visco-elásticas depende de ella.

Leal (2017, p.31) en su tesis titulada “Relación entre el módulo resiliente hallado por retrocálculo y el encontrado en ensayos de laboratorio”, señala que “Algunos estudios sugieren que la temperatura puede ser tomada al tercio o a la mitad de la capa bituminosa, concordando en que no es aconsejable emplear la temperatura tomada sobre la superficie de la carpeta”.

Dichas estimaciones se encuentran en base a que existe correlaciones con los datos ambientales, los cuales se realizan por mediciones a través de orificios directos al pavimento.

$$M_p = M_a * \left(1 + \frac{1}{z + 4}\right) - \frac{34}{z + 4} + 6$$

Donde:

- M_p = Temperatura de la medición de mezclar
- M_a = Temperatura del aire media ponderada
- Z = Profundidad

Es recomendable saber que, para realizar una medición del pavimento, es recomendable no hacerlo con temperaturas en las que el pavimento se encuentre menor a 2°C o superior a 40°C.

Para pavimentos flexibles que presentan carpetas asfálticas menores a 5 cm, no es necesario hacer correcciones de temperatura, pero si es superior es necesario insertar un coeficiente de corrección.

$$C_t = \frac{1}{1 - 0.0008 * h_1 * (20 - t)}$$

Donde:

- C_t : Corrección de temperatura
- h_1 : Espesor de carpeta
- t : temperatura

Según la guía AASHTO es recomendable medir las deflexiones cuando la temperatura se estandariza a 20°C.

$$T(t) = \frac{d(68^\circ\text{F})}{d(t)}$$

Donde:

- $T(t)$ = Factor de corrección
- $d(68^\circ\text{F})$ = Deflexión a 20°C
- $d(t)$ = deflexión a temperatura

Modelo de Hogg: Modelo presentado por A.H.A Hogg en 1944, dicho modelo muestra como representación a una pavimentación que se encuentra como capa con rigidez a la flexión, infinita horizontalmente, que cuenta con capa, con espesor infinito limitado por una base rígida. Ver figura 4

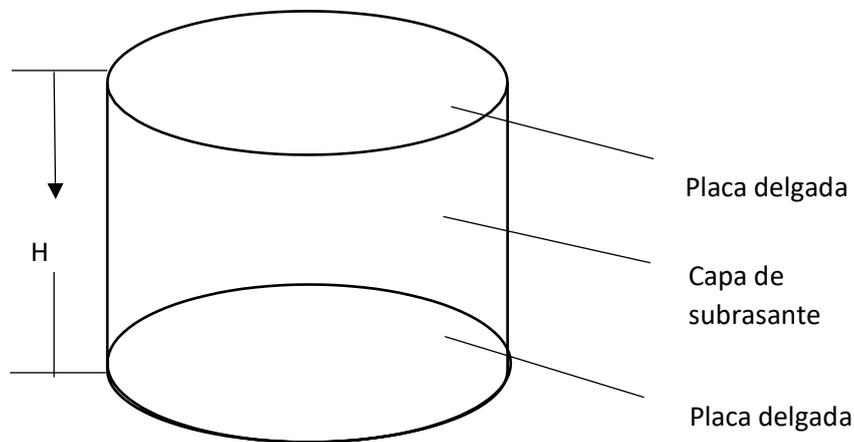


Figura 4: Capas de pavimentos para el modelo Hogg

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico se observa a la placa delgada la cual representa la estructura del pavimento, la segunda nos representa la subrasante del pavimento. Según Ocaña y Cruz nos indica que el Modelo de Hogg simula un comportamiento entre las deflexiones y los esfuerzos, por lo cual se da a entender que se trabaja elásticamente, cabe resaltar que según la reología los materiales del asfalto tienden a tener comportamiento viscoelástico.

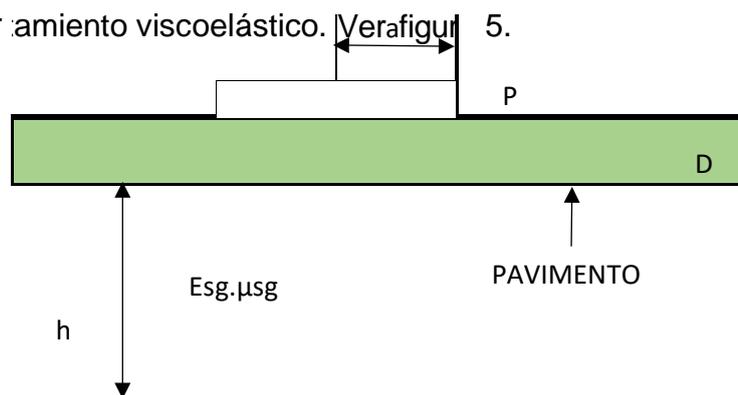


Figura 5: Análisis del pavimento a cargas

Fuente: Hoffman (2003)

Donde:

- a= Radio
- h= Base rígida
- p= Presión
- D= Espesor de la losa
- Esg= Módulo de subrasante
- usg= Relación de Poison

Nos indica que el modelo de Hogg que no se necesita conocer el espesor de las capas, lo cual proporciona una ventaja enorme debido a que en muchos casos de pavimentación se desconoce el espesor, en síntesis, el modelo de Hogg permite obtener el módulo de elasticidad de la subrasante.

Para ello Ramos indica que se toma una variable a la cual la denominó h que se encuentra en una capa rígida a cierta profundidad finita. En dicha investigación este proceso simula a una capa rocosa o cumple con la función de factor de ajuste limitando la extensión horizontal de las deflexiones. Para ello también se da a conocer la extensión finita de las deflexiones tienden a ser denominadas según su comportamiento como no lineal en la estructura del pavimento, afectando a la subrasante

Parámetros de Hogg

- Rigidez sometida a la placa

$$D = \frac{E_p * h^3}{12(1 - \mu^2 p)}$$

- Longitud

$$L_0 = \left(\frac{D(1 + \mu_0)(3 - 4\mu_0)}{2(1 - \mu_0)E_{sg}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

- Esg= Módulo de elasticidad.
- ν_0 = Poisson de la subrasante
- H= Profundidad

Para ello se muestra un bosquejo del esquema que realizó Balarezo, Ver figura 6

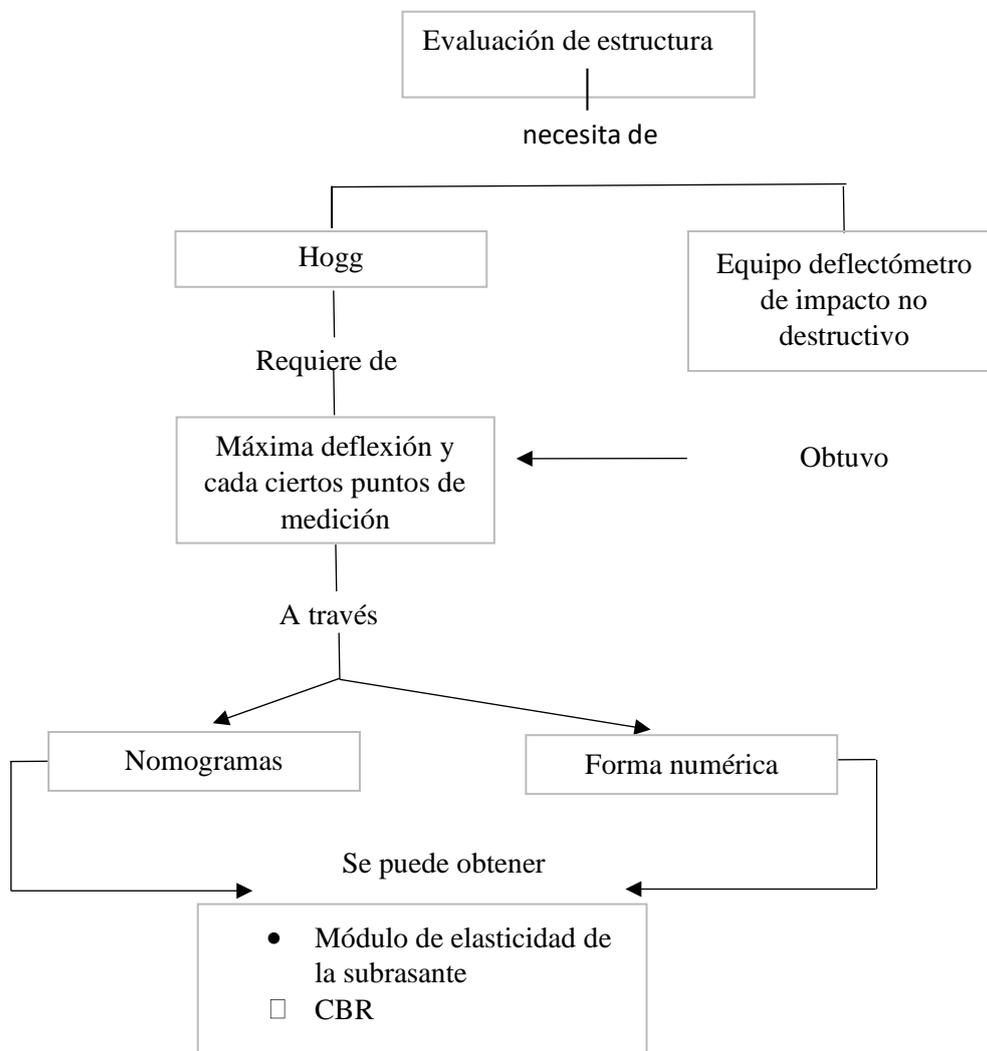


Figura 6: Esquema sobre relación entre el método Hogg y Viga Benkelman

Fuente: Balarezo (2017)

Modelo de AHL y Ulery : Este modelo nos permite determinar el umbral que se encuentra en una pavimentación, lo cual resulta muy necesario debido a que esto nos permite a tener la capacidad de hacer un mejoramiento de la capacidad portante de la subrasante, esto ayudado con ensayos con la viga Benkelman.

Ello nos permitió determinar la magnitud de las deflexiones verticales bajo un radio circular, esta interactúa con la llanta de un camión con 80 psi o 5.64 kg/cm²

$$\Delta = \frac{p(1+u)a}{E} \left(\frac{z}{a} * A + (1-u)H \right)$$

Método AASHTO: Este método fue desarrollado por la normativa AASHTO, la cual tiene como base fundamental el modelo de Boussinesq. Este modelo consta de un método para determinar una estimación del módulo resiliente de la subrasante basados en medidas realizadas a los pavimentos en sus distintas capas, fue desarrollado por Ullidtz en el año 1977, algunas consideraciones que tuvieron según Cruz y Ocaña fueron que a mayor distancia se encuentre la distancia incrementa la compresión que existe sobre las capas en la parte superior de la subrasante siendo menos significativa que la de la superficie del pavimento.

En síntesis, se indica que, a cierta distancia radial de la carga sometida, la deflexión que se midió en la superficie del pavimento, se encuentra influenciada por la subrasante, dependiendo de las propiedades elásticas de la subrasante.

Esto quiere decir que la distancia va a ir en aumento, puesto que va a ser medida en una pavimentación sometida a cierto número de carga se podrá notar una diferencia entre la compresión de la superficie del pavimento y de las capas que se encuentren sobre la subrasante, por lo que se tiene como principal factor a las propiedades elásticas de la subrasante las cuales influyen directamente en la deflexión del pavimento. Por otro lado, también señalan que debido a comparaciones de deflexiones se puede definir que las cargas fueron distribuidas

de manera que usaron un programa denominado BISAR 3.0. el cual consta de un software donde nos muestra capas elásticas a distintas distancias de la estructura, empleando la ecuación de Boussinesq solo para un sistema de una capa.

En este párrafo nos muestra otra de las consideraciones a tomar, la cual tuvo como consecuencia que á traves de una comparación de deflexiones de cargas circulares, a traves del programa BISAR 3.0, se le acople la ecuación de Boussinesq para solo una capa.

Con estas consideracione señaladas se llegó a la conclusión de que el módulo resiliente de la subrasante se obtiene por retrocálculo con las deflexiones medidas.

$$M_{rr} = \frac{p(1 + \mu^2)}{\pi * r * dr}$$

Donde:

- M_{rr} : Módulo resiliente por retrocálculo de la subrasante (PSI)
- P : Carga aplicada en el impacto (lb)
- μ : Relación de Poisson de la subrasante
- dr : Deflexión registrada a la distancia "r" medida desde el centro de carga (in)
- r : Distancia entre el eje de carga del sistema y el sensor dado (in)

Para ello también se debe asumir que el Módulo de Poisson debe ser de 0.5, en este caso la ecuación variaría:

$$M_{rr} = \frac{0.24 * P}{r * dr}$$

Donde:

- P: Carga aplicada en el impacto (lb)
- Δr : Deformación registrada a la distancia "r" medida desde el centro de carga (in)
- r: distancia entre el eje de carga del sistema y el sensor dado (in)

$$\Delta ir = \Delta i * \left(\frac{Pr}{P}\right)$$

Donde:

- Δir : Deformación corregida a la carga de referencia en el sensor i (in)
- Δi : Deformación medida con el deflectómetro de impacto en el sensor i (in)
- Pr: Cargas (lb)
- P: Cargas durante el ensayo (lb)

Para ello la parte complicada es escoger que sensor seleccionar para realizar los cálculos del módulo resiliente, por consideración se toma el último sensor, sin embargo, esto presenta un déficit, el cual como trae errores, ya que se encuentra con dificultad medir deflexiones demasiados pequeñas.

$$r \geq 0.7ae$$

- r : Distancia entre el eje de carga del sistema y el sensor dado. (in)
- ae : Radio del bulbo de tensión. (in)

Para obtener el valor del radio a “ ae ” se debe proceder primero a obtener el módulo elástico compuesto de todo el pavimento “ E_p ”

Definición de pavimento: Se define como pavimento a la infraestructura que se encuentra situado en un terreno de fundación a la cual se le conoce como subrasante, indicado por la norma AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Se encuentra formado por capas, las cuales son sometidas a cargas de tránsito transmitiendo la fuerza de manera disipada hasta que llegue a la subrasante, la cual tiene como objetivo resistir esfuerzos cortantes y destructivos durante el tiempo de vida útil.

Según Balarezo para que un pavimento sea óptimo, debe de cumplir con los parámetros necesarios para que tengan un adecuado funcionamiento como una adecuada complementabilidad entre el pavimento y el vehículo, aún en condiciones húmedas, que soportan las cargas del flujo vehicular, y los esfuerzos y deformaciones.

Por ello Carahuatay mediante el análisis que realizó en tramos de la carretera San Miguel sobre el estado estructural del pavimento, determinó que, desde la perspectiva del usuario, el pavimento tiene como objetivo brindar seguridad cuando se transite.

Cabe resaltar que existen diferentes tipos de pavimentaciones, como es conocida como la superestructura de la carretera, formada por diferentes capas, con el objetivo brindar seguridad en el flujo vehicular, la estructura depende del lugar y el fin con el que se realiza, esto puede ser para carreteras, tramos en aeropuertos, etc.

Esta también cuenta con la importante función de soportar el cambio de clima, ya que se tiene que tener el factor clima, y zona donde se realice este trabajo, ya que tienden a recibir las cargas de tráfico, en su mayoría vehículos pesados, puesto que los vehículos ligeros, se encuentra dentro del rango que puede soportar de

manera que no afecte el pavimento. Para ello observaos diferentes tipos de pavimentos, Ver figura 7

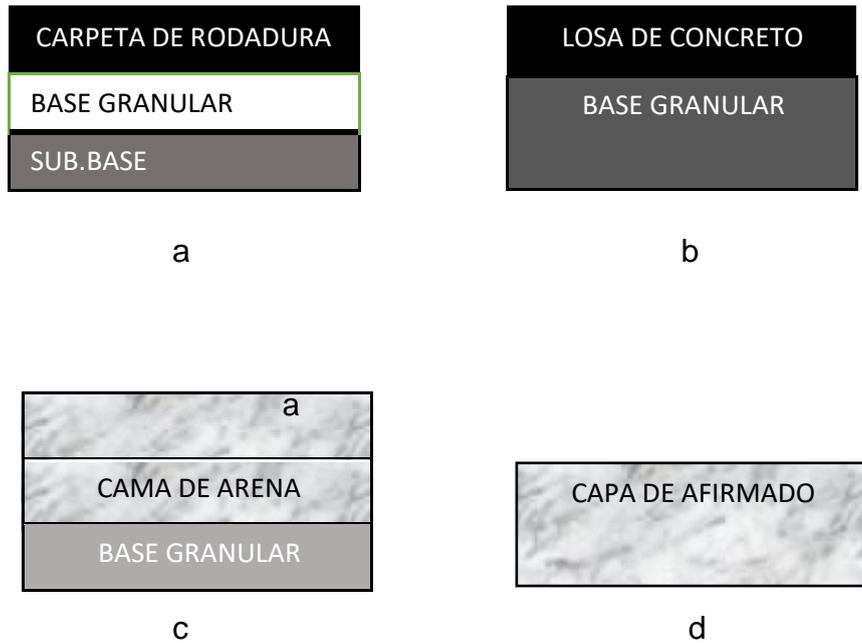


Figura 7: Tipos de pavimento

Fuente: Carahuatay (2015)

En este gráfico se observa diferentes tipos de pavimentos, los cuales tenemos: pavimento flexible, pavimento rígido, pavimento articulado y afirmado.

Pavimento Flexible: Nuestra presente investigación trata sobre el análisis de pavimentos flexibles, donde se explicará las capas que lo conforman. Un pavimento flexible se encuentra conformado por: carpeta asfáltica, base, subbase y subrasante.

- **Carpeta Asfáltica:** Esta capa se sitúa en la parte superior de la estructura, sobre la base y tiene como función proporcionar rodamiento a la vía, impermeabilizar evitando que el agua ingrese, ya que esto podría saturar las capas, también tiene como función proporcionar soporte a cargas al resto de capas, distribuyendo los esfuerzos. Esta capa se elabora con material pétreo y el asfalto, también se sabe que es de gran relevancia obtener el grado óptimo de asfalto, ya que esto garantiza la resistencia el soporte a cargas, su manera excesiva de estos materiales puede ocasionar pérdida de estabilidad, depende del tipo de carpeta que presente. Ver figura 8.

Intensidad del tránsito pesado en un solo sentido	Tipo de carpeta
Mayor de 2000 veh./día	Mezcla en planta de 7.5 cm de espesor mínimo
1000 a 2000 veh./día	Mezcla en planta de 5.0 cm de espesor mínimo
500 a 1000 veh./día	Mezcla en planta o en el lugar de 5.0 cm de espesor mínimo
menos de 500 veh./día	Tratamiento superficial simple o múltiple

Tabla1: Intensidad de tránsito según el tipo de carpeta

Fuente: Reyes (2003)

- **Base:** Esta capa se encuentra en la arriba de la sub-base y debajo de la carpeta asfáltica. También tiene como función soportar esfuerzos que se generan por las cargas de tránsitos y distribuirlos a la sub-base llegando a la subrasante. Por lo general esta capa se realiza de granulas como gravas, piedras trituradas o mezcla de agregados, también se utiliza cemento portland o algún otro material con el objetivo de una resistencia óptima, depende del CBR, ver figura 9.

Valor Relativo de Soporte CBR (I)	Tráfico en ejes equivalentes (<10 ⁶)	Min. 80%
	Tráfico en ejes equivalentes (>10 ⁶)	Min. 100%

Tabla 2: Intensidad de tránsito según el tipo de carpeta

Fuente: EG (2013)

Por otro lado, también menciona las normas con los tipos de ensayos para diferentes tipos de agregados, véase en las figuras 10 y 11

Requerimientos de Agregado Fino

Ensayo	Norma	Requerimientos Altitud	
		< 3000 msnm	> 3000 msnm
Índice Plástico	MTC E 111	4 % máx.	2 % máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	35% máx.	45% máx.
Sales Solubles	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Durabilidad al Sulfato de Magnesio	MTC E 209	-	15%

Tabla 3: Requerimientos de Agregado fino

Requerimiento de Agregado grueso

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimientos Altitud	
				< 3000 msnm	> 3000 msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821		80% min.	80% min.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	D 5821		40% min.	50% min.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx.	40% máx.
Partículas chatas y alargadas		D 4971		15% máx.	15% máx.

Sales solubles totales	MTC E 219	D 1888		0.5% máx.	0.5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	C 88	T 104		18% máx.

Tabla 4: Requerimientos de Agregado grueso

Fuente: EG (2013)

- Sub-base:** Esta capa se encuentra en la parte baja de la base, parte superior de la subrasante, este tipo de capa se encarga de someterse, de aligerary distribuir las cargas que son aplicadas a la carpeta asfáltica. Esta capa se encuentra formada por materiales granulares, las cuales cumplen la función de trabajar como drenaje y controlador de la humedad, con el fin de evitar fallas ocasionadas por la humedad, en las bajas temperaturas, adicional a esto controla el volumen y elasticidad del terreno de fundación, los cuales serían dañinos para el pavimento. Según Balarezo señala que esta capa se sitúa arriba de la subrasante, pero debajo de la base, esta capa se encuentra formada por lo general de arena, grava y algunos residuos de cantera. Su objetivo principal es de distribuir los esfuerzos de las cargas de tránsito para que llega hasta la subrasante.
- Subrasante:** Para definir el concepto de subrasante conocido también como terreno de fundación, la cual tiene como objetivo principal servir de apoyo al pavimento durante las acciones de corte y también como relleno si se presenta humedad. Para ello debe realizarse una adecuada compactación, garantizando que su resistencia será óptima al recibir y estar en contacto directo con las cargas de tránsito. Según Carahuatay lo define como la capa principal del terreno que soporta toda la carga estructural, extendiéndose hasta cierta profundidad, no necesariamente influenciadas por cargas de tránsito, presenta tanto corte como relleno, es necesario que se encuentre

compactada de manera correcta, puesto que debe cumplir con las propiedades especificadas para una vía de carretera.

Para ello existe un cuadro de las distintas categorías de la subrasante, ver figura 12.

CATEGORÍAS DE SUBRASANTE	CBR
S0: Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante Pobre	CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2: Subrasante Regular	CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3: Subrasante Buena	CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4: Subrasante Muy Buena	CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5: Subrasante Extraordinaria	CBR ≥ 30%

Tabla 5: Categorías de subrasante

De esto se puede definir que la pavimentación depende del espesor, es decir de la calidad en la que se encuentre la subrasante, puesto que debe con las normas del MTC, requisitos como estabilidad y principalmente de resistencia-contracción por efectos de humedad.

Para esto se hizo un estudio con respecto al problema que estudié, donde se formuló interrogantes como:

Problema general de investigación: ¿Cómo será el Análisis por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020?

Problemas específicos de investigación

- ¿Cuál será las deflexiones máximas aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020?
- ¿Cuál será los valores de las deflexiones características y admisibles aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020?
- ¿Cuál será la condición estructural aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020?

Justificación del estudio: En cuanto a la formulación de mi problema general y mis problemas específicos, se buscó la manera de justificar de que manera influiría el estudio de esta investigación, par ello se llegó a la conclusión que cuenta con **relevancia social**, debido a que durante los últimos años los proyectos de infraestructura vial en nuestro país no cumplían con los requisitos y las expectativas de las entidades encargadas de realizar los proyectos, ni por los pobladores, debido a que se apreciaban múltiples fallas en lo que se refiere a pavimentación de una carretera, esto debido a que se presentaban pavimentos con grietas, fallas, y falta de mantenimiento, lo cual generaba el malestar entre los ciudadanos, estos problemas por lo general se apreciaban en carreteras como Panamericana Norte y Sur, principales carreteras de nuestro país.

La presente investigación brinda relevancia social porque contribuyera a que lo expresado en el párrafo anterior se puede prever y hacer un mejor diseño de infraestructura vial, permitiendo que la población puede gozar de mejores carreteras en las cuales los pobladores puedan trasladarse. Por otro lado tiene **relevancia práctica**, debido a que el sistema de deflectometría de impacto no destructiva- viga Benkelman y tiene por objetivo limitar las consecuencias negativas que se generan, haciendo análisis de pavimentos ya realizados, para después brindar información sobre el adecuado sistema de pavimentación de una carretera, el adecuado sistema requerido con lo cual el soporte a cargas sea el ideal y el tiempo de vida de la infraestructura sea la ideal; y no menos importante la **relevancia económica** ya que en una pavimentación, las pérdidas económicas se deben, en su mayoría por el mantenimiento o por la rehabilitación de pavimentos que no han sido diseñados adecuadamente, para ello esta investigación tiene como objetivo evitar gastos innecesarios realizando estudios en pavimentos ya realizados para que en los nuevos proyectos se realice un adecuado diseño.

Luego del análisis de los problemas que presentó la investigación estudiada se pasó a la formulación de la hipótesis general:

Se obtienen los parámetros del análisis por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020.

Por otro lado también con respecto a los problemas específicos, también presentamos hipótesis específicas para dar posibles soluciones a estas como:

- Se obtienen los valores de las deflexiones máximas aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020.
- Se obtienen los valores de las deflexiones características y admisibles aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020.
- Se obtienen la condición estructural aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020.

Luego de la formulación de los problemas tanto general como específicos y de las posibles soluciones a través de hipótesis tanto general como específicas, se formuló los objetivos para la siguiente investigación, en el ámbito general:

Objetivo general de investigación: Realizar el análisis por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020.

Para cada uno de los problemas e hipótesis específicas se formularon los siguientes objetivos:

Objetivos específicos de investigación

- Determinar la deflexión máxima aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020.
- Determinar las deflexiones características y admisibles aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020.
- Determinar la condición estructural aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020.

III.

METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Diseño de investigación

El enfoque de este trabajo es de carácter cuantitativo, probatorio. Se debe respetar el orden de los pasos para una investigación, evadir pasos implicaría que la investigación no sea confiable, para ello debemos delimitar de manera correcta nuestras ideas.

Por ello, se puede definir que el enfoque del trabajo de investigación es cuantitativo, debido a que se hizo la formulación de problemas, objetivos e hipótesis de investigación.

De acuerdo a los antecedentes y citas que se han presentado dentro de este trabajo de investigación, se tomará en cuenta que el diseño de investigación para el trabajo será experimental, ya que cuenta con el manejo de la variable independiente, en este caso el ensayo deflectómetro como viga Benkelman; la cual influye en la variable dependiente, nuestro caso sería la pavimentación flexible en la av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima.

Para Niño nos explica que una investigación para que sea de carácter cuantitativo como principal objetivo es la medición de sus variables y el cálculo, según las referencias de estas.

El tipo de investigación que será de este presenta trabajo será aplicada, debido a que se presentará los resultados de los ensayos en base a las teorías, esto claro dependerá de la investigación realizada por el investigador, ya que no se desarrollará teorías nuevas, sino solo se aplicará teorías ya estudiadas y evaluadas previamente.

3.2. Variables, Operacionalización

En esta tabla se muestra las variables que se analizan.

Variables

Variable Independiente: Deflectometría

Variable Dependiente: Pavimentación flexible

Variables de investigación**Tipo**

Deflectometría

Cuantitativa

Pavimento Flexible

Cuantitativa

Fuente: Elaboración propia

Operacionalización de variables

Matriz de operacionalización de variables

Figura 8: Matriz de Operacionalización

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	DIMENSIONES	INDICADOR	INSTRUMENTO
Deflectometría (Variable Independiente)	Para ello Gómez nos indica que la deformación en la subrasante se denomina como la deflexión vertical del pavimento, ya que se aplica cargas, estas pueden ser estáticas o dinámicas, representando una repuesta directa de pavimento con subrasante.	La aplicación de deflectometría en el estudio de pavimentos menciona directamente a la dimensión que se utilizará para esta investigación como: Deflectometría no destructiva	Deflexión vertical	Deflexión Máxima (mm)	Ensayo no destructivo
			Medición	Carga máxima (kn)	
			Método no destructivo	Viga Benkelman lb	
Pavimento flexible	Según Balarezo quien trabajó con la viga	El Pavimento flexible menciona	Diseño	Carpeta Asfáltica Base Subbase	Resultados de ensayos no

(Variable Dependiente)	Benkelman señala que se debe cumplir con adecuados parámetros para los pavimentos, ya que esto permitirá que los pavimentos puedan soportar cargas producidas por vehículos.	dimensiones, las cuales Diseño Transferencia de cargas Resistencia		Subrasante	destructivos
			Deflexiones características, y admisibles	Volumen de tránsito	
			Estructura	Radio de Curvatura	

3.3. Población, muestra, muestreo, unida de análisis

En este trabajo de investigación se tomó como población de estudio, donde se determinó evaluar la estructura de 2 diferentes pavimentaciones en diferentes avenidas, tanto en la av. Canta Callao con coordenadas 11°59'21.0"S 77°06'18.5"W hasta 11°59'21.5"S 77°06'19.3"W y en la av. Carlos Izaguirre desde la coordenada 11°59'21.0"S 77°06'18.0"W hasta 11°59'21.4"S 77°06'16.1"W

En este caso se toma como muestra donde se seleccionó tramos de la av. Canta Callao con coordenadas 11°59'21.0"S 77°06'18.5"W hasta 11°59'21.5"S 77°06'19.3"W y en la av. Carlos Izaguirre desde la coordenada 11°59'21.0"S 77°06'18.0"W hasta 11°59'21.4"S 77°06'16.1"W.

Para Hernández, Fernández y Baptista señala que para un muestro que es de carácter probabilístico tienen como componentes la población que cuenta con la

E = 7% (0.07) Máximo error permisible

P = 95% (0.95) probabilidad de éxito.

Q = 5% (0.05) probabilidad de fracaso.

misma posibilidad de selección a través del tamaño de la muestra.

Para obtener el tamaño de la muestra, se aplica el método

$$n = \frac{(p * q) * Z^2 * N}{E^2(N - 1) + (p * q) * Z^2}$$

Donde:

- n = Muestra
- N= Población
- Z= 1.95 Valor de la distribución normal
- E= 7% Máx. error permisible
- P= 95% fracaso
- Q= 5% fracaso

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos: PRUEBAS ESTANDARIZADAS, APARATOS DE PRECISIÓN

Instrumentos de recolección de datos: Tenemos como instrumento de recolección de datos a la viga Benkelman la cual consta de un equipo de deflexión no destructiva, puesto que la estructura del pavimento no va a ser alterada, se encarga de medir la deformación de un pavimento, que se encarga sometida a cargas.

Validez del instrumento: Para que un instrumento muestre validez debe contar con un grado que refleje dominio de la variable que se va a medir.

Para Hurtado la validez de un instrumento se refiere a la característica principal del instrumento para cuantificar significativamente según fue diseñada.

Confiabilidad del instrumento : La confiabilidad del instrumento en una investigación se basa en identificar de manera correcta las variables con lo cual se obtiene la confiabilidad.

Para ello Bernal indica que para que el instrumento sea confiable debe tener una consistencia, que son estudiadas a diferentes factores en distintas ocasiones.

Para nuestra investigación se aplicó equipos de deflectometría no destructiva, en este caso la Viga Benkelman y FWD, a la vez se realizará cálculos respectivos con los resultados de estos ensayos para corroborar los resultados finales.

Para ello los ingenieros civiles deben señalar que la utilización de los instrumentos para las mediciones y ensayos de laboratorio estén perfectamente calibrados e indicar los certificados correspondientes en los anexos.

3.5. Procedimientos

El investigador que se encuentra a cargo de este proyecto junto con los técnicos debe de realizar.

- Tener como referencia el punto de inicio para realizar las mediciones de las deflexiones con la viga Benkelman.
- Hacer mediciones adicionales en cada punto de acuerdo al MTC y con la calibración del equipo adecuado, respetando el flujo de tránsito.
- Una vez obtenido los resultados de las deflexiones, obtener la deflexión máxima a lo largo de la pavimentación.
- Calcular el CBR para comprobar si cumple con los valores experimentales que indica el MTC, con esto se conocerá el estado en el que se encuentra la subrasante.

3.6. Métodos de análisis de datos

La presente investigación para determinar el análisis por deflectometría no destructiva con viga Benkelman en dos pavimentaciones flexible, av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, se usa como base fundamental los resultados de las deflexiones realizada por los ensayos de laboratorio.

Así mismo el análisis de pavimentos flexibles por medio de aparatos de deflectometría en la ciudad de Lima, como es la viga Benkelman, resulta siendo una buena opción para mejorar los estudios sobre carreteras.

3.7. Aspectos éticos

El investigador que se encuentra a cargo de este proyecto está comprometido a respetar la veracidad del contenido y de los resultados que se mostrarán al final de la investigación. Por ello cabe señalar que se ha hecho un adecuado citado según la norma ISO 690 a los autores responsables.

IV. RESULTADOS

4.1. Análisis e interpretación de las mediciones de deformaciones

Una vez realizada la lectura de medición de deflexiones sobre el pavimento, es fundamental comprobarlas y realizar la medición corregida de cada punto de la progresiva donde se hizo el estudio para ello primero se mostró cuadros con los diferentes carriles de la avenida donde se realizó el ensayo, para ello tenemos el cuadro donde:

N°	PROGRESIVA	MARGEN	e c.a (cm)	Temp. Pavim (cm)	LECTURA DE CAMPO: E $E^{\wedge} (-2)$ mm				
					Lmáx.	L25	L50	L75	L100
1	km 0+0	DER	5	21°	13	4	9	10	11
2	km 0+20	DER	5	22°	18	6	8	12	15
3	km 0+40	DER	5	21°	18	7	14	15	16
4	km 0+60	DER	5	20°	20	3	8	11	15
5	km 0+80	DER	5	20°	22	5	17	19	20
6	km 0+100	DER	5	21°	25	6	16	14	15
7	km 0+120	DER	5	20°	18	4	10	13	15
8	km 0+140	DER	5	21°	17	6	9	11	13
9	km 0+160	DER	5	20°	18	4	100	13	15
10	km 0+180	DER	5	21°	17	5	8	13	15
11	km 0+200	DER	5	21°	17	6	9	12	15
12	km 0+220	DER	5	22°	17	6	12	13	15
13	km 0+240	DER	5	20°	20	5	11	13	16
14	km 0+260	DER	5	22°	20	6	11	13	16
15	km 0+280	DER	5	22°	18	5	10	12	14

Tabla 6. Tabla de medición de margen derecho de carril en av. Carlos Izaguirre

En esta tabla se observa la aplicación del ensayo de Viga Benkelman en el margen derecho del carril de la av. Carlos Izaguirre, previa calibración del aparato debido a la variación de la temperatura, se puede observar que esta tiene como espesor de carpeta asfáltica promedio 5 cm, ya que si este espesor oscila entre los 5 cm o es mayor a este, se encuentra influenciada por el cambio de temperatura, debido a que la magnitud incrementa, se toma como una reducción de rigidez sobre las capas.

N°	PROGRESIVA	MARGEN	e c.a (cm)	Temp. Pavim (cm)	LECTURA DE CAMPO: $EE^{(-2)}$ mm				
					Lmáx.	L25	L50	L75	L100
1	km 0+0	IZQ	5	22°	20	6	10	12	17
2	km 0+20	IZQ	5	22°	21	8	7	10	12
3	km 0+40	IZQ	5	23°	20	6	9	12	17
4	km 0+60	IZQ	5	20°	27	5	10	13	16
5	km 0+80	IZQ	5	22°	20	6	8	12	17
6	km 0+100	IZQ	5	21°	23	6	10	12	17
7	km 0+120	IZQ	5	22°	22	6	8	11	14
8	km 0+140	IZQ	5	21°	24	8	7	13	13
9	km 0+160	IZQ	5	22°	25	2	8	11	14
10	km 0+180	IZQ	5	21°	24	6	9	14	15
11	km 0+200	IZQ	5	22°	20	8	7	10	13
12	km 0+220	IZQ	5	22°	21	7	13	14	19
13	km 0+240	IZQ	5	23°	27	5	12	15	18
14	km 0+260	IZQ	5	22°	27	7	12	14	19
15	km 0+280	IZQ	5	21°	24	7	9	13	18

Tabla 7. Tabla de medición de margen izquierdo de carril en av. Carlos Izaguirre

En esta tabla se puede observar el ensayo realizado en el carril izquierdo de la avenida donde no hubo variación en cuanto a la carpeta asfáltica, por otro lado, la temperatura si varía lo cual afecta a la deformación, para ello se realizará la corrección de acuerdo a la temperatura.

Para la corrección de temperatura corregidas de las deformaciones primero se halló los promedios en cada carril, y se indicó cuando fue la deformación máxima y mínima.

Promedio	5	20.93°	18.53	5.2	10.8	12.93	15.07
Máxima	5	22°	25	7	17	19	20
Mínimo	5	20°	13	3	8	10	11

Tabla 8. Tabla de promedio de la medición de deflexiones sin corregir (DER)

Promedio	5	21.7°	23	6.20	9.27	12.40	15.93
Máxima	5	23°	27	8	13	15	19
Mínimo	5	20°	20	2	7	10	12

Tabla 9. Tabla de promedio de la medición de deflexiones sin corregir (IZQ)

Luego se realizó la corrección con la temperatura debido a la variación que existe sobre la carpeta asfáltica, por medio del cual se encontrará el radio de curvatura.

No obstante, se debe de calcular el factor de corrección por temperatura, se conoce que para temperaturas de menor rango o igual a 40° C, se puede aplicar el método:

$$F_{ct} = \frac{1}{1 + 0.0008 * h (T - 20)}$$

F_{ct}: Corrección de temperatura

h: Promedio de espesor de la c.a

T: Temperatura del pavimento

Debido a que se calculó una temperatura que oscila entre los 20° el factor de corrección por temperatura es 1.1.

F.C. E

N°	PROGRESIVA	MARGEN	e _{c.a} (cm)	Temp. Pavim (cm)	DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDAS: E [^] (-2) mm				
					Lmáx.	L25	L50	L75	L100
1	km 0+0	DER	5	22°	56.92	39.40	17.51	13.13	8.76
2	km 0+20	DER	5	22°	78.42	52.28	43.56	26.14	13.07
3	km 0+40	DER	5	23°	78.81	48.16	17.51	13.13	8.76
4	km 0+60	DER	5	20°	88.00	74.80	52.80	39.60	22.00
5	km 0+80	DER	5	22°	96.80	74.80	22.00	13.20	8.80
6	km 0+100	DER	5	21°	109.45	83.18	39.40	48.16	43.78
7	km 0+120	DER	5	22°	79.20	61.60	35.20	22.00	13.20
8	km 0+140	DER	5	21°	74.43	48.16	35.02	26.27	17.51
9	km 0+160	DER	5	22°	79.20	61.60	35.20	22.00	13.20
10	km 0+180	DER	5	21°	74.43	52.54	39.40	17.51	8.76
11	km 0+200	DER	5	22°	74.43	48.16	35.02	21.89	8.76
12	km 0+220	DER	5	22°	74.06	47.92	21.78	17.43	8.71
13	km 0+240	DER	5	23°	88.00	66.00	39.60	30.80	17.60
14	km 0+260	DER	5	22°	87.13	60.99	39.21	30.50	17.43
15	km 0+280	DER	5	21°	78.42	56.63	34.85	26.14	17.43

Tabla 10. Tabla de las mediciones corregidas de acuerdo a la temperatura que presentan

N°	PROGRESIVA	MARGEN	e _{c.a} (cm)	Temp. Pavim (cm)	DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDAS: E [^] (-2) mm				
					Lmáx.	L25	L50	L75	L100
1	km 0+0	IZQ	5	22°	87.13	60.99	43.56	34.85	13.07
2	km 0+20	IZQ	5	22°	91.49	56.63	60.99	47.92	39.21
3	km 0+40	IZQ	5	23°	86.7	60.69	47.68	34.68	13
4	km 0+60	IZQ	5	20°	118.8	96.8	74.8	61.6	48.4
5	km 0+80	IZQ	5	22°	87.13	60.69	52.28	34.85	13.07
6	km 0+100	IZQ	5	21°	100.7	74.43	56.92	48.16	26.27
7	km 0+120	IZQ	5	22°	95.84	69.7	60.99	47.92	34.85
8	km 0+140	IZQ	5	21°	105.07	70.05	74.43	48.16	48.16

9	km 0+160	IZQ	5	22°	108.91	100.2	74.06	60.99	47.92
10	km 0+180	IZQ	5	21°	105.07	78.81	65.67	43.78	39.4
11	km 0+200	IZQ	5	22°	87.13	52.28	56.63	43.56	30.5
12	km 0+220	IZQ	5	22°	91.49	60.99	34.85	30.5	8.71
13	km 0+240	IZQ	5	23°	117.04	95.37	65.02	52.02	39.01
14	km 0+260	IZQ	5	22°	117.62	87.13	65.35	56.63	34.85
15	km 0+280	IZQ	5	21°	105.07	74.43	65.67	48.16	26.27

Tabla 11. Tabla de las mediciones corregidas de acuerdo a la temperatura que presentan.

Una vez obtenida la medición de deflexiones corregidas del pavimento se realizó el cálculo de los radios de curvatura de cada progresiva a lo largo de la avenida.

En este cuadro se realizó y halló los radios de curvatura de cada progresiva, la cual nos permitió hallar la deformación que sufren las capas asfálticas.

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

Rc: Radio de curvatura

D0: Deflexión máxima

D25: Deflexión después de 25 cm

DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDAS: E ⁻² mm					RADIO DE CURVATURA
Lmáx.	L25	L50	L75	L100	
56.92	39.40	17.51	13.13	8.76	178.44
78.42	52.28	43.56	26.14	13.07	119.55
78.81	48.16	17.51	13.13	8.76	101.97

88.00	<u>74.80</u>	52.80	39.60	22.00	236.74
96.80	74.80	22.00	13.20	8.80	142.05
109.45	83.18	39.40	48.16	43.78	118.96
79.20	61.60	35.20	22.00	13.20	177.56
74.43	48.16	35.02	26.27	17.51	118.96
79.20	61.60	<u>35.20</u>	22.00	13.20	177.56
74.43	52.54	39.40	17.51	8.76	142.76
74.43	48.16	35.02	21.89	8.76	118.96
74.06	47.92	21.78	17.43	8.71	119.55
88.00	66.00	39.60	30.80	17.60	142.05
87.13	60.99	39.21	30.50	17.43	119.55
78.42	56.63	34.85	26.14	17.43	143.47

Tabla 12. Tabla de Radio de curvatura (DER)

DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDAS: E ⁻² mm					RADIO DE CURVATURA
Lmáx.	L25	L50	L75	L100	
87.13	60.99	43.56	34.85	13.07	119.55
91.49	56.63	60.99	47.92	39.21	89.67
86.7	60.69	47.68	34.68	13	120.15
118.8	<u>96.8</u>	74.8	61.6	48.4	142.05
87.13	60.69	52.28	34.85	13.07	119.56
100.7	74.43	56.92	48.16	26.27	118.96
95.84	69.7	60.99	47.92	34.85	119.55
105.07	70.05	74.43	48.16	48.16	89.22
108.91	100.2	<u>74.06</u>	60.99	47.92	358.66
105.07	78.81	65.67	43.78	39.4	118.96
87.13	52.28	56.63	43.56	30.5	89.67
91.49	60.99	34.85	30.5	8.71	102.48
117.04	95.37	65.02	52.02	39.01	144.18
117.62	87.13	65.35	56.63	34.85	102.48
105.07	74.43	65.67	48.16	26.27	101.97

Tabla 13. Tabla de Radio de curvatura (IZQ)

Una vez obtenida los radios de curvatura de ambos carriles de la av. Carlos Izaguirre se realizó el cálculo de los promedios de deflexiones y radio de curvatura.

DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDAS: E ⁽⁻²⁾ mm						RADIO DE CURVATURA
Promedio	Lmáx	L25	L50	L75	L100	
	81.18	58.41	33.87	24.53	15.18	143.88
Máximo	109.45	83.18	52.8	48.16	43.78	236.74
Mínimo	56.92	39.4	17.51	13.13	8.71	101.97

Tabla 14. Tabla de promedio de deflexiones corregidas y radio de curvatura (DER)

DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDAS: E ⁽⁻²⁾ mm						RADIO DE CURVATURA
Promedio	Lmáx	L25	L50	L75	L100	
	100.35	73.30	59.93	46.25	30.85	129.14
Máximo	118.80	100.20	74.80	61.60	48.40	358.66
Mínimo	86.70	52.28	34.85	30.50	8.71	89.22

Tabla 15. Tabla de promedio de deflexiones corregidas y radio de curvatura (IZQ)

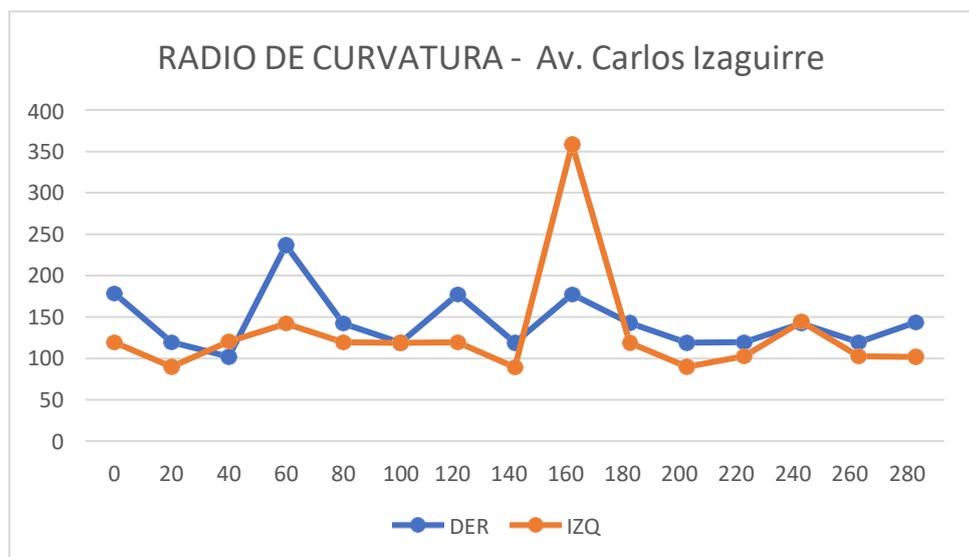


Figura 9. Gráfica de Radio de Curvatura en Av. Carlos Izaguirre

Luego de hallar el promedio de deflexiones máximas y el de radio de curvatura, se calculó:

$$D_c = D + m \cdot s$$

D_c: Deflexión característica

D: Deflexión máxima promedio

S: Desviación estándar

M: Nivel de confianza

Tipo de Carretera	Deflexión Característica Dc	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	$Dc = Dm + 1.645xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	$Dc = Dm + 1.645xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$Dc = Dm + 1.645xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$Dc = Dm + 1.282xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles	$Dc = Dm + 1.282xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	$Dc = Dm + 1.036xds$	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 85%

Tabla 16. Definición de Deflexiones Características según Tipo de carretera -MTC

Para este ensayo se trabajó con un nivel de confianza de 95 con un valor de 1.65, se halló la desviación estándar de 11.883(para el margen derecho) y 11.79(para el margen izquierdo). Por lo tanto, obtuvimos que:

$$Dc = 81.18 + 1.65 * 11.883$$

$D_c = 100.7 E^{-2}$ mm (para el carril derecho)

$$D_c = 100.35 + 1.65 * 11.79$$

$D_c = 119.7 E^{-2}$ mm (para el carril izquierdo)

Una vez se obtuvo la deflexión característica del promedio de deflexiones de las progresivas se calculó la deformación admisible, esta a su vez se halló con la siguiente fórmula:

$$D_{adm} = 803.5 * N^{-0.16}$$

En este caso como se trabajó con la viga Benkelman según norma por el MTC, la deformación admisible se evaluó con la siguiente fórmula:

$$D_{adm} = (1.15/N)^{0.25}$$

Donde N se le conoce como al número de ejes equivalentes, en este caso el de 8.2 toneladas

Datos Iniciales	Peso del eje trasero	8200 kg
	N° de ejes equivalentes a 20 años	$6.32 E^6$
	Deformación admisible	$65.31 E^{-2}$ mm

Tabla 17. Tabla de Deformación admisible

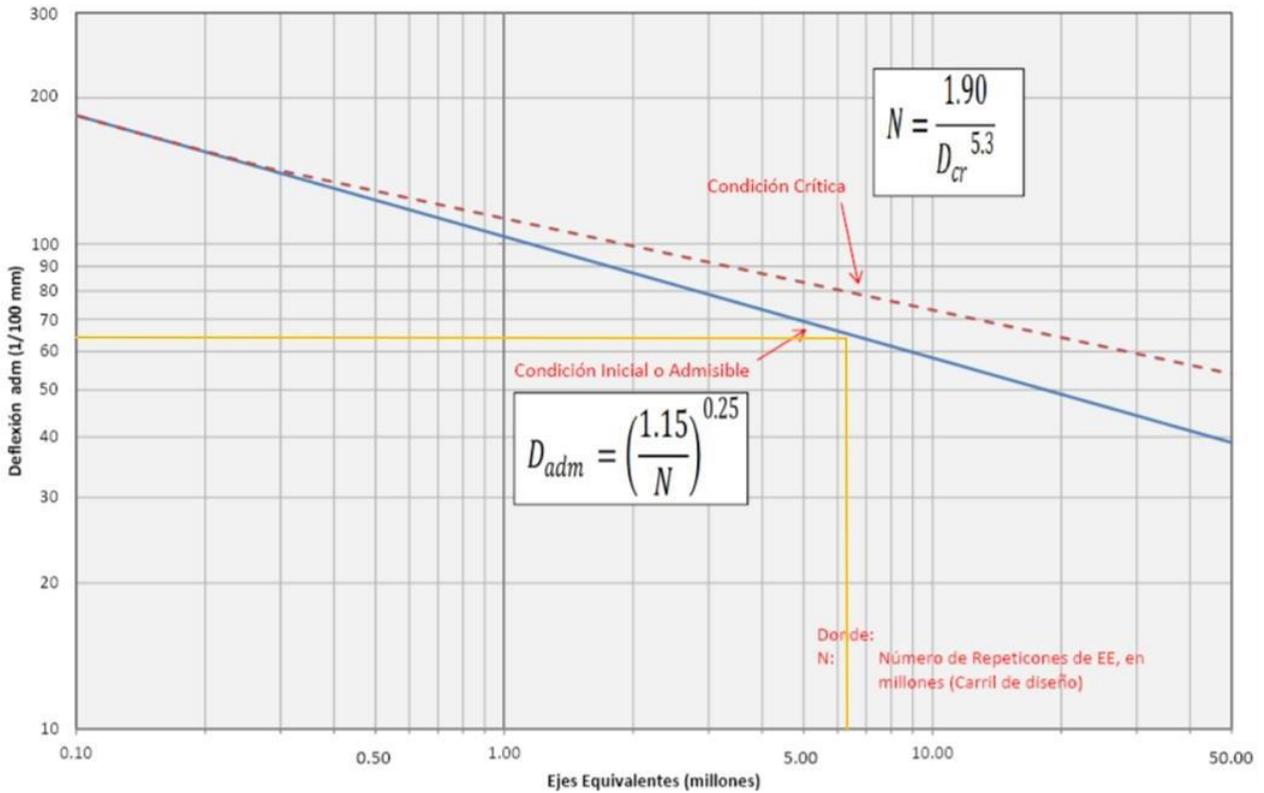


Figura 10. Gráfico de la deflexión admisible de la Av. Carlos Izaguirre - MTC

En este gráfico se observó que la deflexión admisible se encuentra dentro del rango de tolerancia, la cual nos indicó que el comportamiento del pavimento estudiado se presentó de manera satisfactoria en relación con el fluido vehicular a la que es sometida.

Por otro lado, se comparó tanto las deflexiones características y admisibles, a través de un método de evaluación, lo cual permitió analizar la capacidad de la estructura del pavimento, con relación al flujo vehicular y sometidas a cargas, y nos permitió saber la condición de esta para saber si necesita una renovación, o por otro lado si es que es necesario un refuerzo, o en el caso más extremo si la condición de esta es deplorable, y necesita una reconstrucción total.

Luego de que se halló todas las deflexiones, se procedió a realizar los cuadros comparativos, junto con las gráficas, a este se le conoce como Deflectograma, los cuales nos indicará los puntos de variaciones de las deflexiones en los pavimentos estudiados.

Progresivas	D0	Dc	Da
0	56.92	100.7	65.31
20	78.42	100.7	65.31
40	78.81	100.7	65.31
60	88	100.7	65.31
80	96.8	100.7	65.31
100	109.45	100.7	65.31
120	79.2	100.7	65.31
140	74.43	100.7	65.31
160	79.2	100.7	65.31
180	74.43	100.7	65.31
200	74.43	100.7	65.31
220	74.06	100.7	65.31
240	88	100.7	65.31
260	87.13	100.7	65.31
280	78.42	100.7	65.31

Tabla 18: Tabla de Deflexiones generales-Av. Carlos Izaguirre (margen DER)

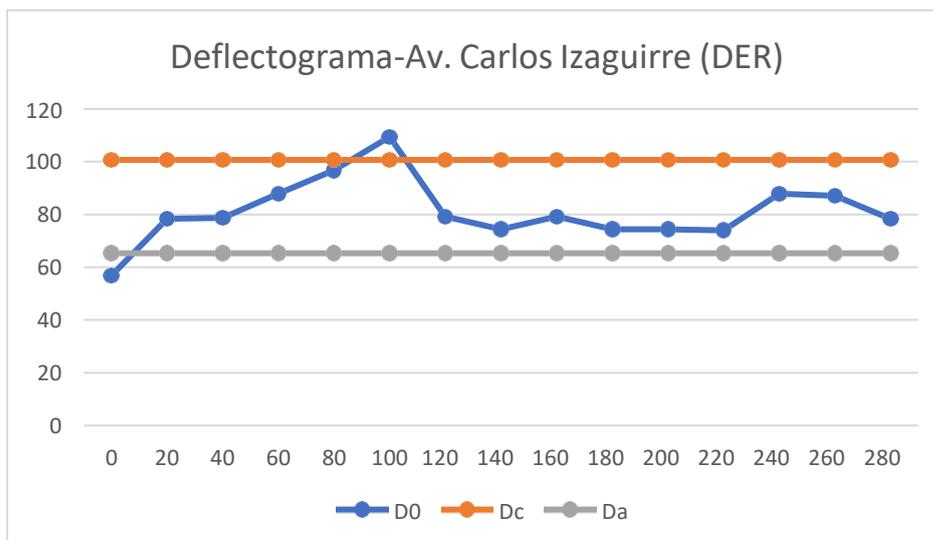


Figura 11. Deflectograma de la av. Carlos Izaguirre (margen DER)

Progresivas	D0	Dc	Da
0	87.13	119.7	65.31
20	91.49	119.7	65.31
40	86.7	119.7	65.31

60	118.8	119.7	65.31
80	87.13	119.7	65.31
100	100.7	119.7	65.31
120	95.84	119.7	65.31
140	105.07	119.7	65.31
160	108.91	119.7	65.31
180	105.07	119.7	65.31
200	87.13	119.7	65.31
220	91.49	119.7	65.31
240	117.04	119.7	65.31
260	117.62	119.7	65.31
280	105.07	119.7	65.31

Tabla 19. Tabla de Deflexiones generales-Av. Carlos Izaguirre (margen IZQ)

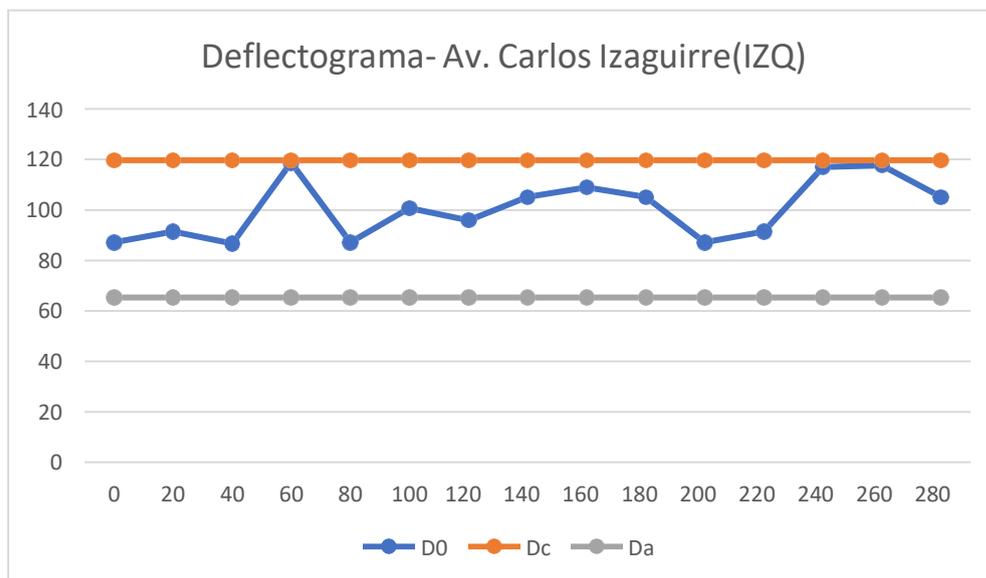


Figura 12. Deflectograma de la av. Carlos Izaguirre (margen IZQ)

Por otro lado, para la av. Canta Callao también se realizó el ensayo, puesto que en esta avenida es conocido por el fluido vehicular de camiones de cargas en su mayoría, lo cual implicó variaciones en las deformaciones.

N°	PROGRESIVA	MARGEN	e c.a (cm)	Temp. Pavim (cm)	LECTURA DE CAMPO E [^] (-2) mm				
					Lmáx.	L25	L50	L75	L100
1	km 0+0	DER	5	22°	17	7	10	12	14
2	km 0+20	DER	5	20°	21	7	9	10	14
3	km 0+40	DER	5	21°	22	8	15	17	18
4	km 0+60	DER	5	22°	23	7	9	11	14
5	km 0+80	DER	5	21°	26	6	16	18	22
6	km 0+100	DER	5	21°	27	8	13	15	17
7	km 0+120	DER	5	22°	20	5	11	13	15
8	km 0+140	DER	5	20°	18	8	9	12	15
9	km 0+160	DER	5	20°	20	7	11	14	16
10	km 0+180	DER	5	21°	19	7	9	11	14
11	km 0+200	DER	5	21°	19	8	13	14	15
12	km 0+220	DER	5	22°	21	6	10	14	18
13	km 0+240	DER	5	20°	19	7	12	12	13
14	km 0+260	DER	5	22°	22	9	16	17	19
15	km 0+280	DER	5	22°	21	6	11	14	17

Tabla 20. Tabla de medición de margen derecho de carril en av. Canta Callao

En esta tabla se observa la aplicación del ensayo de Viga Benkelman en el margen derecho del carril de la av. Canta Callao, previa calibración del aparato debido a la variación de la temperatura, se puede observar que esta tiene como espesor de carpeta asfáltica promedio 5 cm, ya que si este espesor oscila entre los 5 cm o es mayor a este, se encuentra influenciada por el cambio de temperatura, debido a que la magnitud incrementa, se toma como una reducción de rigidez sobre las capas.

N°	PROGRESIV A	MARGE N	e c.a (cm)	Temp. Pavim (cm)	LECTURA DE CAMPO E [^] (-2) mm				
					Lmáx	L25	L50	L75	L100
1	km 0+0	IZQ	5	21°	17	7	12	12	13
2	km 0+20	IZQ	5	22°	22	9	11	14	17
3	km 0+40	IZQ	5	21°	22	10	17	17	18
4	km 0+60	IZQ	5	20°	22	6	11	13	17
5	km 0+80	IZQ	5	22°	24	8	20	21	22
6	km 0+100	IZQ	5	20°	23	9	19	16	17
7	km 0+120	IZQ	5	22°	20	7	13	15	17
8	km 0+140	IZQ	5	21°	21	9	12	13	15
9	km 0+160	IZQ	5	20°	22	7	13	15	17
10	km 0+180	IZQ	5	21°	21	8	11	15	17
11	km 0+200	IZQ	5	22°	21	9	12	14	17
12	km 0+220	IZQ	5	22°	21	9	15	15	17
13	km 0+240	IZQ	5	23°	24	8	14	15	18
14	km 0+260	IZQ	5	22°	24	9	14	15	18
15	km 0+280	IZQ	5	20°	22	8	13	14	16

Tabla 21. Tabla de medición de margen izquierdo de carril en av. Canta Callao

En esta tabla se puede observar el ensayo realizado en el carril izquierdo de la avenida donde no hubo variación en cuanto a la carpeta asfáltica, por otro lado, la temperatura si varía lo cual afecta a la deformación, para ello se realizará la corrección de acuerdo a la temperatura.

Para la corrección de temperatura corregidas de las deformaciones primero, al igual que en la av. Carlos Izaguirre se halló los promedios en cada carril, y se indicó cuando fue la deformación máxima y mínima.

Promedio	5	21.13°	21	7.07	11.60	13.60	16.07
Máxima	5	22°	27	9	16	18	22
Mínimo	5	20°	17	5	9	10	13

Tabla 20. Tabla de promedio de la medición de deflexiones sin corregir (DER)

Promedio	5	21.3°	22	8.20	13.80	14.93	17.07
Máxima	5	23°	24	10	20	21	22
Mínimo	5	20°	17	6	11	12	13

Tabla 21. Tabla de promedio de la medición de deflexiones sin corregir (IZQ)

Luego se realizó la corrección con la temperatura debido a la variación que existe sobre la carpeta asfáltica, por medio del cual se encontrará el radio de curvatura.

No obstante, se debe de calcular el factor de corrección por temperatura, se conoce que para temperaturas de menor rango o igual a 40° C, se puede aplicar el método estudiado anteriormente, pero como ya la temperatura oscila entre los 20°, entonces nuestro factor se tomó:

F.C. E
1.1

N°	PROGRESIVA	MARGEN	e c.a (cm)	Temp. Pavim (cm)	DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDAS: E [^] (-2) mm				
					Lmáx.	L25	L50	L75	L100
1	km 0+0	DER	5	22°	74.06	43.56	30.50	21.78	13.07
2	km 0+20	DER	5	20°	92.40	61.60	52.80	48.40	30.80
3	km 0+40	DER	5	21°	96.32	61.29	30.65	21.89	17.51
4	km 0+60	DER	5	22°	100.20	69.70	60.99	52.28	39.21
5	km 0+80	DER	5	21°	113.83	87.56	43.78	35.02	17.51
6	km 0+100	DER	5	21°	118.21	83.18	61.29	52.54	43.78
7	km 0+120	DER	5	22°	87.13	65.35	39.21	30.50	21.78
8	km 0+140	DER	5	20°	79.20	44.00	39.60	26.40	13.20
9	km 0+160	DER	5	20°	88.00	57.20	39.60	26.40	17.60
10	km 0+180	DER	5	21°	83.18	52.54	43.78	35.02	21.89
11	km 0+200	DER	5	21°	83.18	48.16	26.27	21.89	17.51

12	km 0+220	DER	5	22°	91.49	65.35	47.92	30.50	13.07
13	km 0+240	DER	5	20°	83.60	52.80	30.80	30.80	26.40
14	km 0+260	DER	5	22°	95.84	56.63	26.14	21.78	13.07
15	km 0+280	DER	5	22°	91.49	65.35	43.56	30.50	17.43

Tabla 22. Tabla de las mediciones corregidas de acuerdo a la temperatura que presentan

N°	PROGRESIVA	MARGEN	e c.a (cm)	Temp. Pavim (cm)	DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDAS: E ⁻² mm				
					Lmáx.	L25	L50	L75	L100
1	km 0+0	DER	5	21°	74.43	43.78	21.89	21.89	17.51
2	km 0+20	DER	5	22°	95.84	56.63	47.92	34.85	21.78
3	km 0+40	DER	5	21°	96.32	52.54	21.89	21.89	17.51
4	km 0+60	DER	5	20°	96.80	70.40	48.40	39.60	22.00
5	km 0+80	DER	5	22°	104.55	69.70	17.43	13.07	8.71
6	km 0+100	DER	5	20°	101.20	61.60	17.60	30.80	26.40
7	km 0+120	DER	5	22°	87.13	56.63	30.50	21.78	13.07
8	km 0+140	DER	5	21°	91.94	52.54	39.40	35.02	26.27
9	km 0+160	DER	5	20°	96.80	66.00	39.60	30.80	22.00
10	km 0+180	DER	5	21°	91.94	56.92	43.78	26.27	17.51
11	km 0+200	DER	5	22°	91.49	52.28	39.21	30.50	17.43
12	km 0+220	DER	5	22°	91.49	52.28	26.14	26.14	17.43
13	km 0+240	DER	5	23°	104.04	69.36	43.35	39.01	26.01
14	km 0+260	DER	5	22°	104.55	65.35	43.56	39.21	26.14
15	km 0+280	DER	5	20°	96.80	61.60	39.60	35.20	26.40

Tabla 23. Tabla de las mediciones corregidas de acuerdo a la temperatura que presentan

Una vez obtenida la medición de deflexiones corregidas del pavimento se realizó el cálculo de los radios de curvatura de cada progresiva a lo largo de la avenida.

En este cuadro se realizó y halló los radios de curvatura de cada progresiva, la cual nos permitió hallar la deformación que sufren las capas asfálticas.

DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDAS: E ⁻² mm					RADIO CURVATURA
74.06	43.56	30.50	21.78	13.07	102.48
92.40	61.60	52.80	48.40	30.80	101.46
96.32	61.29	30.65	21.89	17.51	89.22

100.20	69.70	60.99	52.28	39.21	102.48
113.83	87.56	43.78	35.02	17.51	118.96
118.21	83.18	61.29	52.54	43.78	89.22
87.13	65.35	39.21	30.50	21.78	143.47
79.20	44.00	39.60	26.40	13.20	88.78
88.00	57.20	39.60	26.40	17.60	101.46
83.18	52.54	43.78	35.02	21.89	101.97
83.18	48.16	26.27	21.89	17.51	89.22
91.49	65.35	47.92	30.50	13.07	119.55
83.60	52.80	30.80	30.80	26.40	101.46
95.84	56.63	26.14	21.78	13.07	79.70
91.49	65.35	43.56	30.50	17.43	119.55

Tabla 24. Tabla de Radio de curvatura (DER)

DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDAS: E ⁽⁻²⁾ mm					RADIO CURVATURA
74.43	43.78	21.89	21.89	17.51	101.97
95.84	56.63	47.92	34.85	21.78	79.70
96.32	52.54	21.89	21.89	17.51	71.38
96.80	70.40	48.40	39.60	22.00	118.37
104.55	69.70	17.43	13.07	8.71	89.67
101.20	61.60	17.60	30.80	26.40	78.91
87.13	56.63	30.50	21.78	13.07	102.48
91.94	52.54	39.40	35.02	26.27	79.31
96.80	66.00	39.60	30.80	22.00	101.46
91.94	56.92	43.78	26.27	17.51	89.22
91.49	52.28	39.21	30.50	17.43	79.70
91.49	52.28	26.14	26.14	17.43	79.70
104.04	69.36	43.35	39.01	26.01	90.11
104.55	65.35	43.56	39.21	26.14	79.70
96.80	61.60	39.60	35.20	26.40	88.78

Tabla 25. Tabla de Radio de curvatura (IZQ)

Una vez obtenida los radios de curvatura de ambos carriles de la av. Canta Callao se realizó el cálculo de los promedios de deflexiones y radio de curvatura.

DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDAS: E ⁽⁻²⁾ mm	RADIO DE CURVATURA
--	--------------------

Promedio	Lmáx	L25	L50	L75	L100	
	91.87	60.95	41.13	32.38	21.59	103.27
Máximo	118.21	87.56	61.29	52.54	43.78	143.27
Mínimo	74.06	43.56	26.14	21.78	13.07	79.70

Tabla 26. Tabla de promedio de deflexiones corregidas y radio de curvatura (DER)

DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDAS: E ⁽⁻²⁾ mm						RADIO DE CURVATURA
Promedio	Lmáx	L25	L50	L75	L100	
	95.02	59.17	34.68	29.74	20.41	88.70
Máximo	104.55	70.40	48.40	39.60	26.40	118.37
Mínimo	74.43	43.78	17.43	13.07	8.71	71.38

Tabla 27. Tabla de promedio de deflexiones corregidas y radio de curvatura (IZQ)

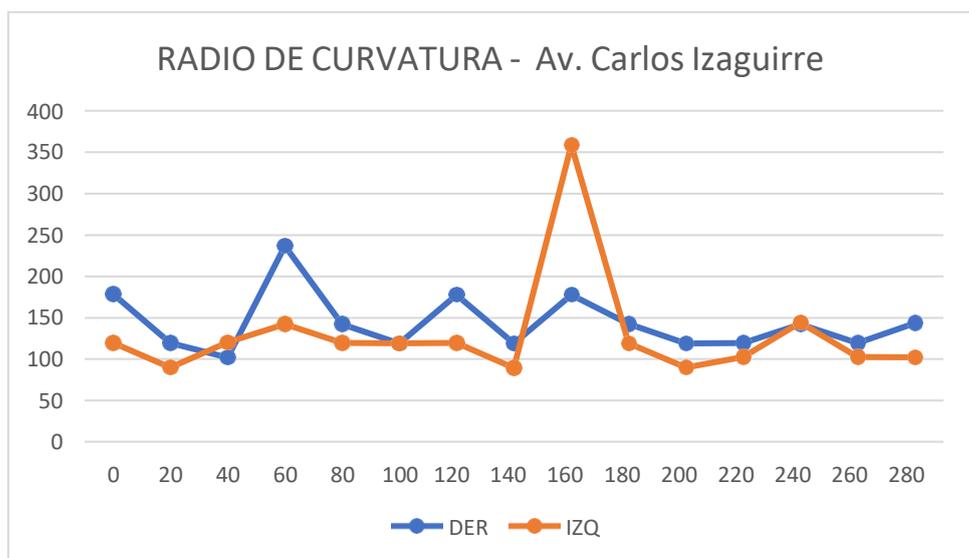


Figura 13. Gráfica de comparación de las deflexiones de av. Carlos Izaguirre

Luego de hallar el promedio de deflexiones máximas y el de radio de curvatura, se calculó:

$$D_c = D + m*s$$

Para este ensayo se trabajó con un nivel de confianza de 95 con un valor de 1.65, se halló la desviación estándar de 12(para el margen derecho) y 7.762(para el margen izquierdo). Por lo tanto, obtuvimos que:

$$D_c = 91.87 + 1.65 * 12$$

$$D_c = 111.67 E^{-2} \text{ mm (para el carril derecho)}$$

$$D_c = 95.02 + 1.65 * 7.762$$

$$D_c = 107.82 E^{-2} \text{ mm (para el carril izquierdo)}$$

Una vez se obtuvo la deflexión característica del promedio de deflexiones de las progresivas se calculó la deformación admisible, esta a su vez se halló con la siguiente fórmula:

$$D_{adm} = (1.15/N)^{0.25}$$

Donde N se le conoce como al número de ejes equivalentes, en este caso el de 8.2 toneladas.

Datos Iniciales	Peso del eje trasero	8200 kg
	N° de ejes equivalentes a 20 años	6.35 E ⁶
	Deformación admisible	65.24 E ⁻² mm

Tabla 28. Tabla de Deformación admisible

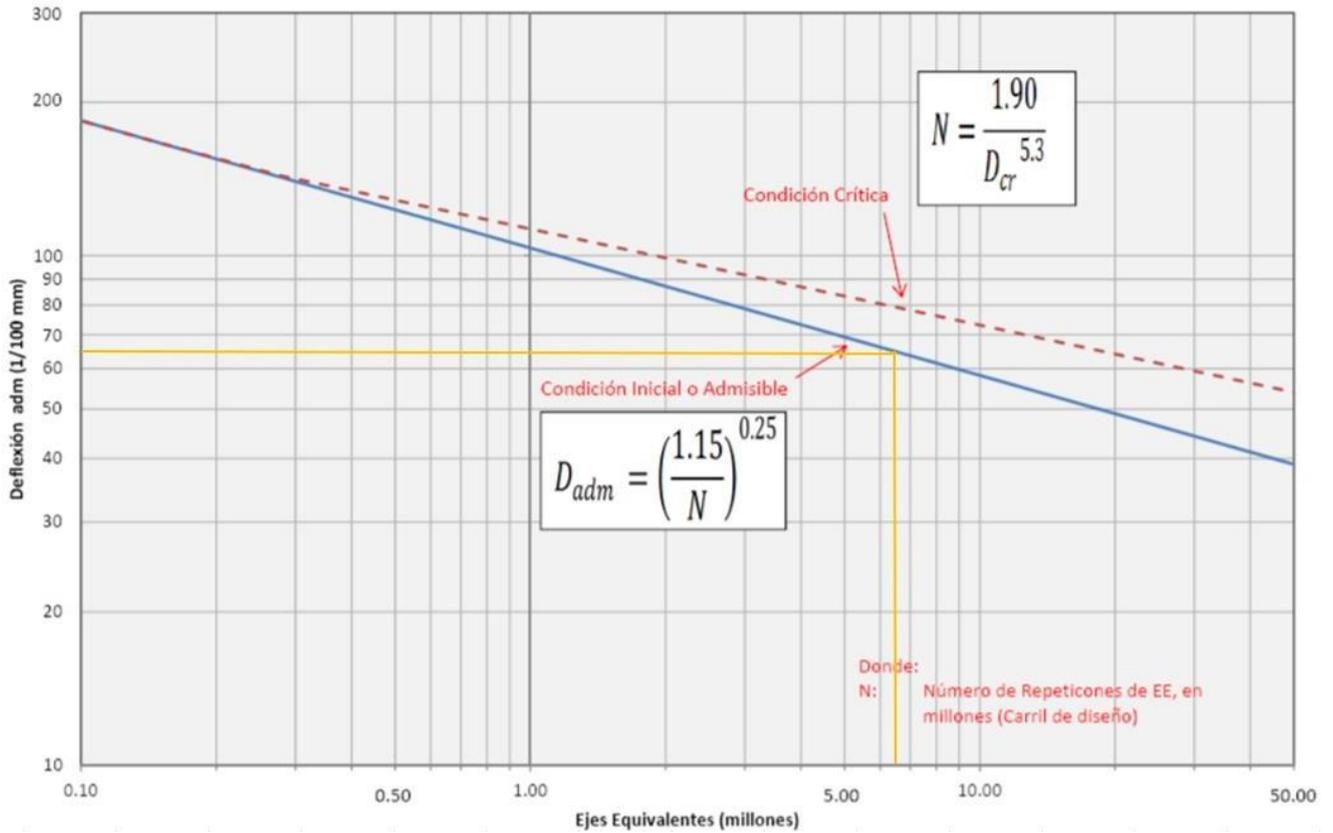


Figura 14. Gráfico de la deflexión admisible de la Av. Canta Callao - MTC

Luego de que se halló todas las deflexiones, se procedió a realizar los cuadros comparativos, junto con las gráficas, a este se le conoce como Deflectograma, los cuales nos indicará los puntos de variaciones de las deflexiones en los pavimentos estudiados.

Progresivas	D0	Dc	Da
0	74.06	111.60	65.24
20	92.40	111.60	65.24
40	96.32	111.60	65.24
60	100.20	111.60	65.24
80	113.83	111.60	65.24
100	118.21	111.60	65.24
120	87.13	111.60	65.24
140	79.20	111.60	65.24
160	88.00	111.60	65.24
180	83.18	111.60	65.24
200	83.18	111.60	65.24
220	91.49	111.60	65.24
240	83.60	111.60	65.24
260	95.84	111.60	65.24
280	91.49	111.60	65.24

Tabla 29. Tabla de Deflexiones generales-Av. Canta Callao (margen DER)

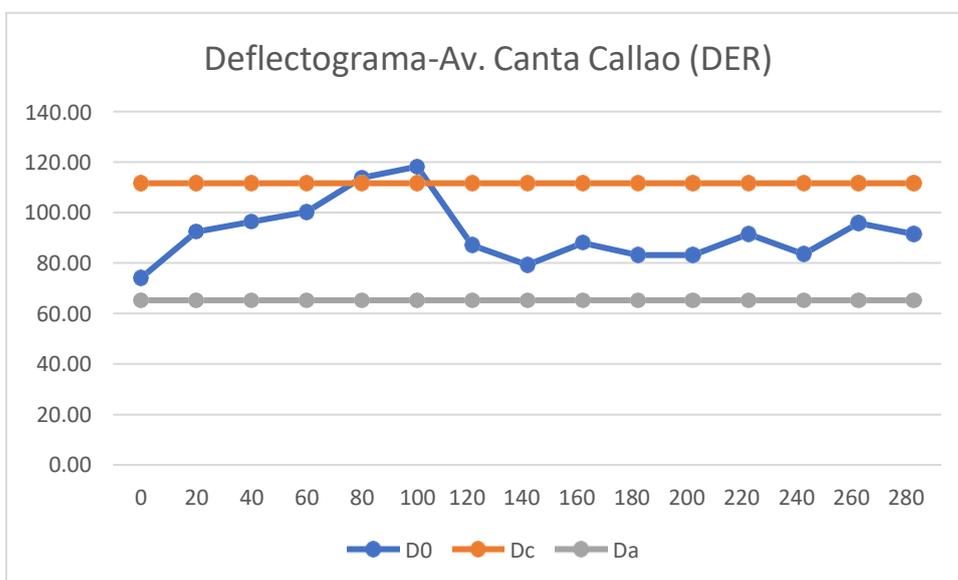


Figura 15. Deflectograma de la av. Canta Callao (margen DER)

Progresiva	D0	Dc	Da
0	74.43	107.80	65.24
20	95.84	107.80	65.24
40	96.32	107.80	65.24
60	96.80	107.80	65.24

80	104.55	107.80	65.24
100	101.20	107.80	65.24
120	87.13	107.80	65.24
140	91.94	107.80	65.24
160	96.80	107.80	65.24
180	91.94	107.80	65.24
200	91.49	107.80	65.24
220	91.49	107.80	65.24
240	104.04	107.80	65.24
260	104.55	107.80	65.24
280	96.80	107.80	65.24

Figura 30. Tabla de Deflexiones generales-Av. Canta Callao (margen IZQ)

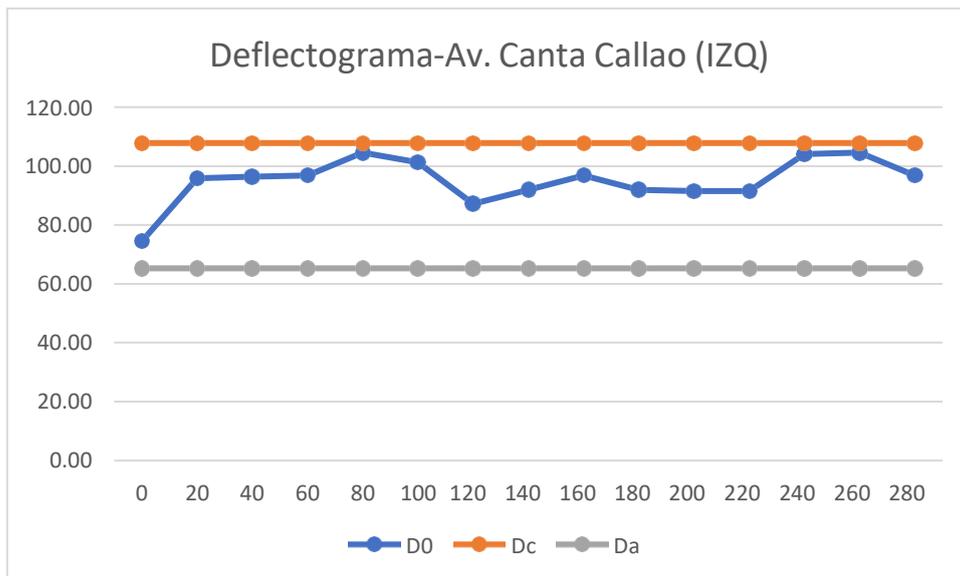


Figura 16. Deflectograma de la av. Canta Callao (margen IZQ)

V. DISCUSIÓN

En relación con el objetivo general en cuanto a analizar por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones av. Carlos Izaguirre y av. Canta Callao, Lima-2020; se llega a sintetizar de acuerdo a los resultados de la investigación que existe una ligera variabilidad en cuanto a la capacidad estructural de los pavimentos estudiados, y se halló la deflexión característica para cada uno de estos, lo cual nos indica en mejor representación el valor de cada determinado sector. Balarezo, Javier (2017) en su tesis “Evaluación estructural usando Viga Benkelman aplicada a un pavimento”, nos indica que en su resultado de acuerdo al deflectograma que se creó a partir de las deflexiones máximas, son discontinuas, en ciertas partes del pavimento, esto puede darse debido a la edad que presenta la estructura del pavimento, lo cual sería una explicación a la variabilidad en las deflexiones.

En mi investigación también los resultados demuestran que existen una variabilidad en cuanto a las deflexiones, más aún en la progresiva 0+040km hasta la progresiva 0+100km, donde la mayor deflexión es en la progresiva 0+100km, esto se debe al desgaste de la estructura, esto se da en el carril derecho de la av. Carlos Izaguirre.

Se tomó la medida del ensayo por ambos carriles, por ende, el lado izquierdo del carril de la av. Carlos Izaguirre las deflexiones máximas no presentan una variabilidad discontinua, esto en comparación con el otro carril de la avenida.

Por otro lado, en la avenida Canta Callao en el carril derecho se puede observar en nuestra gráfica de Deflectograma en la progresiva 0+050km hasta la progresiva 0+100km, existe una ligera variabilidad en las deflexiones máximas, pero en el carril izquierdo de la avenida, las deflexiones máximas no presentan discontinuidad, por ende, las deflexiones no presentan una variación a lo largo de la estructura del pavimento. Esto permitirá hacer un promedio de cálculo de deflexiones que permitió trabajar y analizar las deflexiones para realizar la comparación.

En cuanto al primer objetivo específico en la investigación sobre cuál será la deflexión máxima en la avenida Carlos Izaguirre y avenida Canta Callao, Lima-2020. Domínguez, Walter (2011) en su tesis “Evaluación estructural, del pavimento con viga Benkelman - modelo matemático, carretera Cañete-Chupaca-sistematización del proceso y propuesta del manual”, nos indica en uno de sus

objetivos que de acuerdo a los datos que obtuvo en campo hay una diferencia en cuanto a la gráfica del deflectograma, en donde no coinciden en algunas progresivas, ya que existe variación en cuanto a la deflexión, esto se apoya a los gráficos. En el presente trabajo de investigación se mostró como anteriormente se mencionó Deflectogramas con las medidas de las deflexiones en cada progresiva, las deflexiones máximas están representadas con el símbolo D0 puesto que existen se tomaron varias mediciones, en la cual, en el carril derecho de la av., Carlos Izaguirre en la progresiva 0+100km se observa que es el punto máximo de deflexiones máximas.

Por el carril izquierdo se observa de acuerdo al deflectograma que el punto máximo de las deflexiones se encuentra en la progresiva 0+060km, en este carril las deflexiones máximas no varían demasiado.

Por otro lado en la avenida Canta Callao según el deflectograma en el carril derecho el punto de deflexión máxima se encuentra en la progresiva 0+100km, en comparación con el carril izquierdo de la avenida el punto de la deflexión máxima se presenta en tres progresivas, puesto que se tomó como puntos de deflexiones a las tres progresivas 0+60km, 0+240km y 0+260km, con esto se dio a conocer que las deflexiones no presentan variación en este pavimento.

En cuanto al segundo objetivo específico de la investigación sobre cual será la deflexión característica y la deflexión admisible en la avenida Carlos Izaguirre y avenida Canta Callao, Lima – 2020. Robles, Vladimir (2016) Evaluación y diagnóstico del pavimento flexible en la carretera Cátac – Huari, tramo Cátac - Querococha, utilizando la viga Benkelman y el método PCI, indicó que el estudio realizado al pavimento flexible, según el estudio de las deflexiones presentaban discontinuidad, puesto que supera a la deflexión admisible, por ende se llegó a la conclusión que el pavimento debido a la edad presenta deterioro debido al volumen del tráfico que presenta.

En este trabajo de investigación se presentó las medidas de deflexiones a cada cierto tramo con medidas adicionales cada 25 m, para hallar la deflexión característica se calculó en primer lugar el promedio de las deflexiones máximas de la av. Carlos Izaguirre tanto en el carril derecho como en el carril izquierdo,

puesto que se conoce que se trabajó con un nivel de confianza de 95, donde el valor de m es 1.65, el resultado de la desviación estándar se halló de acuerdo al ensayo de la viga Benkelman, con estos valores se calculó la deflexión característica, luego se calcula la deflexión admisible con una gráfica comparativa para saber en que punto se encuentra la relación con la característica, puesto que no está fuera de rango según el MTC, no presentó condición crítica.

Esta misma condición se realizó para el carril izquierdo de la av. Carlos Izaguirre, trabajando con el mismo nivel de confianza, pero con otra deflexión característica, sin embargo, no presentó variación en la deflexión admisible, por ende, la comparación con la gráfica de deflexiones con la característica nos mostró que no se encuentra fuera de rango, es decir que el pavimento no presenta una condición crítica.

Por otro lado, en la av. Canta Callao se promedió las deflexiones máximas tanto del carril derecho como el del carril izquierdo, se trabajó con el mismo nivel de confianza que es de 1.65, pero la desviación estándar cambia ya que es otra avenida estudiada, con esto se hizo una comparación en las gráficas de deflexiones admisibles y características, donde se puede observar que a pesar de la diferencia en las deflexiones características de cada carril, no presentan condición crítica a lo largo de la estructura.

Esta comparación implicó una serie de análisis que permitió establecer la capacidad estructural del pavimento existente en relación al tráfico, donde se definió si la estructura es adecuada o solo requiere una renovación superficial.

En cuanto a nuestro tercer objetivo específico en donde se determinó la condición estructural de los pavimentos en la avenida Carlos Izaguirre y la avenida Canta Callao. Carrera, Guillermo (2010) Control de la deflexión vertical con Viga Benkelman monitoreo de conservación carretera Cañete-Huancayo km.110+000 al km.112+000, donde señaló que no existe variación en cuanto al radio de curvatura, puesto que el tramo no necesitó ser reforzado estructuralmente, lo cual solo se identificó fallas de tratamiento superficial. En cuanto al trabajo de investigación se realizó una comparación entre los radios de curvatura de la avenida Carlos Izaguirre donde no presentó una variación en cuanto al radio de curvatura, por lo cual la

estructura no requiere de reforzamiento, por otro lado en la avenida Canta Callao como se observó en la gráfica de los radios de curvaturas se observó una pequeña variación en la progresiva 0+040km , entonces la condición estructural del pavimento necesita un pequeño refuerzo estructural , ya que existe una disminución en cuanto al radio de curvatura, donde se necesita un monitoreo para estudiar las posibles causas.

VI. CONCLUSIONES

1. Se determinó el análisis por deflectometría en los pavimentos en las av. Carlos Izaguirre y av. Canta Callao, en donde se realizó la medición con la viga cada cierto tramo, y además se realizó medidas adicionales, donde se dio a conocer como es el funcionamiento de este ensayo y para qué sirve, lo cual nos demostró que es uno de los métodos mas cómodos en cuanto a conocimiento de la condición estructural de los pavimentos estudiados.
2. Se determinó el análisis de las deflexiones máximas en cada progresiva de los dos pavimentos, en donde se conoció que en la avenida Carlos Izaguirre en carril derecho existe una variación mínima en cuanto a la discontinuidad, mientras que en el tramo izquierdo las deflexiones no presentan discontinuidad, esto quiere decir que no varían en cuanto a deflexiones máximas.
3. Se determinó el análisis de las deflexiones características y admisibles en cada avenida tanto Carlos Izaguirre como Canta Callao, donde se realizó la comparación entre las deflexiones para saber si se encontraban dentro del rango permitido según MTC o si se encontraban en condición crítica, y se determinó que las dos avenidas se encuentran dentro del rango permitido.
4. Se determinó el análisis de la condición estructural de los pavimentos mediante el análisis de la grafica de los radios de curvaturas en las dos pavimentaciones, en donde se llegó a la conclusión que la pavimentación en la avenida Carlos Izaguirre no requiere de algún refuerzo estructural o mantenimiento, por otro lado en la avenida Canta Callao se necesita un estudio o monitoreo más preciso para precisar el reforzamiento estructural de este.

VII. RECOMENDACIONES

- Como uno de las recomendaciones principales, se propone realizar un nuevo análisis de mayor longitud del pavimento, puesto que no se conoce la condición estructural de todo el tramo de las dos avenidas, para así poder tener un monitoreo más específico y más preciso
- Se recomienda realizar el monitoreo en las progresivas estudiadas, donde presentan desgaste en la estructura del pavimento, ya que estas pueden necesitar un refuerzo en la estructura.
- Implementación de recolección de datos a partir de estudios realizados anteriormente, puesto que esto llevaría a facilitar el monitoreo de las pavimentaciones.
- Utilización de este método de ensayo no destructivo, puesto que el costo no es excesivo, y considerarlo, ya que el manejo de la viga es sencillo y es de trabajo rápido para la obtención de deflexiones.

REFERENCIAS

- TINOCO, Juan. Metodología para la evaluación estructural en pavimentos flexibles, a través de pruebas no destructivas. (Tesis de Magister en Ingeniería Civil). México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,2018.145 pp.
- OCAÑA, Freddy y CRUZ, Óscar. Evaluación estructural de pavimentos flexibles construidos en la localidad de Usme utilizando el deflectómetro de impacto o FWD.Bogotá. Colombia: Universidad Santo Tomás,2019.130 pp.
- GÓMEZ, Orlando. Criterios de optimización del diseño de sobrecarpetas asfálticas para Bogotá, basados en ensayos no destructivos. Colombia: Universidad Nacional de Colombia,2015. 122 pp.
- LEAL, Mario. Relación entre el módulo resiliente hallado por retrocálculo y el encontrado en ensayos de laboratorio. (Tesis de Magister en Ingeniería Civil). Colombia: Universidad Nacional de Colombia,2010. 131 pp.
- BALAREZO, Javier. Evaluación estructural usando viga Benkelman aplicada a un pavimento (Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil) Piura, Perú. Universidad de Piura,2017. 168 pp.
- CARAHUATAY, Ronald. Determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera San Miguel-Pablo, Tramo San Miguel-Sunuden; Mediante el análisis Deflectométrico. (Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil) Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca,2015.156 pp.
- RAMOS, Vilca. Evaluación del estado del pavimento por deflectometría e índice de rugosidad internacional de la carretera: Puno – Vilque – Mañazo - 4km críticos – 2015. (Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil) Puno, Perú. Universidad del Altiplano,2013.150 pp.
- ROBLES, Vladimir. Evaluación y diagnóstico del pavimento flexible en la carretera Cátac – Huari, tramo Cátac - Querococha, utilizando la viga Benkelman y el método PCI. (Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil) Lima, Perú. Universidad César Vallejo,2016. 147 pp.
- JIMENEZ, Milton. Diagnostico estructural de afirmado estabilizado con cloruro de magnesio mediante el modelo matemático de Hogg y Viga

Benkelman. (Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil) Lima, Perú. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2014. 225 pp.

- FLORES, Leonardo. Evaluación estructural de pavimentos flexibles de carreteras de bajo volumen de tránsito. (Tesis de Magister en Ingeniería Civil). Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería, 2012. 100 pp.
- DOMINGUEZ, Walter. Evaluación estructural, del pavimento con viga Benkelman - modelo matemático, carretera Cañete-Chupaca-sistematización del proceso y propuesta del manual. (Tesis de Magister en Ingeniería Civil). Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería, 2011. 59 pp.
- AVILA, Eddison y ALBARRACIN, Flavio. Evaluación de pavimentos en base a métodos no destructivos y análisis inverso. Cuenca. Ecuador. Universidad de Cuenca, 2015. 17 pp.
- L. Von Quintus, H., Chetana, R., y Irwin, L. (2015). Long-Term Pavement Performance Program Determination of In-Place Elastic Layer Modulus: Backcalculation Methodology and Procedures, FHWA-HRT-15-036. Georgetown Pike, McLean.
- HORAK, Emile. Benchmarking the structural condition of flexible pavements with deflection bowl parameters. Vol 50 No 2. Pretoria. University of Pretoria, 2008. 652 pp.
- S. Y. Zolfeghari Far, K. A. Kassim, A. Eisazadeh, and M. Khari. An Evaluation of the Tropical Soils Subjected Physicochemical Stabilization for Remote Rural Roads. Department of Geotechnics and Transportation, Civil Engineering Faculty, University Technology, Malaysia Civil Engineering Faculty, University Technology Malaysia, Malaysia. 2013. 826 pp.
- Montuschi, A. (2012). Flexible pavement design using Mechanistic-Empirical methods: the Californian approach, 184 pp.
- BEJARANO, L. Análisis estructural de un pavimento flexible con presencia de deterioro, por medio de deflexiones obtenidas con equipos de carga dinámica y estática. Universidad Nacional de Colombia. 2015.
- OFFEI, E., Young, R., Ksaibati, K., & Apronti, D. Evaluating base widening methods. 2013.
- SMITH K. D., BRUINSMA, J. E., WADE, M. J., Chatti, K., Vandenbossche, J. M., & Yu, H. T. (2017). Using Falling Weight Deflectometer Data with

Mechanistic Empirical Design and Analysis, Volume I: Final Report, FHWA-HRT-16-009 (Vol. 1). Washington, DC.

ANEXOS

“Análisis por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones, av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020”

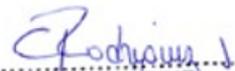
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	VARIABLE INDEPENDIENTE Deflectometría	
¿Cómo será el Análisis por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020?	Realizar el análisis por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020.	Se obtienen los parámetros del análisis por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020.	Dimensiones	Indicadores
			Deflexión máxima	Deflexiones máximas
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Especificas	Medición	Carga máxima
¿Cuál será la deflexión máxima aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020?	Determinar la deflexión máxima aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020.	Se obtienen los valores deflexión máxima aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020.	Método no destructivo	Viga Benkelman
			VARIABLE DEPENDIENTE Pavimentos	
¿Cuál será la deflexión admisible y característica del pavimento en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020? ?	Determinar la deflexión admisible y característica del pavimento en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020.	Se obtienen los valores de las deflexiones admisibles y características del pavimento en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020	Diseño	Carpeta Asfáltica Base Subbase Subrasante
			Deflexiones Características y admisibles	Ejes Equivalentes
¿Cuál será la condición estructural aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020?	Determinar la condición estructural aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020.	Se obtienen la condición estructural aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones flexibles en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020.	Estructura	Radio de Curvatura

PROYECTO DE INVESTIGACION	Análisis por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones, av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020		
AUTOR	Bravo Silvestre Carlos Axel		
INFORMACIÓN GENERAL			
UBICACIÓN	Distrito	SMP	EXPERTO
	Provincia	Lima	
	Departamento	Lima	
ENSAYO DE VIGA BENKELMAN			
1	Ensayos deflectométrico con viga benkelman a nivel de subrasante		
2	Ensayo deflectométrico con viga benkelman a nivel de sub-base.		
3	Calibración de viga y diales previo al ensayo		
Nombres del Experto	Victor	Firma y Sello  Victor F. Castañeda Vilchez ING. CIVIL R. CIP. 103055	
Apellidos del Experto	Castañeda Vilchez		
Fecha	1/10/2020		



PROYECTO DE INVESTIGACION	Análisis por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones, av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020		
AUTOR	Bravo Silvestre Carlos Axel		
INFORMACIÓN GENERAL			
UBICACIÓN	Distrito	SMP	EXPERTO
	Provincia	Lima	
	Departamento	Lima	CUMPLE NO
ENSAYO DE VIGA BENKELMAN			
1	Ensayos deflectométrico con viga benkelman a nivel de subrasante		
2	Ensayo deflectométrico con viga benkelman a nivel de sub-base.		
3	Calibración de viga y diales previo al ensayo		
Nombres del Experto	Raúl Antonio	Firma y Sello  RAÚL ANTONIO PINTO BARRANTES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 51364	
Apellidos del Experto	Pinto Barrantes		
Fecha	1/10/2020		

FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

PROYECTO DE INVESTIGACION	Análisis por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones, av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020		
AUTOR	Bravo Silvestre Carlos Axel		
INFORMACIÓN GENERAL			
UBICACIÓN	Distrito	SMP	EXPERTO
	Provincia	Lima	
	Departamento	Lima	
ENSAYO DE VIGA BENKELMAN			
1	Ensayos deflectométrico con viga benkelman a nivel de subrasante		
2	Ensayo deflectométrico con viga benkelman a nivel de sub-base.		
3	Calibración de viga y diales previo al ensayo		
Nombres del Experto		Carmen Beatriz	Firma y Sello  CARMEN BEATRIZ RODRIGUEZ SOLIS INGENIERA CIVIL Reg.CIP N° 50202
Apellidos del Experto		Rodriguez Solis	
Fecha		6/10/2020	



GEOFAL S.A.C.

GEOTECNIA & LABORATORIO DE MECÁNICA
DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Laboratorio

Se remite el presente documento dirigido a la Universidad Cesar Vallejo, con la finalidad de acreditar al estudiante Bravo Silvestre, Carlos Axel, de la facultad de Ingeniería Civil, lo siguiente.

Realizar:

- Ensayos deflectométrico con viga benkelman a nivel de subrasante
- Ensayo deflectométrico con viga benkelman a nivel de sub-base.
- Calibración de viga y diales previo al ensayo

Toda la documentación a realizarse, solo será para la investigación:

“Análisis por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones, en av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020”


CHIRINOS
RECHARTE BLANCA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 113221

**EVALUACIÓN DE LA DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO
 VIGA BENKELMAN (MTC E 1002)**

SOLICITANTE: Bravo Silvestre, Carlos Axel **PROYECTO:** Análisis por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones, en la av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020

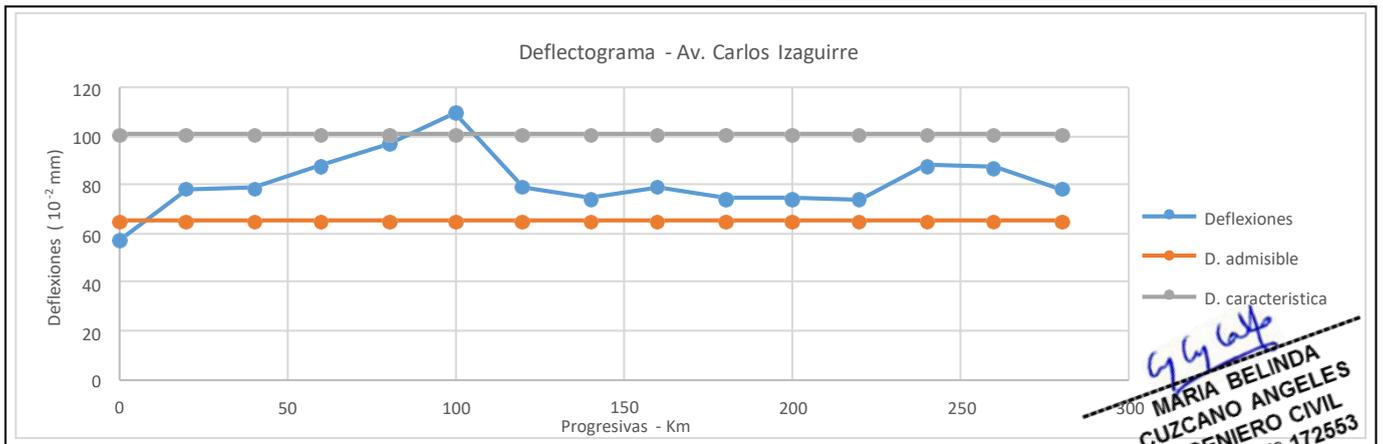
UBICACIÓN: Av. Carlos Izaguirre - San Martín de Porres

REGISTRO: 1110-2020-BS **FECHA INICIO:** 07/10/2020 **INICIO:** Km 0+0.00

EQUIPO: Viga Benkelman doble brazo digital **FECHA RECEPCION:** 01/10/2020 **FIN:** Km 0+280.00

N°	PROGRESIVA	MARGEN	e _{c.a.} (cm)	Temp. Pavim. (°C)	LECTURA DE CAMPO E ⁻² (mm)					F.C.E.	DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDAS E ⁻² (mm)					RADIO DE CURVATURA (M)
					L _{MÁX.}	L25	L50	L75	L100		L _{MÁX.}	L25	L50	L75	L100	
1	Km 0+ 0	DER	5	21°	13	4	9	10	11	1.1	56.92	39.40	17.51	13.13	8.76	178.44
2	Km 0+ 20	DER	5	22°	18	6	8	12	15	1.1	78.42	52.28	43.56	26.14	13.07	119.55
3	Km 0+ 40	DER	5	21°	18	7	14	15	16	1.1	78.81	48.16	17.51	13.13	8.76	101.97
4	Km 0+ 60	DER	5	20°	20	3	8	11	15	1.1	88.00	74.80	52.80	39.60	22.00	236.74
5	Km 0+ 80	DER	5	20°	22	5	17	19	20	1.1	96.80	74.80	22.00	13.20	8.80	142.05
6	Km 0+ 100	DER	5	21°	25	6	16	14	15	1.1	109.45	83.18	39.40	48.16	43.78	118.96
7	Km 0+ 120	DER	5	20°	18	4	10	13	15	1.1	79.20	61.60	35.20	22.00	13.20	177.56
8	Km 0+ 140	DER	5	21°	17	6	9	11	13	1.1	74.43	48.16	35.02	26.27	17.51	118.96
9	Km 0+ 160	DER	5	20°	18	4	10	13	15	1.1	79.20	61.60	35.20	22.00	13.20	177.56
10	Km 0+ 180	DER	5	21°	17	5	8	13	15	1.1	74.43	52.54	39.40	17.51	8.76	142.76
11	Km 0+ 200	DER	5	21°	17	6	9	12	15	1.1	74.43	48.16	35.02	21.89	8.76	118.96
12	Km 0+ 220	DER	5	22°	17	6	12	13	15	1.1	74.06	47.92	21.78	17.43	8.71	119.55
13	Km 0+ 240	DER	5	20°	20	5	11	13	16	1.1	88.00	66.00	39.60	30.80	17.60	142.05
14	Km 0+ 260	DER	5	22°	20	6	11	13	16	1.1	87.13	60.99	39.21	30.50	17.43	119.55
15	Km 0+ 280	DER	5	22°	18	5	10	12	14	1.1	78.42	56.63	34.85	26.14	17.43	143.47
Estadística	Promedio		5.00	20.93	18.53	5.20	10.80	12.93	15.07		81.18	58.41	33.87	24.53	15.18	143.88
	Desviación estándar		-	-	-	-	-	-	-		11.883	-	-	-	-	-
	Máximo		5	22	25	7	17	19	20		109.45	83.18	52.80	48.16	43.78	236.74
	Mínimo		5	20	13	3	8	10	11		56.92	39.40	17.51	13.13	8.71	101.97
DEFLEXION CARACTERISTICA (DC)					100.7 E ⁻² mm											

Datos Iniciales	N° de ejes equivalentes 20 años	6.32 E ⁶
	Deformación admisible (Dadm)	65.31 E ⁻² mm
	Factor de corrección por estacionalidad (F.C.E.)	1.1 Est. Seca
	Peso del eje trasero	8200 kg



**EVALUACIÓN DE LA DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO
 VIGA BENKELMAN (MTC E 1002)**

SOLICITANTE: Bravo Silvestre, Carlos Axel **PROYECTO:** Análisis por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones, en la av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020

UBICACIÓN: Av. Carlos Izaguirre - San Martín de Porres

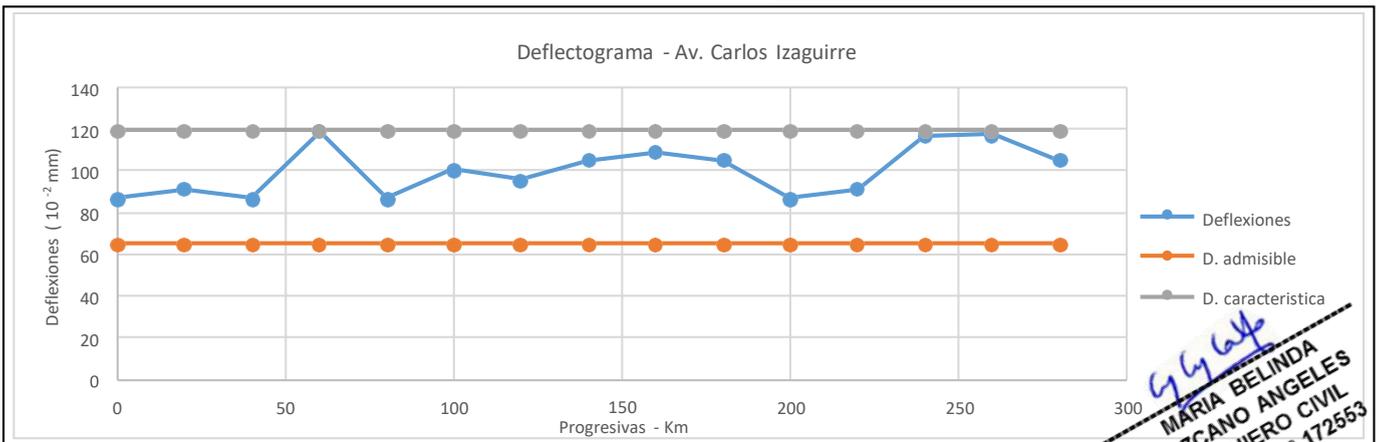
REGISTRO: 1110-2020-BS **FECHA INICIO:** 07/10/2020 **INICIO:** Km 0+0.00

EQUIPO: Viga Benkelman doble brazo digital **FECHA RECEPCION:** 01/10/2020 **FIN:** Km 0+280.00

N°	PROGRESIVA	MARGEN	e.c.a. (cm)	Temp. Pavim. (°C)	LECTURA DE CAMPO E ⁻² (mm)					F.C.E.	DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDAS E ⁻² (mm)					RADIO DE CURVATURA (M)
					L _{MÁX.}	L25	L50	L75	L100		L _{MÁX.}	L25	L50	L75	L100	
1	Km 0+ 0	IZQ	5	22°	20	6	10	12	17	1.1	87.13	60.99	43.56	34.85	13.07	119.55
2	Km 0+ 20	IZQ	5	22°	21	8	7	10	12	1.1	91.49	56.63	60.99	47.92	39.21	89.67
3	Km 0+ 40	IZQ	5	23°	20	6	9	12	17	1.1	86.70	60.69	47.68	34.68	13.00	120.15
4	Km 0+ 60	IZQ	5	20°	27	5	10	13	16	1.1	118.80	96.80	74.80	61.60	48.40	142.05
5	Km 0+ 80	IZQ	5	22°	20	6	8	12	17	1.1	87.13	60.99	52.28	34.85	13.07	119.55
6	Km 0+ 100	IZQ	5	21°	23	6	10	12	17	1.1	100.70	74.43	56.92	48.16	26.27	118.96
7	Km 0+ 120	IZQ	5	22°	22	6	8	11	14	1.1	95.84	69.70	60.99	47.92	34.85	119.55
8	Km 0+ 140	IZQ	5	21°	24	8	7	13	13	1.1	105.07	70.05	74.43	48.16	48.16	89.22
9	Km 0+ 160	IZQ	5	22°	25	2	8	11	14	1.1	108.91	100.20	74.06	60.99	47.92	358.66
10	Km 0+ 180	IZQ	5	21°	24	6	9	14	15	1.1	105.07	78.81	65.67	43.78	39.40	118.96
11	Km 0+ 200	IZQ	5	22°	20	8	7	10	13	1.1	87.13	52.28	56.63	43.56	30.50	89.67
12	Km 0+ 220	IZQ	5	22°	21	7	13	14	19	1.1	91.49	60.99	34.85	30.50	8.71	102.48
13	Km 0+ 240	IZQ	5	23°	27	5	12	15	18	1.1	117.04	95.37	65.02	52.02	39.01	144.18
14	Km 0+ 260	IZQ	5	22°	27	7	12	14	19	1.1	117.62	87.13	65.35	56.63	34.85	102.48
15	Km 0+ 280	IZQ	5	21°	24	7	9	13	18	1.1	105.07	74.43	65.67	48.16	26.27	101.97
Estadística	Promedio		5.00	21.7°	23	6.20	9.27	12.40	15.93		100.35	73.30	59.93	46.25	30.85	129.14
	Desviación estándar		-	-	-	-	-	-	-		11.79	-	-	-	-	-
	Máximo		5	23°	27	8	13	15	19		118.80	100.20	74.80	61.60	48.40	358.66
	Mínimo		5	20°	20	2	7	10	12		86.70	52.28	34.85	30.50	8.71	89.22

DEFLEXION CARACTERISTICA (DC) 119.7 E⁻² mm

Datos iniciales	N° de ejes equivalentes 20 años	6.32 E ⁺⁶
	Deformacion admisible (Dadm)	65.31 E ⁻² mm
	Factor de correccion por estacionalidad (F.C.E.)	1.1 Est. Seca
	Peso del eje trasero	8200 kg





**EVALUACIÓN DE LA DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO
 VIGA BENKELMAN (MTC E 1002)**

SOLICITANTE: Bravo Silvestre, Carlos Axel **PROYECTO:** Análisis por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones, en la av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020

UBICACIÓN: Av. Canta Callao - San Martín de Porres

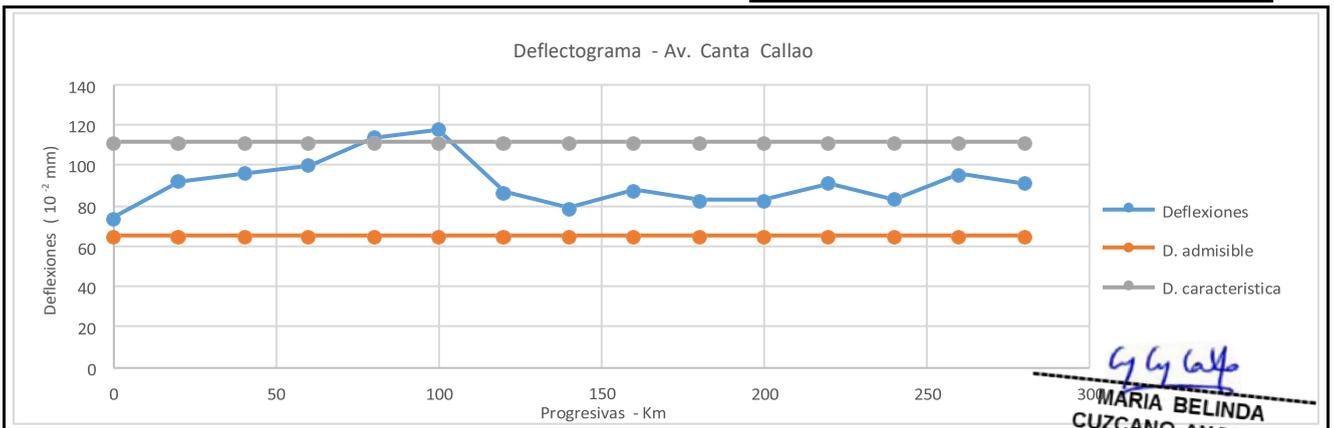
REGISTRO: 1110-2020-BS **FECHA INICIO:** 14/10/2020 **INICIO:** Km 0+0.00

EQUIPO: Viga Benkelman doble brazo digital **FECHA RECEPCION:** 01/10/2020 **FIN:** Km 0+280.00

N°	PROGRESIVA	MARGEN	e.c.a. (cm)	Temp. Pavim. (°C)	LECTURA DE CAMPO E ⁻² (mm)					F.C.E.	DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDAS E ⁻² (mm)					RADIO DE CURVATURA (M)
					L _{MÁX.}	L25	L50	L75	L100		L _{MÁX.}	L25	L50	L75	L100	
1	Km 0+ 0	DER	5	22°	17	7	10	12	14	1.1	74.06	43.56	30.50	21.78	13.07	102.48
2	Km 0+ 20	DER	5	20°	21	7	9	10	14	1.1	92.40	61.60	52.80	48.40	30.80	101.46
3	Km 0+ 40	DER	5	21°	22	8	15	17	18	1.1	96.32	61.29	30.65	21.89	17.51	89.22
4	Km 0+ 60	DER	5	22°	23	7	9	11	14	1.1	100.20	69.70	60.99	52.28	39.21	102.48
5	Km 0+ 80	DER	5	21°	26	6	16	18	22	1.1	113.83	87.56	43.78	35.02	17.51	118.96
6	Km 0+ 100	DER	5	21°	27	8	13	15	17	1.1	118.21	83.18	61.29	52.54	43.78	89.22
7	Km 0+ 120	DER	5	22°	20	5	11	13	15	1.1	87.13	65.35	39.21	30.50	21.78	143.47
8	Km 0+ 140	DER	5	20°	18	8	9	12	15	1.1	79.20	44.00	39.60	26.40	13.20	88.78
9	Km 0+ 160	DER	5	20°	20	7	11	14	16	1.1	88.00	57.20	39.60	26.40	17.60	101.46
10	Km 0+ 180	DER	5	21°	19	7	9	11	14	1.1	83.18	52.54	43.78	35.02	21.89	101.97
11	Km 0+ 200	DER	5	21°	19	8	13	14	15	1.1	83.18	48.16	26.27	21.89	17.51	89.22
12	Km 0+ 220	DER	5	22°	21	6	10	14	18	1.1	91.49	65.35	47.92	30.50	13.07	119.55
13	Km 0+ 240	DER	5	20°	19	7	12	12	13	1.1	83.60	52.80	30.80	30.80	26.40	101.46
14	Km 0+ 260	DER	5	22°	22	9	16	17	19	1.1	95.84	56.63	26.14	21.78	13.07	79.70
15	Km 0+ 280	DER	5	22°	21	6	11	14	17	1.1	91.49	65.35	43.56	30.50	17.43	119.55
Estadística	Promedio		5.00	21.13	21.00	7.07	11.60	13.60	16.07		91.87	60.95	41.13	32.38	21.59	103.27
	Desviación estándar		-	-	-	-	-	-	-		12	-	-	-	-	-
	Máximo		5	22	27	9	16	18	22		118.21	87.56	61.29	52.54	43.78	143.47
	Mínimo		5	20	17	5	9	10	13		74.06	43.56	26.14	21.78	13.07	79.70

DEFLEXION CARACTERISTICA (DC) 111.6 E⁻² mm

N° de ejes equivalentes 20 años	6.35 E ⁻⁶
Deformacion admisible (Dadm)	65.24 E ⁻² mm
Factor de correccion por estacionalidad (F.C.E.)	1.1 Est. Seca
Peso del eje trasero	8200 kg



**EVALUACIÓN DE LA DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO
VIGA BENKELMAN (MTC E 1002)**

SOLICITANTE: Bravo Silvestre, Carlos Axel **PROYECTO:** Análisis por deflectometría aplicando viga Benkelman en dos pavimentaciones, en la av. Canta Callao y av. Carlos Izaguirre, Lima-2020

UBICACIÓN: Av. Canta Callao - San Martín de Porres

REGISTRO: 1110-2020-BS **FECHA INICIO:** 14/10/2020 **INICIO:** Km 0+0.00

EQUIPO: Viga Benkelman doble brazo digital **FECHA RECEPCION:** 01/10/2020 **FIN:** Km 0+280.00

N°	PROGRESIVA	MARGEN	e.c.a. (cm)	Temp. Pavim. (°C)	LECTURA DE CAMPO E ⁻² (mm)					F.C.E.	DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CORREGIDAS E ⁻² (mm)					RADIO DE CURVATURA (M)
					L _{MAX.}	L25	L50	L75	L100		L _{MAX.}	L25	L50	L75	L100	
1	Km 0+ 0	IZQ	5	21°	17	7	12	12	13	1.1	74.43	43.78	21.89	21.89	17.51	101.97
2	Km 0+ 20	IZQ	5	22°	22	9	11	14	17	1.1	95.84	56.63	47.92	34.85	21.78	79.70
3	Km 0+ 40	IZQ	5	21°	22	10	17	17	18	1.1	96.32	52.54	21.89	21.89	17.51	71.38
4	Km 0+ 60	IZQ	5	20°	22	6	11	13	17	1.1	96.80	70.40	48.40	39.60	22.00	118.37
5	Km 0+ 80	IZQ	5	22°	24	8	20	21	22	1.1	104.55	69.70	17.43	13.07	8.71	89.67
6	Km 0+ 100	IZQ	5	20°	23	9	19	16	17	1.1	101.20	61.60	17.60	30.80	26.40	78.91
7	Km 0+ 120	IZQ	5	22°	20	7	13	15	17	1.1	87.13	56.63	30.50	21.78	13.07	102.48
8	Km 0+ 140	IZQ	5	21°	21	9	12	13	15	1.1	91.94	52.54	39.40	35.02	26.27	79.31
9	Km 0+ 160	IZQ	5	20°	22	7	13	15	17	1.1	96.80	66.00	39.60	30.80	22.00	101.46
10	Km 0+ 180	IZQ	5	21°	21	8	11	15	17	1.1	91.94	56.92	43.78	26.27	17.51	89.22
11	Km 0+ 200	IZQ	5	22°	21	9	12	14	17	1.1	91.49	52.28	39.21	30.50	17.43	79.70
12	Km 0+ 220	IZQ	5	22°	21	9	15	15	17	1.1	91.49	52.28	26.14	26.14	17.43	79.70
13	Km 0+ 240	IZQ	5	23°	24	8	14	15	18	1.1	104.04	69.36	43.35	39.01	26.01	90.11
14	Km 0+ 260	IZQ	5	22°	24	9	14	15	18	1.1	104.55	65.35	43.56	39.21	26.14	79.70
15	Km 0+ 280	IZQ	5	20°	22	8	13	14	16	1.1	96.80	61.60	39.60	35.20	26.40	88.78
Estadística	Promedio		5.00	21.3°	22	8.20	13.80	14.93	17.07		95.02	59.17	34.68	29.74	20.41	88.70
	Desviación estándar		-	-	-	-	-	-	-		7.762	-	-	-	-	-
	Máximo		5	23°	24	10	20	21	22		104.55	70.40	48.40	39.60	26.40	118.37
	Mínimo		5	20°	17	6	11	12	13		74.43	43.78	17.43	13.07	8.71	71.38

DEFLEXION CARACTERISTICA (DC) 107.8 E⁻² mm

N° de ejes equivalentes 20 años	6.35 E ⁺⁶
Deformación admisible (Dadm)	65.24 E ⁻² mm
Factor de corrección por estacionalidad (F.C.E.)	1.1 Est. Seca
Peso del eje trasero	8200 kg

