

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UPLA**  
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

**TESIS**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL  
MEDIANTE EL ANÁLISIS DEFLECTOMÉTRICO DEL  
PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. JACINTO IBARRA,  
CHILCA – HUANCAYO**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. MELCHOR LOZANO, ERIKA JASMIN.**

**Línea de Investigación Institucional:**

Nuevas Tecnologías y Procesos.

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERA CIVIL**

**Huancayo – Perú**

**2022**



Ing. Mallaupoma Reyes, Cristhian.

**Asesor**

## **Dedicatoria**

A Dios por ser mi creador, por darme fortaleza y sabiduría.

A mis padres, por brindarme su amor, comprensión y apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanos, que han sido mi impulso para alcanzar mis metas.

Erika Jasmin Melchor Lozano

## **Agradecimientos**

A la Universidad Peruana Los Andes, por brindarme una educación de calidad.

A mis docentes de la Facultad de Ingeniería, por sus enseñanzas compartidas en cada aula.

A mi Asesor, el Ing. Christian Mallaupoma Reyes, que con su conocimiento y experiencia me asistió en todo el trayecto de este trabajo.

Erika Jasmin Melchor Lozano

## CONSTANCIA 147

### DE SIMILITUD DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN POR EL SOFTWARE DE PREVENCIÓN DE PLAGIO TURNITIN

La Dirección de Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería, hace constar por la presente, que el informe final de tesis titulado: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL MEDIANTE EL ANÁLISIS DEFLECTOMÉTRICO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. JACINTO IBARRA, CHILCA - HUANCAYO"

**Cuyo autor (a)** : Erika Jasmin, Melchor Lozano.

**Facultad** : Ingeniería

**Escuela Profesional** : Ingeniería Civil.

**Asesor (a) (es)** : Ing. Mallaupoma Reyes, Crithian.

Que, fue presentado con fecha 10.03.2023 y después de realizado el análisis correspondiente en el software de prevención de plagio Turnitin con fecha 13.03.2023, con la siguiente configuración de software de prevención de plagio Turnitin:

- Excluye bibliografía.
- Excluye citas.
- Excluye cadenas menores de a 20 palabras.
- Otro criterio (especificar)

Dicho documento presenta un porcentaje de similitud de **28%**. En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentajes establecidos en el artículo N°11 del Reglamento de uso de software de prevención de plagio, el cual indica que no se debe superar el **30%**. Se declara, que el trabajo de investigación: si contiene un porcentaje aceptable de similitud. Observaciones: Trabajo de Suficiencia Profesional.

En señal de conformidad y verificación se firma y sella la presenta constancia.

Huancayo 14 de Marzo del 2023



Dr. Santiago Zevallos Salinas  
Director de la Unidad de Investigación

## HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

---

DR. RUBEN DARIO TAPIA SILGUERA  
PRESIDENTE

---

ING. CARLOS GERARDO FLORES ESPINOZA  
MIEMBRO

---

MG. EDISON JOSÉ PORRAS ARROYO  
MIEMBRO

---

MG. JUSTO CLAUDIO RODAS ROMERO  
MIEMBRO

---

MG. LEONEL UNTIVEROS PEÑALOZA  
SECRETARIO DOCENTE

# ÍNDICE

<b>Dedicatoria .....</b>	<b>iv</b>
<b>Agradecimientos.....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xiv</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>xv</b>
<b>CAPÍTULO I PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema .....</b>	<b>17</b>
1.1.1.Problema general.....	19
1.1.2.Problemas específicos .....	20
<b>1.2. Justificación.....</b>	<b>20</b>
1.2.1.Social.....	20
1.2.2.Teórica.....	20
1.2.3.Metodológica.....	21
<b>1.3. Delimitaciones .....</b>	<b>21</b>
1.3.1.Espacial .....	21
1.3.2.Temporal .....	21
1.3.3.Económica.....	22
<b>1.4. Limitaciones .....</b>	<b>22</b>
<b>1.5. Objetivos.....</b>	<b>22</b>
1.5.1.Objetivo general .....	22
1.5.2.Objetivos específicos.....	22
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1. Antecedentes.....</b>	<b>24</b>
2.1.1.Nacionales .....	24
2.1.2.Internacionales.....	32
<b>2.2. Marco conceptual.....</b>	<b>39</b>
<b>2.3. Definición de términos.....</b>	<b>70</b>
<b>2.4. Hipótesis.....</b>	<b>72</b>



2.4.1.Hipótesis general .....	72
2.4.2.Hipótesis específicas .....	72
<b>2.5. Variables.....</b>	<b>73</b>
2.5.1.Definición conceptual de la variable .....	73
2.5.2.Definición operacional de la variable.....	73
2.5.3.Operacionalización de la variable .....	74
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA .....</b>	<b>75</b>
<b>3.1. Método de investigación.....</b>	<b>75</b>
<b>3.2. Tipo de investigación .....</b>	<b>75</b>
<b>3.3. Nivel de investigación .....</b>	<b>76</b>
<b>3.4. Diseño de investigación.....</b>	<b>77</b>
<b>3.5. Población y muestra .....</b>	<b>77</b>
<b>3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....</b>	<b>78</b>
3.6.1.Técnicas de recolección de datos .....	78
3.6.2.Instrumentos de recolección de datos.....	79
<b>3.7. Procesamiento de la información .....</b>	<b>80</b>
<b>3.8. Técnicas y análisis de datos.....</b>	<b>80</b>
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS.....</b>	<b>81</b>
<b>4.1. Descripción de resultados.....</b>	<b>83</b>
<b>4.2. Contrastación de hipótesis .....</b>	<b>98</b>
4.2.1.Hipótesis específica “a”.....	98
4.2.2.Hipótesis específica “b” .....	99
4.2.3.Hipótesis principal.....	100
<b>CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>102</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>105</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>106</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>113</b>
<b>Anexo N° 01: matriz de consistencia .....</b>	<b>114</b>
<b>Anexo N° 02: instrumentos de investigación .....</b>	<b>117</b>
<b>Anexo N° 03: resultados del estudio de tráfico.....</b>	<b>120</b>
<b>Anexo N° 04: resultados de la evaluación deflectométrica .....</b>	<b>140</b>
<b>Anexo N° 05: certificado de calibración .....</b>	<b>149</b>

<b>Anexo N° 06: comprobante del peso del camión utilizado .....</b>	<b>153</b>
<b>Anexo N° 07: panel fotográfico.....</b>	<b>155</b>
<b>Anexo N° 08: plano de localización y ubicación.....</b>	<b>162</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distancias para ensayos .....	60
Tabla 2. Tabla de valores para corrección por condiciones ambientales.....	62
Tabla 3. Representación de la metodología de retrocálculo. ....	63
Tabla 4. Coeficientes para el cálculo de R5.....	65
Tabla 5. Coeficientes para el cálculo de Lo.....	65
Tabla 6. Valor de “t” y probabilidad de ocurrencia de $D > DC$ . ....	68
Tabla 7. Características del pavimento de acuerdo al tipo de deflexión y Radio de curvatura. ....	69
Tabla 8. Operacionalización de las variables.....	74
Tabla 9. Deflexiones del carril (ida) .....	86
Tabla 10. Deflexiones del carril (vuelta) .....	87
Tabla 11. Análisis estadístico de deflexiones del carril (ida) .....	88
Tabla 12. Análisis estadístico de deflexiones del carril (vuelta). ....	88
Tabla 13. Radio de curvatura del carril (ida). ....	93
Tabla 14. Radio de curvatura del carril (vuelta) .....	94
Tabla 15. Análisis estadístico de radio de curvatura del carril (ida).....	95
Tabla 16. Análisis estadístico de radio de curvatura del carril (vuelta).....	97
Tabla 17. Deflexión característica de ambos carriles. ....	98
Tabla 18. Deflexión admisible de ambos carriles.....	99
Tabla 19. Radio de curvatura de ambos carriles. ....	100
Tabla 20. Resumen de los resultados del análisis de deflexiones y radio de curvatura. ....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de la carga en pavimentos rígidos..	44
Figura 2. Resultados de una evaluación estructural.....	52
Figura 3. Modelo de comportamiento Hogg.....	54
Figura 4. Esquema de la Viga Benkelman. T .....	59
Figura 5. Ubicación del centro de gravedad del eje posterior. ....	61
Figura 6. Esquema del Modelo de Hogg. ....	64
Figura 7. Características del pavimento de acuerdo al cuenco de deflexiones.....	70
Figura 8. Ubicación geográfica de los distritos de la provincia de Huancayo.....	82
Figura 9. Ubicación de la provincia de Huancayo.....	82
Figura 10. Cuenco de deflexiones del carril (vuelta).....	89
Figura 11. Cuenco de deflexiones del carril (ida).....	89
Figura 12. Deflectograma del carril (ida). ....	90
Figura 13. Diagrama del radio de curvatura del carril (ida). ....	95
Figura 14. Deflectograma del carril (vuelta). ....	96
Figura 15. Diagrama del radio de curvatura del carril (vuelta).....	97

## RESUMEN

La investigación presentó como problema general: ¿Cuáles serían los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, en el año 2022?, el objetivo general fue: Determinar cuáles serían los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, en el año 2022 y la hipótesis general fue que los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo serían significativos a través del uso de la viga Benkelman, en el año 2022. El método de investigación fue científico, el tipo fue aplicada, el nivel fue explicativo y el diseño fue no experimental del tipo transeccional o transversal. La población correspondió al sistema de pavimentos flexibles del distrito de Chilca, donde la muestra según el tipo de muestreo fue no probabilístico del tipo por conveniencia y se tomó a la Av. Jacinto Ibarra (Tramo Av. Leoncio Prado - Av. Próceres) del distrito de Chilca. Los resultados indicaron que la deflexión característica de los carriles ( $91.05 \times 10^{-2}$  mm. y  $62.60 \times 10^{-2}$  mm.) fueron inferiores a la deflexión admisible ( $95.37 \times 10^{-2}$  mm.) y que los radios de curvatura (283.41 mt. y 395.51 mt.) superaron el valor mínimo y estuvieron dentro del margen deseado (300 mt. y 500 mt.). Se concluye que el pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, Chilca - Huancayo presenta un comportamiento estructural adecuado y que tiene una óptima respuesta frente a la aplicación de fuerzas externas de los vehículos.

*Palabras clave:* comportamiento estructural, análisis deflectométrico, deflexión, radio de curvatura, pavimento flexible.

## ABSTRACT

The general problem of the research was: What would be the results of the evaluation of the structural behavior through the deflectometric analysis of the flexible pavement of Jacinto Ibarra Avenue, in the district of Chilca - Huancayo, in the year 2022? The general objective was: To determine what would be the results of the evaluation of the structural behavior through the deflectometric analysis of the flexible pavement of Jacinto Ibarra Avenue, in the district of Chilca - Huancayo, in the year 2022. Jacinto Ibarra, in the district of Chilca - Huancayo, in the year 2022 and the general hypothesis was that the results of the evaluation of the structural behavior through the deflectometric analysis of the flexible pavement of Jacinto Ibarra Avenue, in the district of Chilca – Huancayo would be significant through the use of the Benkelman beam, in the year 2022. The research method was scientific, the type was applied, the level was explanatory and the design was non-experimental of the transectional or transversal type. The population corresponded to the flexible pavement system of the district of Chilca, where the sample according to the type of sampling was non-probabilistic of the convenience type and was taken from Jacinto Ibarra Avenue (Section Leoncio Prado Avenue - Proceres Avenue) of the district of Chilca. The results indicated that the characteristic deflection of the lanes ( $91.05 \times 10^{-2}$  mm. and  $62.60 \times 10^{-2}$  mm.) were lower than the admissible deflection ( $95.37 \times 10^{-2}$  mm.) and that the radii of curvature (283.41 mt. and 395.51 mt.) exceeded the minimum value and were within the desired range (300 mt. and 500 mt.). It is concluded that the flexible pavement of Jacinto Ibarra Avenue, Chilca - Huancayo presents an adequate structural behavior and that it has an optimum response to the application of external forces from vehicles.

Keywords: structural behavior, deflectometric analysis, deflection, radius of curvature, flexible pavement.

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación se inició como consecuencia del incremento de la densidad vehicular en el distrito de Chilca, ubicado en la provincia de Huancayo. En esta región, el ochenta por ciento de las vías se encuentran en emergencia, condición que está provocando un acelerado deterioro de las capas asfálticas, lo que se puede apreciar en las deformaciones de la calzada. El estado de las vías asfaltadas en el distrito de Chilca demuestra que para su construcción no se estimaron las cargas vehiculares reales y proyectadas tal como lo exige la normatividad de la Resolución Directoral R.D.N°22-MTC (2013), lo que ha traído como consecuencia la reducción del tiempo de utilización efectiva de las mismas.

En consecuencia, la presente consideró como objetivo Determinar cuáles serían los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, en el año 2022, para lo cual se realizó la caracterización del pavimento en el tramo de estudio, se recopiló información obtenida en el ensayo con la Viga Benkelman a fin de determinar el estado estructural del pavimento asfáltico. Por consiguiente, la investigación se encuentra comprendida de la siguiente manera:

Capítulo I: El problema de investigación, en este capítulo se evidencia la razón que dió origen al desarrollo del trabajo investigativo, éste también comprende la temporalidad del desarrollo de la investigación, se delimita el problema tanto espacial, temporal y económicamente. Por lo tanto, bajo dichos fundamentos y parámetros, se formula el problema general y los problemas específicos; asimismo los objetivos a lograr.

Capítulo II: Marco Teórico, en este capítulo se evidencia el sustento teórico que fundamenta la idea central de la investigación bajo los hallazgos de las investigaciones previas, así como el sustento dogmático en materia de pavimentos flexibles y los alcances

normativos del comportamiento estructural; adicionalmente éste consigna la definición de términos, la hipótesis de la investigación, asimismo las variables en cuanto a su definición conceptual, operacional y operacionalización.

Capítulo III: Metodología, en este capítulo se muestra el direccionamiento metodológico que sigue este trabajo, la misma que se encuentra compuesta por el método, tipo, nivel y diseño de la investigación, de igual manera, la población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, el procesamiento de la información, las técnicas y análisis de datos.

Capítulo IV: Resultados, en este capítulo se evidencia los hallazgos más resaltantes de este trabajo, ésta se encuentra estructurada y redactada según la consecución de los objetivos planteados; de la misma forma se cuenta con la contrastación de las hipótesis específicas y general.

Capítulo V: Discusión de resultados, en este capítulo se discute los resultados obtenidos con los antecedentes considerados en la investigación.

Finalmente, en los últimos apartados se muestra las conclusiones a las cuales se llegó después de la aplicación de las pruebas respectivas; así también, se evidencian las recomendaciones y las referencias bibliográficas conforme a las normas de referenciación y por último los anexos respectivos.



# **CAPÍTULO I**

## **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

A nivel internacional, los pavimentos flexibles se definen globalmente por tener una estructura que puede flexionarse en respuesta a las cargas que pueden fluir sobre ella. Esta característica da nombre a los pavimentos flexibles. Los pavimentos flexibles se construyen a menudo para su uso en lugares con mayores volúmenes de tráfico de automóviles, tales como autopistas, aparcamientos y carreteras. En general, se fomenta el uso de pavimentos flexibles. Cuando se inducen cargas creadas por el tráfico de automóviles, se entiende que el modo de respuesta del pavimento flexible representa el comportamiento estructural del pavimento flexible. Su evaluación estructural se basa en la precisión de la capacidad portante del proceso que involucra al pavimento y a la subrasante en una determinada estructura vial existente. Además, la evaluación debe desarrollarse en todo momento durante la vida útil del pavimento. Esto permite identificar y hacer un registro de las deficiencias existentes para la respectiva rehabilitación y mantenimiento del pavimento. Los deflectómetros de impacto tienen una mayor utilización a escala mundial, debido a que estos instrumentos son más sofisticados y efectivos que sus antecesores. Adicionalmente, tienen un menor margen de error

en el cálculo de las deflexiones, el cual se obtiene por un arreglo de sensores de desplazamiento (Higuera, 2013).

Adicionalmente, en países ubicados en Centroamérica, como El Salvador, se determinan deflexiones en la capa superior como resultado de cargas vehiculares mediante la manipulación de la viga Benkelman, la cual es miembro de la familia de equipos de deflexión estática. Este proceso se lleva a cabo con el fin de determinar la estabilidad de la calzada. Como resultado de su constante participación en proyectos que requieren la evaluación estructural de pavimentos flexibles, este equipo es ampliamente utilizado en los países centroamericanos. Esto se debe a que no solo entrega resultados precisos, sino que además tiene la ventaja de ser sencillo de operar (Higuera, 2013).

A nivel nacional, según el R.D. N°22-MTC (2013), para determinar la capacidad estructural es necesario realizar un conjunto de pruebas, que también se denominan simplemente ensayos. Las pruebas de tipo destructivo requieren que se retire una muestra del pavimento de la zona mediante excavaciones y/o calicatas que se realizan en el pavimento flexible. Los ensayos deflectométricos no destructivos, en cambio, permiten obtener los cálculos de las deflexiones del pavimento in-situ. Ambos tipos de ensayos están incluidos en la batería de exámenes (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2013).

La deflectometría, por su parte, se define haciendo un examen de las deformaciones verticales que se presentan en la superficie de una carretera, tal como se indica en el R.D. N°10-2014-MTC/14. Las deformaciones se calculan con base en los resultados de aplicar una carga determinada, con cuyos valores se calculan de acuerdo con las condiciones reales del pavimento. Cuando se trata de evaluar la respuesta de los pavimentos de subrasante ante una determinada demanda, la

deflexión es el método que se destaca. Es esencial ser consciente de que la deflectometría suele utilizarse ampliamente en el campo del análisis del comportamiento del asfalto. Esto se debe a que es reconocida para establecer el estado de un pavimento en relación a su mantenimiento, lo que permite determinar el tiempo de vida útil que aún le queda a un pavimento (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2014).

A nivel local, según informaciones publicadas en los medios regionales, el ochenta por ciento de las vías del distrito de Chilca se encuentran en estado de emergencia. Esto se debe al pésimo estado en que se encuentran actualmente las aceras flexibles del distrito, entre las que se encuentra la avenida Jacinto Ibarra. Este es uno de los problemas que más afecta al distrito. En las calzadas, no es raro encontrarse con imperfecciones en las construcciones asfálticas, como grietas, fallas, baches y depresiones. Estas imperfecciones se han relacionado con una variedad de razones potenciales, incluyendo el uso, el diseño, el proceso de construcción, factores ambientales y otros. A la luz de la información presentada anteriormente, el problema indica que no se está realizando un mantenimiento adecuado y que no se está teniendo en cuenta el plan de vida de la carretera. En consecuencia, es necesario evaluar y analizar el comportamiento estructural mediante deflectometría para mantenerla con una adecuada serviciabilidad y prolongar su vida útil.

### **1.1.1. Problema general**

¿Cuáles serían los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, en el año 2022?

### **1.1.2. Problemas específicos**

- a) ¿Cuáles serían los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de las deflexiones medidas del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, en el año 2022?
  
- b) ¿Cuáles serían los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de los radios de curvatura del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, en el año 2022?

## **1.2. Justificación**

### **1.2.1. Social**

Esta investigación se realizó con la finalidad de conocer cuál es el comportamiento estructural de la Av. Jacinto Ibarra (Tramo Av. Leoncio Prado - Av. Próceres) en el distrito de Chilca, por medio del ensayo no destructivo utilizando la viga Benkelman; para poder conocer en qué estado se encontraba la estructura del pavimento y las demandas de la calidad mínima requerida para los pavimentos.

### **1.2.2. Teórica**

Este estudio hace una contribución empírica al conocimiento existente sobre la evaluación del comportamiento estructural de pavimentos flexibles mediante un análisis deflectométrico. Los resultados de este estudio se incluyen como una medida propuesta para el sistema de

gestión de pavimentos en la comuna de Chilca. Este estudio se realizó con el fin de evaluar el comportamiento estructural de los pavimentos flexibles. Además, sirve como aporte a otras investigaciones que se centran en problemas de pavimentos.

### **1.2.3. Metodológica**

La elaboración y aplicación de los instrumentos de recolección de datos para realizar los ensayos del análisis deflectométrico serán útiles para cualquier otro investigador que indague mediante métodos científicos, situaciones que pueden ser investigadas por la ciencia, una vez que sean demostrados su validez y confiabilidad podrán ser utilizados en otros trabajos de investigación.

## **1.3. Delimitaciones**

### **1.3.1. Espacial**

Esta investigación se desarrolló en la Av. Jacinto Ibarra (Tramo Av. Leoncio Prado - Av. Próceres), ubicado en el distrito de Chilca, provincia de Huancayo, departamento de Junín.

### **1.3.2. Temporal**

La investigación se desarrolló desde mayo de 2022 hasta octubre de 2022.

### **1.3.3. Económica**

Viene a ser los gastos que involucró la adquisición de materiales y la ejecución del ensayo no destructivo, fueron asumidos totalmente por la tesista, no se contó con financiamiento alguno.

## **1.4. Limitaciones**

La limitación primordial y resaltante fue la económica, debido a que pudo quizá generar mayor cantidad de ensayos.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar cuáles serían los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, en el año 2022.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- a) Analizar cuáles serían los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de las deflexiones medidas del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, en el año 2022.
  
- b) Analizar cuáles serían los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de los radios de

curvatura del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, en el año 2022.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **2.1.1. Nacionales**

Fernández (2020) tuvo como objetivo determinar el comportamiento estructural del pavimento flexible a lo largo de la porción de la Carretera Cajamarca-Celendn-Balsas que se extendía desde el kilómetro 20+000 hasta el kilómetro 25+000. Fue una investigación cuantitativa que utilizó un enfoque descriptivo para describir el diseño experimental. Para la recolección de datos de la población, que fue el pavimento flexible de la Carretera Cajamarca, se utilizaron los métodos de muestreo censal y no probabilístico. La observación estructurada fue el método que se empleó y los formularios de recolección de datos fueron el equipo que se utilizó. El hallazgo más importante fue que la Carretera Cajamarca-Celendín-Balsas tuvo un comportamiento de pavimento malo y aceptable desde el kilómetro 20000 hasta el kilómetro 25000; estos datos se determinaron en base al radio de curvatura de cada sitio examinado en comparación con el radio mínimo de curvatura (100 m). Sólo el 8,9% de las



unidades de prueba fueron calificadas como de mal desempeño, mientras que el 91,1% de las pruebas fueron calificadas como de alto desempeño. La Carretera Cajamarca-Celendín-Balsas, segmento del km 20+000 al km 25+000, con un desempeño del pavimento y subrasante pobre, regular y excelente; las estadísticas para estas categorías se determinaron a partir de los datos de subrasante y pavimento. Los resultados de los ensayos mostraron que el 78,2% de las unidades de ensayo tenían un comportamiento excelente, el 13,9% de las unidades de ensayo tenían un comportamiento aceptable y el 7,9% de las unidades de ensayo tenían un comportamiento malo. Se concluyó que las deflexiones máximas obtenidas en cada punto fueron evaluadas en el campo, y utilizando esta información, pudimos observar la variación de los diferentes puntos, que osciló entre aproximadamente  $33 \times 10^{-2}$  mm y  $83 \times 10^{-2}$  mm; los puntos con las deflexiones más altas tuvieron la capacidad estructural más baja.

Herencia (2020), tuvo como objetivo determinar y analizar los resultados del comportamiento estructural de pavimentos flexibles y rígidos para la Av. Ernesto M. Borda A. de la ciudad de Juliaca. Este fue el objetivo principal del proyecto. Fue una investigación descriptiva de diseño no experimental que utilizó un enfoque cuantitativo. La población estuvo conformada por la avenida Ernesto M. Borda del distrito de Juliaca ubicado en la provincia de San Román del departamento de Puno. Para la recolección de datos de la muestra se utilizaron los métodos de muestreo censal y no probabilístico. La observación estructurada fue el método que se empleó y los formularios de recolección de datos fueron el equipo que se utilizó. El hallazgo

más importante fue que, a la hora de determinar la delineación estructural de los pavimentos flexibles, debemos tener en cuenta la ubicación de las estructuras del pavimento por encima de la subrasante tal y como se ha descubierto en su estado natural, sin ningún tipo de estabilización; según los resultados de laboratorio de los 4 pozos de ensayo, el CBR del 11,75% para la subrasante. Este hallazgo fue posible por el hecho de que la subrasante tenía un CBR de 11,75%. En la delineación estructural de los pavimentos de concreto o rígidos de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, estamos considerando la ubicación de la estructura del pavimento sobre la subrasante tal como se ha encontrado en su estado natural, sin ningún tipo de estabilización; de acuerdo a los resultados de laboratorio de las 4 fosas de prueba, el CBR de 11.75% para la subrasante. Esto se hace para poder determinar la ubicación de la subrasante en relación a la estructura del pavimento. Se determinó que al realizar el estudio geotécnico de las cuatro fosas (C-01, C-02, C-03 y C-04) con respecto a la clasificación del suelo de la subrasante, en tres de las fosas se encontraron materiales arcillosos con alto límite líquido, y en la fosa que faltaba se encontró material limoso con alto límite líquido. Esto llevó a la conclusión de que la fosa que faltaba contenía el material limoso con alto límite líquido. Dado que se realizó una media aritmética de la capacidad portante del suelo y se obtuvo un valor CBR de 11,75%, se puede concluir que el suelo tiene una capacidad portante regular de acuerdo con la norma R.N.E. - N. CE. 0,10, según esta norma indica que habría que mejorar la subrasante si fuera inferior al 3%.

Olivera (2020), buscó investigar la varianza en el comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera Abancay - Cusco sobre la

subrasante heterogénea, Apurímac, 2020. Este fue el objetivo del estudio. Fue una investigación cuantitativa utilizando un método descriptivo que se centró en el diseño de experimentos. La muestra censal se tomó de la población, y fue un método de muestreo no probabilístico. La población estuvo constituida por los pavimentos flexibles que conformaban el tramo carretero Abancay-Cusco. Se utilizó el método de observación estructurada y los formularios utilizados para la recolección de datos sirvieron como instrumentos. Los principales hallazgos fueron que los cálculos de deflexión mediante la viga de Benkelman y el módulo de elasticidad de la subrasante mediante el método de Hogg pudieron determinar tres estudios en tres tramos diferentes de la carretera Abancay-Cusco. Específicamente, el tramo Socllaccasa presentó un módulo de elasticidad de la subrasante de  $866.8 \text{ kg/cm}^2$  y una deflexión de  $65.1 \text{ E-}2 \text{ mm}$ , los cálculos del módulo de elasticidad utilizando CBR y  $k$ , donde  $k$  es el factor CBR, se pudieron determinar en los tres tramos de la carretera Abancay-Cusco; en el tramo Socllaccasa se determinó que el módulo de elasticidad de la subrasante es de  $866.8 \text{ kg/cm}^2$ , en el tramo Willcuypata se determinó que el módulo de elasticidad de la subrasante es de  $3830.2 \text{ kg/cm}^2$ , y finalmente en el tramo San Antonio se determinó que el módulo de elasticidad de la subrasante es de  $3830.2 \text{ kg/cm}^2$ . Los cálculos de deformación que se realizaron utilizando la viga de Benkelman permitieron determinar que en los tres tramos de la carretera Abancay-Cusco, la flecha característica en el tramo Socllaccasa fue de  $65.1 \text{ E-}2 \text{ mm}$ , la flecha característica en el tramo Willcuypata fue de  $56.0 \text{ E-}2 \text{ mm}$ , y finalmente en el tramo San Antonio la flecha característica fue de  $65.1 \text{ E-}2 \text{ mm}$ . Mediante el análisis deflectométrico y la determinación del módulo de elasticidad de la subrasante, se determinó que el comportamiento

estructural de las capas de pavimento flexible a lo largo de la carretera Abancay a Cusco en los tramos San Antonio y Willcuypata llevó a la misma conclusión (deformación). Esta carretera actualmente tiene un comportamiento estructural de mala calidad en el segmento Socclaccasa, como lo muestra el estudio deflectométrico y de deformaciones, mientras que las otras dos partes de la carretera tienen un comportamiento estructural de alta calidad, indicando que esta carretera actualmente tiene un comportamiento estructural de buena calidad.

Aranguri y Valverde (2018) quisieron determinar el análisis comparativo de mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas emulsionadas en pavimentos. Para ello utilizaron agregados de la cantera Bauner, que se encuentra en la carretera Panamericana Norte en el kilómetro 570,5 entre El Milagro y Trujillo. Fue una investigación cuantitativa que utilizó un enfoque descriptivo para describir el diseño experimental. La población estuvo constituida por los habitantes de la ciudad de Trujillo y la muestra se tomó a partir de un censo; este tipo de muestreo se conoce como muestreo no probabilístico. La observación estructurada fue el método empleado y los formularios de recolección de datos fueron el equipo utilizado. El resultado más importante de la prueba de granulometría fue que la malla de tres cuartos de pulgada aprobó con una puntuación del 68,79%, mientras que la malla de media pulgada aprobó con una puntuación del 29,09%. Basándonos en estas puntuaciones, se decidió que el material satisfacía los criterios del MTC para una piedra de tres cuartos de pulgada. En la prueba de abrasión de la máquina Angels se utilizó árido grueso de la cantera Bauner y se consiguió una

resistencia a la abrasión del 4,26%. Este resultado se ajusta a los parámetros establecidos por el MTC, que establecen que la resistencia a la abrasión máxima admisible para 3000 msnm es del 40%. Las partículas planas y alargadas que adquirimos tuvieron un porcentaje de 0,78% para las partículas planas y 0% para las partículas alargadas, respectivamente; estos resultados están de acuerdo con las especificaciones que se especifican en la norma ASTM 4791. Se desarrolló el ensayo de Durabilidad con Sulfato de Magnesio, y los resultados mostraron que el agregado grueso tuvo una pérdida corregida de 10,78%, mientras que el agregado fino tuvo una pérdida de 14,34%. Se concluyó que estos valores cumplen con los parámetros dados por el MTC E 209, ya que la pérdida máxima para el árido grueso y fino debe ser del 18%, y el PN debe ser inferior a 3000 msnm.

Coaquira (2017), tuvo como objetivo examinar el comportamiento estructural de pavimentos segmentados que fueron desplegados en la ciudad de Juliaca en 2017. Se trató de una investigación aplicada que utilizó una técnica cuantitativa y un diseño no experimental. La población estuvo conformada por las vías de la ciudad de Juliaca, y la muestra fue tomada del censo. El método de muestreo utilizado no fue probabilístico. La observación estructurada fue el método que se empleó, y los formularios de recolección de datos fueron el equipo que se utilizó. El hallazgo más importante fue que el Ip, que reporta valores superiores al 12% cuando debería ser inferior al 6%, es de relevancia en pavimentos. Los resultados de la prueba de desgaste son significativos y deberían ser inferiores al 50%, lo que indica que los suelos y/o las partículas gruesas tienen muy poca resistencia al desgaste. Un programa de

mantenimiento preventivo es una estrategia metódica que implica la aplicación de una serie de tratamientos superficiales en orden secuencial a lo largo del tiempo. La calidad de la superficie del pavimento puede mejorarse con un tratamiento, y la vida útil del pavimento puede prolongarse; sin embargo, el verdadero valor del mantenimiento del pavimento sólo puede observarse cuando existe un programa continuo para llevar a cabo el mantenimiento preventivo. Se determinó que los llamados pavimentos segmentados tienen una conformación estructural que se compone de bloques segmentados (adoquines), un lecho de arena, una base y una subbase; si bien cada uno de estos componentes cumple con la función que se le asocia, los valores que se obtuvieron a través de los ensayos indican que la base y la subbase tienen una conformación deficiente, así como fallas en su estructura.

Cotrado (2021), tuvo como objetivo identificar el comportamiento estructural del pavimento flexible de las rutas PE-28H y PE-28I del Departamento de Ayacucho, mediante el análisis deflectométrico - utilizando la viga Benkelman. Este fue un trabajo que se emprendió para cumplir con este objetivo. Se trató de una investigación elemental con nivel explicativo, diseño no experimental y método cuantitativo de análisis. La muestra fue la ruta PE-28H y PE-28I, y el método de muestreo fue no probabilístico. La población estuvo constituida por las carreteras ubicadas en los distritos de Rosario, Sivia, Canayre, San Francisco, Santa Rosa, San Miguel y Tambo del Departamento de Ayacucho. La observación estructurada fue el método empleado y los formularios de recolección de datos fueron los equipos utilizados. El hallazgo más importante fue que la longitud del corredor vial que va "Rosario - Sivia -

Canayre y San Francisco - Santa Rosa - San Miguel - Tambo" es de aproximadamente 300,87 kilómetros. Dicho corredor ha arrojado la identificación de dos rutas: la primera ruta, designada PE-28H, se inicia en la localidad de Rosario con la progresiva 00+000 y termina en la localidad de Canayre con la progresiva 82+000. La segunda ruta, denominada PE-28I, comienza en la localidad de San Francisco con la progresiva 00+000 y termina en la localidad de San Miguel con la progresiva 211+766. Ambas rutas comienzan en la localidad de Rosario con la progresiva 00+000. De acuerdo a las deflexiones máximas ( $D_0$ ) definidas por Horak y Emery, respecto al comportamiento estructural, determinadas a través de la Viga Benkelman, como instrumento utilizado para medir la deflexión de la superficie de los tramos estudiados de la carretera, con el paso de las ruedas de un vehículo de carga pesada, se determinó que el pavimento flexible de las rutas PE-28H y PE-28I en el Departamento de Ayacucho se encuentra en regular estado de calidad de servicio.

De la Cruz (2021) pretendió determinar el estado estructural del pavimento flexible con el fin de proponer procedimientos de remediación para el óvalo Puente Stuart - Aeropuerto de Jauja en el año 2020. Utilizó un enfoque cuantitativo y fue diseñado para ser aplicable, explicativo y experimental al mismo tiempo. La población incluyó a todas las personas que se encuentran desde el puente Stuart hasta el óvalo aeroportuario en la zona de Junín de la provincia de Jauja; la muestra fue tomada del censo, pero no siguió procedimientos de muestreo probabilístico. La observación estructurada fue el método que se empleó, y los formularios de recogida de datos fueron el material

que se utilizó. El resultado más importante fue que durante el censo de vehículos se contabilizaron un total de 30.659 vehículos. Esta cifra incluye tanto los vehículos ligeros como los camiones pesados (un total de 4.561 vehículos) (26.098 vehículos). El martes hubo un 15,86% del total de coches presentes, lo que lo convierte en el día con mayor número de vehículos. Un IMD correspondiente a la ruta investigada que equivale a 4.119 vehículos cada día, así como los porcentajes de contribución de los distintos tipos de vehículos. Del mismo modo, es posible deducir que los vehículos ligeros representan el 84,2% de la IMD global, mientras que los vehículos pesados sólo representan el 15,8% de toda la IMD. Dado que la carretera no se encuentra en un estado aceptable para el volumen de tráfico actual de 4.119 vehículos diarios, la evaluación del estado estructural del pavimento flexible a lo largo de los 2.150,0 metros del tramo óvalo puente Stuart - aeropuerto de Jauja llegó a la conclusión de que las medidas preventivas deberían incluir actividades como el sellado de grietas o el rejuvenecimiento de la lechada asfáltica. Se llegó a esta conclusión después de determinar la evaluación del estado estructural del pavimento flexible.

### **2.1.2. Internacionales**

Bonilla et al. (2017) se propusieron mejorar el estado de las carreteras del país aprovechando al máximo el dinero invertido. La investigación se llevó a cabo mediante un diseño descriptivo y experimental, y se utilizó tanto un enfoque cuantitativo como cualitativo. Se utilizó un muestreo censal, y fue un tipo de muestreo no probabilístico. La población estuvo conformada por el comportamiento estructural de un sistema de pavimento continuo de concreto



reforzado estructuralmente (PCERC). La observación estructurada fue el método que se empleó, y los formularios de recogida de datos fueron el equipo que se utilizó. El hallazgo más importante fue que la comunidad Apaseo El Grande, que puede ser utilizada en bases por tener las cualidades requeridas y la granulometría adecuada, cumple con la norma M-MMP-1-11/08. Tiene un peso específico seco de 1750 kg/m<sup>3</sup> y una humedad óptima del 4,5%; también tiene un contenido de arena del 70,7% y dadas sus características de límite líquido, límite plástico e índice plástico, podemos observar que es un material con bajo contenido de arcillas expansivas ideal para la formación de bases. Algunas de sus características primarias, como la curva de granulometría, muestran que su V.S.R. es del 103%. La extracción de los cilindros de ensayo se realiza a medida que se va asentando la base. Esto se hace con la intención de asegurar que el material posee el nivel de calidad requerido según las normas. Se determinó que los gráficos tensión-temperatura permiten ver los ciclos de enfriamiento y calentamiento, además de las tensiones que estos ciclos provocan a lo largo de un día.

Castañeda y Salamanca (2016) quisieron analizar el comportamiento de una construcción de pavimento flexible en una vía de alto tráfico, más específicamente una vía urbana en la zona de Santa Catalina en Bogotá, Colombia. Su investigación se realizó con el fin de cumplir con este objetivo. Fue una investigación aplicada que utilizó un enfoque cuantitativo y se centró en el diseño experimental. La muestra fue un censo y el método de muestreo no fue probabilístico. La población estaba formada por camiones de carga pesada, y la muestra se tomó de esa población. El método empleado fue la

observación estructurada y se utilizaron formularios de recogida de datos. Las conclusiones más importantes fueron que la deformación vertical admisible de compresión en la subrasante tiene un nivel de fiabilidad que oscila entre el 85% y el 95%, y que el porcentaje de tensión para la deformación vertical admisible de la alternativa 1 es del 34%, lo que demuestra que es la opción más adecuada. El esfuerzo de compresión vertical admisible en la subrasante demuestra el comportamiento de los esfuerzos verticales en las distintas capas de la estructura del firme y en función de la profundidad. Esto permite determinar que la tendencia de la tensión vertical es decreciente con el espesor de la capa asfáltica del modelo estructural. Según los resultados de los ensayos de laboratorio CBR, la caracterización de la subrasante indica que son inferiores al 2%. En consecuencia, debe realizarse una mejora de 20 cm en la capa de subrasante para garantizar que se satisfacen las especificaciones de la estructura.

López (2016) partió con la intención de crear un modelo de diseño de pavimentos con el objetivo de mejorar el comportamiento estructural de la red vial de la provincia de Tungurahua y prevenir su degradación temprana. La investigación se realizó mediante un diseño descriptivo, experimental y se utilizó un enfoque cuantitativo y cualitativo. Se consideró como población a la provincia de Tungurahua y los métodos de muestreo utilizados fueron el censal y el no probabilístico. La observación estructurada fue el método que se empleó, y los formularios de recolección de datos fueron el equipo que se utilizó. Los principales hallazgos fueron que se presentó un análisis de las variables de diseño en la estructura del pavimento aplicadas en países vecinos

y la metodología AASHTO '93 en el inventario vial, estudio del tráfico vehicular, evaluación de la subrasante y una evaluación funcional del pavimento existente, lo que condujo a la identificación de potenciales soluciones para incrementar la durabilidad de la red vial asfáltica de la provincia de Tungurahua. La red vial de Tungurahua ha estado operativa por varios años; sin embargo, algunas vías han sido dañadas prácticamente en su totalidad, por lo que es necesario dar este tipo de modelo de estudio para reparar o sobreponer una carpeta asfáltica. Se determinó que las carreteras que ya cuentan con una estructura de pavimento, consistente en una subbase o capa base y un ligante asfáltico, son susceptibles de métodos de rehabilitación que incluyen el reforzamiento de su estructura existente o la aplicación de una sobrecarpeta.

Alonso y Vargas (2014) quisieron diagnosticar y evaluar el comportamiento, estado superficial y posibles daños estructurales del pavimento flexible construido con grano de llanta de caucho reciclado (GCR) y puesto en servicio por el Instituto de Desarrollo Urbano IDU en los barrios de Suba, Teusaquillo, Tunjuelito, Kennedy y Fontibón de la ciudad de Bogotá. La investigación se realizó en los barrios de Suba, Teusaquillo, Tunjuelito, Kennedy y Fontibón. Fue una investigación aplicada que utilizó un enfoque cuantitativo y cualitativo para experimentar con diferentes diseños. Se utilizaron los métodos de censo y muestreo no probabilístico para recolectar los datos de la población, que fue un segmento vial de la autopista que conduce a Bogotá. La observación estructurada fue el método que se empleó, y los formularios de recogida de datos fueron el equipo que se utilizó. El principal

hallazgo fue que el estado de la superficie del pavimento era un factor importante a la hora de decidir si se debían utilizar métodos de rehabilitación o de aceptación para una determinada ruta. El cien por ciento de la superficie de la calzada de cincuenta metros se encuentra en buen estado, lo que significa que no presenta deterioros estructurales como piel de cocodrilo, grietas longitudinales o transversales, o parches en mal estado, ni deformaciones como abombamientos o hundimientos a lo largo y ancho de la calzada. Se concluyó que para la evaluación superficial de pavimentos flexibles, determina el estado del pavimento a partir de una descripción y cuantificación de las fallas encontradas, ponderándolas con una severidad y dependiendo también de las cantidades, el estado superficial de los pavimentos del tramo de la vía en la localidad de Bosa (Cl 59 Sur) en cada una de sus 6 unidades de muestreo (US) definidas presenta excelentes condiciones, y no se registraron fallas durante la inspección visual en ninguno de los pavimentos.

Higuera (2015) buscó, mediante la aplicación de la mecánica de pavimentos, conocer el comportamiento y la magnitud de los estados tensionales (tensiones, deformaciones y flexiones) de una estructura de pavimento flexible. Esto se hizo con la intención de incorporar esta información en el diseño de las estructuras. Se trató de una investigación aplicada que utilizó un enfoque tanto cuantitativo como cualitativo para experimentar con diferentes diseños. Se utilizaron los métodos de muestreo censal y no probabilístico en la muestra para obtener información sobre la población de estructuras de pavimento flexible. La observación estructurada fue el método empleado, y los formularios de recogida de datos fueron el

material utilizado. El hallazgo más importante fue que la cantidad de deflexión en un modelo estructural para un pavimento flexible disminuye en función del espesor de la capa asfáltica, las capas de base y subbase granular, y la calidad de la subrasante reflejada en su módulo de elasticidad. De forma similar, para el caso del modelo que se está investigando, la capa asfáltica disipa una deformación de 0,0072 mm (1,26%), la capa de base granular disipa 0,0859 mm (15,03%), y la capa de subbase granular disipa 0,1041 mm (18,22%). El resultado es que la disipación del paquete estructural es de 0,1972 mm (34,51%), y la subrasante absorbe, la deflexión total de 0,5715 milímetros puede descomponerse en sus partes componentes de la siguiente manera: la deflexión del paquete estructural es de 0,1972 milímetros, y la deflexión de la subrasante es de 0,3743 milímetros. Se determinó que para evaluar el comportamiento estructural y funcional de una estructura de pavimento flexible, es de suma importancia conocer el comportamiento de los estados tensionales generados en el interior de la estructura de pavimento, y la mecánica de pavimentos nos permite realizar este análisis. La conclusión a la que se llegó fue que para evaluar el comportamiento estructural y funcional de una estructura de pavimento flexible, es de suma importancia conocer el comportamiento de los estados de tensión.

Carrasco y Vizhñay (2019), tuvieron como objetivo realizar un plan de evaluación estructural de pavimentos a través del análisis de la información de deflexiones medidas con la viga Benkelman que posee el Municipio de Azogues y aplicarlo a una porción representativa de los pavimentos flexibles de dicha ciudad, brindando alternativas técnicas de solución a las deficiencias

que se presenten. Se trató de una investigación cuantitativa que utilizó un enfoque descriptivo para describir el diseño experimental. La población estuvo constituida por el tramo de pavimento flexible de la Avenida 16 de abril ubicado en la ciudad de Azogues, la muestra fue censal y fue de muestreo no probabilístico. La observación estructurada fue el método que se empleó y los formularios de recolección de datos fueron los equipos que se utilizaron. Los hallazgos más importantes fueron que los números estructurales efectivos  $S_{Neff}$  de las secciones de pavimento son relativamente altos debido al espesor de las capas que componen el pavimento, mientras que los números estructurales futuros  $S_{Nf}$  no son tan exigentes debido al relativamente bajo tráfico de vehículos pesados. A pesar de ello, la calzada izquierda presenta una notable deficiencia estructural que requiere refuerzo estructural en la mayoría de los tramos, con valores que oscilan entre 0,5 y 6 pulgadas de espesor, en contraste con la calzada derecha. Se determinó que la viga Benkelman del Municipio de Azogues, presenta diferencias estadísticamente significativas en comparación con la viga Benkelman de la Prefectura del Azuay; sin embargo, estas diferencias son causadas por un desfase en la calibración de los equipos; en consecuencia, se generaron factores de ajuste con los cuales ya no se presentaron diferencias estadísticamente significativas. Se concluyó que estas diferencias se deben a un desfase en la calibración de los equipos.

## 2.2. Marco conceptual

### Comportamiento estructural

- **Definición**

Según Herencia (2020), un comportamiento estructural adecuado es favorable con respecto al pavimento y tiene mejor y mayor resistencia, mejor durabilidad, buena resistencia a altas cargas de tráfico, buena resistencia a la deformación, es seguro al fenómeno de Aquaplaning (deslizamiento sobre superficies mojadas), no contamina el medio ambiente, es fácil de mantener, se puede utilizar un gran número de aditivos que permiten realizar todo tipo de trabajos o reparaciones con gran rapidez y eficacia. Según Olivera (2020), el comportamiento del pavimento cuando es sometido a una carga externa de tráfico cambia dependiendo del número de capas que lo componen. La forma en que se distribuye la carga es el aspecto del comportamiento de los firmes rígidos que más claramente lo diferencia del de los firmes flexibles. Está asociado a la capacidad estructural que tiene para soportar o resistir las solicitaciones de carga a las que se verá sometido a lo largo de su vida útil, tal y como afirman Aranguri y Valverde (2018). Esto se debe a que las cargas de los vehículos pesados producen una pérdida lenta y progresiva de la capacidad portante de la estructura del pavimento. Dependen de los efectos que provocan los gradientes de temperatura, así como la interacción con la cimentación hidráulica o cementada (Bonilla et al., 2017). Según López (2016), se refiere a la capacidad, ya sea estructural o funcional, que se puede medir a lo largo de la fase de diseño (hidráulica o cementada).

## **Comportamiento estructural del pavimento**

- **Pavimento**

Es la capa o conjunto de capas de materiales apropiados que se sitúa entre el nivel superior del movimiento de tierras y la superficie de apoyo. Las funciones principales de esta capa o conjunto de capas son proporcionar una superficie de apoyo uniforme en color y textura, resistente a la acción del tráfico, a la interpermeabilidad y a otros agentes dañinos, y transmitir al movimiento de tierras de forma adecuada los esfuerzos que se producen por las cargas que impone el tráfico. Además, tiene que ser resistente al desgaste debido a la abrasión que provocan los neumáticos, y necesita tener unas condiciones de drenaje adecuadas (Fernández, 2020).

Para aumentar la fricción y mantener la seguridad vial, la superficie debe tener una textura adecuada que se corresponda con la velocidad a la que circulan los coches. Además, el color de la superficie debe ser apropiado para evitar reflejos y deslumbramientos. Para que la experiencia sea más agradable para las personas que lo utilicen, hay que procurar que la superficie sea uniforme tanto en sentido transversal como longitudinal. El diseño también debe tener en cuenta las medidas que pueden tomarse para reducir el ruido causado por la rodadura. Como ocurre con muchos proyectos de infraestructuras, el coste y la vida útil son consideraciones esenciales, por lo que el pavimento debe ser duradero y rentable (Fernández, 2020).



- **Tipos de pavimento**

- ✓ **Pavimento flexible**

Se distingue porque se produce en la superficie por una capa de material bituminoso o mezcla asfáltica que se apoya sobre capas de material granular que, en general, sufren un descenso de calidad a medida que se acercan a la subrasante. Esto se debe a que las tensiones causadas por el tráfico disminuyen gradualmente a medida que aumenta la profundidad. A continuación, se presentan las capas que, en la mayoría de los casos, componen la construcción de un pavimento flexible (Fernández, 2020):

- **Carpeta asfáltica:** Se refiere a la capa que se encuentra directamente sobre la estructura. Sus funciones principales son servir como superficie de rodamiento uniforme y estable para permitir el tránsito, impermeabilizar la estructura para evitar, en la mayor medida posible, la infiltración de agua en el pavimento y ser resistente a los esfuerzos que provocan las cargas que se aplican.
- **Base:** Proporciona soporte a la capa asfáltica y distribuye las tensiones causadas por el tráfico a las capas situadas por debajo de ella a un nivel adecuado.
- **Sub-base:** El objetivo principal de esta capa es cumplir una función económica al permitir el uso de materiales de menor calidad para una parte del espesor total del pavimento. A partir de ahí, es posible utilizar simplemente la base, la subbase o ambas,

dependiendo de la calidad y el coste del material disponible. Si se utiliza una sub-base, el grosor final de la capa puede ser mayor; sin embargo, el diseño seguirá siendo más rentable. Además, puede funcionar como capa de transición porque actúa como un filtro que separa la base de la subrasante. Este filtro impide que los finos penetren en la subrasante y le causen daños estructurales. Esto permite que la capa de transición sirva como capa intermedia entre la base y la subrasante. Esta capa ayuda a gestionar las variaciones volumétricas que puedan producirse en la subrasante como resultado de cambios en su contenido de agua o temperatura. Estos cambios podrían provocar la expansión o contracción de la subrasante. De esta forma, las deformaciones serían absorbidas por la subbase, lo que evitaría que se reflejaran en la capa asfáltica.

✓ **Pavimento rígido**

Según Herencia (2020), la subbase granular es el nombre que recibe la capa compuesta de material granular y que a menudo se coloca sobre una losa de hormigón al construir este tipo de pavimento. Las losas de hormigón son el componente principal de este tipo de pavimento. Dado que el hormigón hidráulico tiene una alta resistencia y también un alto coeficiente de elasticidad, sus distribuciones de carga actúan de forma extremadamente amplia en toda una región. Esto se debe a las razones enumeradas anteriormente.

Según Coaquira (2017), son creados por una losa de concreto hidráulico, que puede o no tener un recubrimiento bituminoso y se

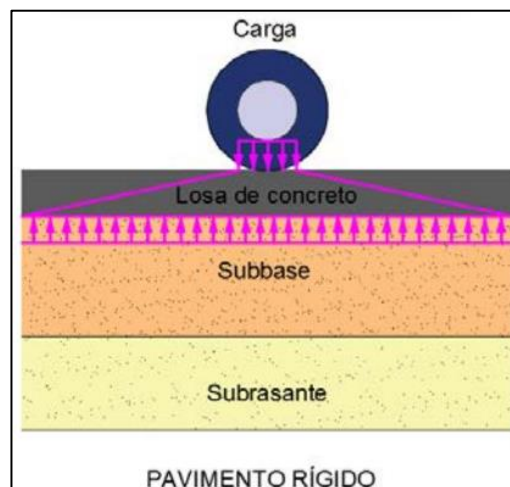
apoya sobre la subrasante o sobre una capa de material escogido (grava y arena). Su elemento estructural principal es una losa de hormigón. Cuando la subrasante del pavimento es de una calidad suficientemente excelente, la losa de hormigón puede colocarse directamente sobre ella, obviando así la necesidad de una subbase. Ésta se apoya sobre una capa de material elegido que se denomina subbase. Es necesario que la losa de hormigón tenga un soporte adecuadamente regular y resistente. Finalidades de las distintas capas que componen la construcción de un pavimento rígido (Fernández, 2020):

- **Subbase:** Capa que actúa como soporte consistente, estable y permanente de la losa. El papel más significativo de esta capa es evitar la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. El bombeo puede definirse como el movimiento de material fino junto con el agua fuera de la estructura del pavimento. Este movimiento se produce como consecuencia de la entrada de agua en la estructura a través de las juntas de las losas. La suciedad fina de la subrasante es licuada por el agua que penetra a través de las juntas, lo que facilita su evacuación a la superficie bajo la presión que ejercen las cargas que circulan por las losas.
  
- **Losa de concreto:** Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas que las del ligante en el pavimento flexible. Además, se incluye como una de las funciones de la losa en el

pavimento rígido, la función estructural de sostener y transmitir los esfuerzos que se le aplican a un nivel suficiente.

- **Comportamiento del pavimento frente a cargas de tránsito**

La respuesta estructural de un pavimento a los esfuerzos aplicados desde el exterior puede variar mucho en función de las capas que lo componen. La forma en que se distribuyen las cargas es el principal factor que contribuye a las diferencias de comportamiento observables entre los pavimentos flexibles y rígidos. Cuando se trata de pavimentos rígidos, la capa responsable de prácticamente toda la carga se denomina losa. Las capas bajo la losa contribuyen casi poco en términos de resistencia a la estructura. Debido a la rigidez del hormigón, las cargas en los pavimentos rígidos se dispersan por igual y, en consecuencia, las tensiones en la subrasante se mantienen en un mínimo absoluto. Por otro lado, los pavimentos flexibles tienen una rigidez menor que los pavimentos rígidos, lo que significa que se deforman más que éstos y provocan mayores tensiones en la subrasante (Fernández, 2020).



*Figura 1.* Distribución de la carga en pavimentos rígidos. Tomada de «Determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera Cajamarca-Celendín-Balsas, Tramo Chaquilpampa-Santa Rosa de Chaquil, mediante el análisis deflectométrico», por Fernández. 2020, p. 12.

- **Funciones de las distintas capas de un pavimento**

- ✓ **El terreno de fundación de la vía**

Según Coaquira (2017), tanto la roca como la tierra pueden utilizarse para construir cimientos. La roca, en sí misma, no suele plantear problemas cuando se utiliza como suelo de cimentación, ya que las tensiones que se le transmiten en la construcción de carreteras son, por término medio, de intensidad extremadamente baja en comparación con la resistencia inherente del material. La capacidad de la formación rocosa para modificarse por la acción de agentes mecánicos o químicos es otro factor que no desempeña una función que deba considerarse fuente de especial preocupación en términos de sostenimiento.

- **Factores que afectan el diseño de los pavimentos**

Según Coaquira (2017), se puede considerar que los factores que, independientemente de la técnica y la calidad del diseño del pavimento, tienen una influencia importante en el diseño del pavimento, pueden clasificarse en una de las tres categorías siguientes:

- ✓ **Características de los materiales que constituyen la terracería y la capa subrasante**

Los materiales que componen el movimiento de tierras y la capa de subrasante de una carretera o pavimento desempeñan un papel fundamental en el espesor requerido de un firme. Estos materiales influyen muy poco en el espesor de la losa en un pavimento rígido, pero bastante en el comportamiento de la losa.

✓ **El clima**

Las precipitaciones suelen ser el principal componente climático que influye en los pavimentos, ya sea por sus efectos directos o por el aumento de las aguas subterráneas. También es infrecuente que el proyectista deba diseñar y construir estructuras de drenaje suplementarias, además del drenaje estándar que siempre debe incluirse en la construcción de la carretera, o que deba recurrir a diseños especializados para el pavimento de la calzada. Las heladas pueden ser la causa de una gran variedad de problemas en el pavimento, sobre todo en regiones con clima severo y suelos propensos a la erosión. La temperatura y sus cambios bruscos afectan a los diseños, sobre todo en las losas de hormigón. Esto se debe a que los cambios de temperatura producen tensiones bastante significativas en construcciones como éstas.

✓ **Tránsito**

El tráfico genera las cargas a las que estará expuesto el pavimento durante su vida útil. A la hora de diseñar el pavimento, es esencial conocer con precisión la magnitud de estas cargas, las presiones de inflado de los neumáticos, así como su área de contacto, su disposición y disposición dentro del vehículo, la frecuencia y el número de repeticiones de las cargas, y las velocidades de aplicación.

- **Métodos de evaluación estructural**

Para ello es necesario perforar pozos de ensayo, obtener muestras para ensayarlas en el laboratorio y estudiar cada uno de sus componentes (materiales) de forma independiente, para luego poder fusionar estos componentes en el sistema conocido como pavimento y concluir sobre las características estructurales del mismo (Fernández, 2020).

- **Evaluación estructural basada en ensayos destructivos**

Para llevar a cabo estos ensayos será necesario, en algún momento, realizar modificaciones en el pavimento actual. Según Fernández (2020), los siguientes son algunos de los ensayos destructivos más utilizados para evaluar la capacidad portante de una estructura existente:

- ✓ **Excavación de calicatas**

Este procedimiento es similar al método tradicional de recopilación de información para el diseño, y su objetivo es determinar las diversas propiedades de los materiales que componen las diferentes capas del pavimento, con fines de diseño y/o evaluación estructural. Este método corresponde al método tradicional de recopilación de información para el diseño.

- ✓ **Extracción de testigos**

Se extrae una muestra en forma de cilindro de las capas superficiales del firme mediante un equipo denominado máquina extractora de testigos. En gran medida, sólo es relevante para el proceso de extracción de elementos de las capas de asfalto y hormigón. Permite

medir los espesores de las capas cementadas, además de sus cualidades de resistencia mecánica.

✓ **Placa de carga**

La capacidad portante del material de la subrasante, de las bases e incluso de todo el pavimento puede evaluarse con ayuda de la prueba de la plataforma de carga utilizando placas con diámetros relativamente grandes. No es factible aplicar esta tecnología a pavimentos preexistentes, ya que requiere la creación de fosos de ensayo de gran superficie, que además son caros. El uso de esta prueba ha ido disminuyendo con el tiempo.

- **Evaluación estructural basada en ensayos no destructivos**

Permiten estudiar la capacidad estructural actual de un firme sin requerir ningún tipo de intervención en ninguna fase del proceso. Según las investigaciones de Fernández (2020), existen dos categorías distintas de métodos no destructivos:

✓ **Medidas de deflexión**

Estas técnicas se basan en la producción de deformaciones elásticas o deflexiones en el pavimento mediante el uso de dispositivos especializados que funcionan en respuesta a esfuerzos estáticos o dinámicos. Cuando el equipo de medición deja de funcionar, estas deflexiones ya no se observan. Existen diversos instrumentos capaces de medir las deflexiones, pero los más significativos son los siguientes:

- Viga Benkelman



- Deflectómetro
- Dynaflect
- Falling Weight Deflectometer (FWD)

✓ **Evaluaciones empíricas (vida remanente)**

Este tipo de evaluación no representa una prueba en sí misma, sino que es una evaluación que se basa en relacionar directamente la pérdida de capacidad estructural del firme con las tensiones acumulativas reales del tráfico.

### **Análisis deflectométrico**

- **Definición**

Según Cotrado (2021), es el estudio de las deformaciones verticales de la superficie o del conjunto pavimento subrasante o de una calzada, como consecuencia de la acción de una determinada carga o sollicitación, indicando el debilitamiento del pavimento desde el punto de vista estructural. Esto puede ocurrir como consecuencia de la acción de una determinada carga o sollicitación. Según De La Cruz (2021), el estudio de ciertas variaciones verticales de la sección del pavimento que son generadas por la acción de una carga determinada o proyectada es lo que se conoce como deflectometría.

- **Deflectometría**

Según Condori (2021), se refiere a la investigación de las deformaciones o hundimientos verticales del firme que se producen como consecuencia de la acción de una determinada carga o fuerza. Cotrado (2021) se encarga de realizar el análisis

del estado real de la estructura de un pavimento, determinando así la capacidad que puede tener la estructura en su forma agrupada tanto en el pavimento como en la subrasante. Según De La Cruz (2021), es una evaluación o colapso del área del pavimento en el momento en que la utilización de un peso estándar en el área de un pavimento produce una modificación de forma validada. El empleo de una carga pesada que se crea por la declinación de una carga en un procedimiento moderado a través de un plano que se apoya en la región de la estructura del pavimento es lo que constituye la longitud deflectométrica.

- **Deflectómetro de impacto (FWD)**

Según Veloz (2014), está constituido por una masa que, al descender, provoca un impacto sobre un sistema de amortiguación elástica. Este tipo de sistema está formado por un conjunto de bloques de caucho, cuyo número y propiedades elásticas, junto con el tiempo de contacto entre los bloques, regulan la forma del impulso de carga que se genera. Es un instrumento de trabajo para la investigación del estado estructural de pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos, según De La Cruz (2021). Y todas las actuaciones del deflectómetro son gestionadas por el ejecutor desde el organizador que se establece en el vehículo tractor.

- **Ensayo deflectómetro de AASHTO**

De la Cruz (2021) señala que es un módulo robusto de la plataforma productora; por lo tanto, es la medición que utiliza la técnica de la ASSHTO para definir la superficie del suelo creadora en el diseño de pavimentos asfálticos.

- **Comportamiento del pavimento frente a cargas de tránsito según el análisis deflectométrico**

La respuesta estructural de un pavimento a las tensiones aplicadas desde el exterior puede variar enormemente en función de las capas que lo componen. La forma en que se distribuyen las cargas es el factor principal que contribuye a las diferencias de comportamiento observables entre pavimentos flexibles y rígidos. Debido a la rigidez del hormigón, las cargas se dispersan uniformemente en los pavimentos rígidos; como consecuencia, las tensiones en la subrasante se mantienen en un mínimo absoluto. Por otro lado, los pavimentos flexibles tienen una rigidez menor que los pavimentos rígidos, lo que significa que se deforman más que éstos y provocan mayores tensiones en la subrasante (Fernández, 2020).

- **Evaluación estructural de pavimentos para el análisis deflectómetro**

Según Quito (2019), la evaluación estructural de pavimentos consiste principalmente en la determinación de la capacidad resistente del sistema en una estructura vial existente, en cualquier momento de la vida útil del pavimento, con el fin de establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, ya sea cuando el pavimento se acerca al final de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función de demanda de tráfico. Esto se hace con el fin de determinar si el pavimento necesita ser rehabilitado o no.

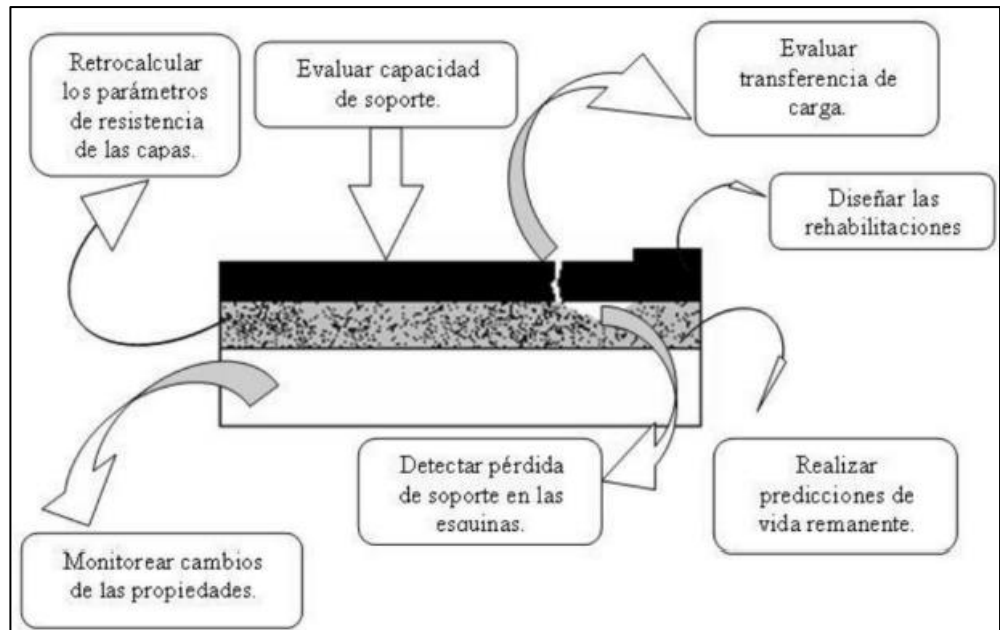


Figura 2. Resultados de una evaluación estructural. Tomada de «Análisis deflectométrico del pavimento flexibles de la carretera Cajamarca-Jesús, tramo Dv. A Llacanora (Plaza Pecuaría Iscoconga) - La Huaraclla; para determinar su comportamiento estructural», por Quito. 2019, p. 16.

#### - Solicitaciones principales de un pavimento

Según Quito (2019), las sollicitaciones primarias de un pavimento son el resultado del clima y del tráfico que pasa sobre él. El tráfico, que puede ser pensado como las cargas a las que está sometido el pavimento, y el clima, que puede ser pensado como el agente natural del medio ambiente:

##### ✓ Tránsito

Es evidente que el número de vehículos que circulan por las carreteras ha aumentado considerablemente en los últimos años; sin embargo, este crecimiento ha sido aún más espectacular si se tiene en cuenta la carga transportada. Debido a esta circunstancia, el comportamiento del pavimento se ve impactado significativamente

cuando se intenta determinar o pronosticar la cantidad de daño que se causará al pavimento a través del tiempo (Quito, 2019).

✓ **Clima**

El clima y sus impactos en el medio ambiente influyen en el comportamiento de los pavimentos tanto rígidos como flexibles. Cuando se trata de la construcción de un pavimento, la humedad y la temperatura son dos de los elementos que pueden tener un impacto considerable sobre la capa de pavimento, las cualidades de la subrasante y, como consecuencia, la capacidad del pavimento para soportar cargas (Quito, 2019).

- **Modelos de comportamiento del pavimento**

Cada modelo de comportamiento es un modelo matemático que permite predecir el desarrollo probable de la degradación del pavimento a lo largo de la línea de tiempo, siempre que las circunstancias puedan establecerse tanto en el momento del estudio como durante la puesta en servicio del pavimento (Quito, 2019).

✓ **Modelo de Hogg**

Hogg ofreció la solución matemática al problema que lleva su nombre y se asocia al modelo. Este modelo representa al pavimento como una placa delgada que tiene una determinada rigidez a la flexión y es horizontalmente infinita. Está soportada por una capa elástica homogénea e isotrópica, y su espesor puede ser infinito o estar restringido por una cimentación rígida, horizontal y perfectamente rugosa (Quito, 2019).

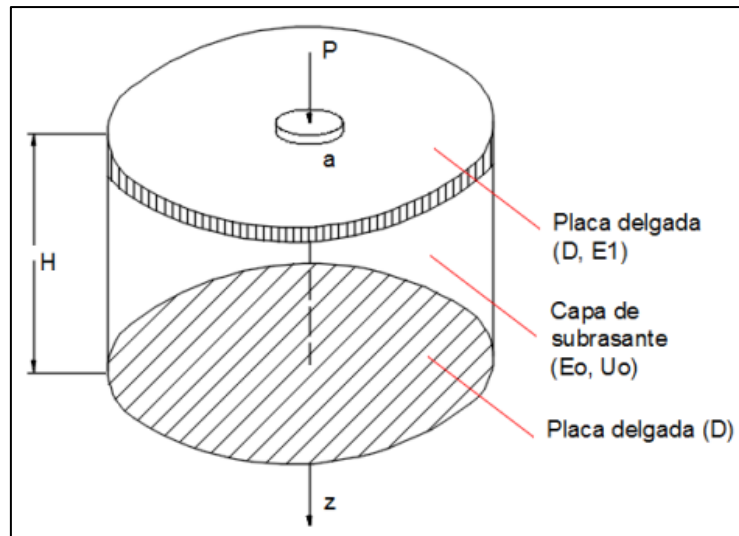


Figura 3. Modelo de comportamiento Hogg. Tomada de «Análisis deflectométrico del pavimento flexibles de la carretera Cajamarca-Jesús, tramo Dv. A Llacanora (Plaza Pecuaria Iscoconga) - La Huaraclla; para determinar su comportamiento estructural», por Quito. 2019, p. 30.

#### ✓ Modelo de Ahlvin y Ulery

El punto en el cual se hace absolutamente necesario aumentar la capacidad portante de la subrasante; se realizaron mediciones deflectométricas utilizando una Viga Benkelman, la cual también determina las deflexiones verticales que se producen debajo de una región circular cargada (Quito, 2019).

#### • Importancia de la evaluación de pavimentos para el análisis deflectómetro

Es capaz de determinar el estado de un pavimento y optimizar los costos asociados a su mantenimiento y/o rehabilitación, además de prolongar la vida útil de las carreteras, evitar mayores gastos en el futuro y brindar un nivel de servicio idóneo a los usuarios (Carrasco y Vizhay, 2019):

- **Evaluación estructural**

Tradicionalmente se han utilizado técnicas destructivas para detectar el estado estructural del pavimento. Una de ellas es el uso de perforaciones, las cuales alteran el comportamiento del pavimento. Para evaluar el estado estructural del pavimento, se han utilizado varios métodos.

- **Ensayo no destructivo**

Consisten en realizar mediciones en o cerca de la superficie del pavimento sin alterar o destruir la estructura del mismo, y luego relacionar los resultados con las propiedades del pavimento para proporcionar una evaluación o diagnóstico de la capacidad estructural del mismo. Esto puede hacerse en la superficie del pavimento o cerca de la superficie.

- **Ensayo no destructivo de deflexión**

Las mediciones de deflexión se han utilizado durante mucho tiempo para la evaluación de la capacidad estructural de los pavimentos. En el caso de los pavimentos flexibles, estas mediciones pueden utilizarse para volver a calcular el módulo de elasticidad de varios componentes de la estructura de dicho pavimento (Carrasco y Vizhay, 2019).

- **Tipos de equipos para medir la deflexión**

Según Carrasco y Vizhay (2019), para medir la capacidad estructural de los pavimentos a través de la deflexión se pueden utilizar las siguientes categorías de equipos de ensayo:

✓ **Equipo dinámico de aplicación de carga**

Para proporcionar una carga dinámica, se hace uso de un generador de fuerza dinámica. El generador de fuerza puede ser una masa giratoria o un mecanismo de accionamiento hidráulico controlado por un servocontrolador.

✓ **Equipo de impulso**

Se deja caer una masa desde una altura que puede ajustarse sobre un sistema de amortiguación de caucho o muelle, lo que da lugar a la creación de una carga impulsiva en la calzada. El aparato que genera la fuerza debe poder ascender hasta una o varias alturas predeterminadas y luego descender de nuevo.

✓ **Equipo estático semi-continuo**

El concepto de doble brazo de palanca se utiliza en el funcionamiento de este tipo de aparato. Este equipo se transporta utilizando un camión que tiene una carga de prueba en el eje trasero de 130 kN. (29.000 lbf).

✓ **Equipo estático discontinuo**

Este aparato funciona según el principio de un solo brazo de palanca. Se emplea un camión que tenga una carga de prueba mínima en el eje trasero de 80 kN, ya que es el vehículo que se utiliza para impartir el peso de la rueda al pavimento (18.000 lbf).

- **Factores que afectan la magnitud de las deflexiones**

Las mediciones de la deflexión realizadas en un pavimento se ven afectadas por una serie de causas diferentes. Debido a esto, llegar a una



interpretación precisa de los datos puede ser un reto. Según Carrasco y Vizhay (2019), los componentes más esenciales son los siguientes:

✓ **Factores debidos a la carga**

El tipo de carga que se aplica, así como su cuantía, influye en el valor de la deflexión que se alcanza en el pavimento. Aunque la relación entre la carga y la deflexión resultante no es lineal, la deflexión será mayor a medida que aumente la carga. Esto se debe a que el comportamiento de los suelos de subrasante y de los materiales granulares suele ser diferente en función del estado tensional al que estén sometidos en general.

✓ **Factores debidos al pavimento**

Las mediciones de la deflexión de un pavimento pueden estar sujetas a variaciones significativas dependiendo, tanto de sus propiedades como de su estado. He aquí algunos ejemplos que ilustran este punto:

- Las deflexiones registradas en porciones del pavimento que se han deteriorado son a menudo sustancialmente mayores que las encontradas en áreas del pavimento que están en buenas condiciones para el mismo diseño de pavimento.
- Las deflexiones que se detectan en la huella exterior son mayores que las que se miden en la huella interior o en el espacio entre las dos bandas de rodadura.
- Las deflexiones que se miden cerca de estructuras hidráulicas como puentes y alcantarillas, por ejemplo, son mayores que las que se adquieren en otros lugares del pavimento.
- La medición de la deflexión se ve afectada cuando se produce un cambio

en la estructura del pavimento o en el tipo de suelo de la subrasante.

- Pueden producirse variaciones significativas en las deflexiones en distancias muy cortas cuando existe heterogeneidad en la rigidez del pavimento.

- **Deflexión como parámetro de evaluación estructural**

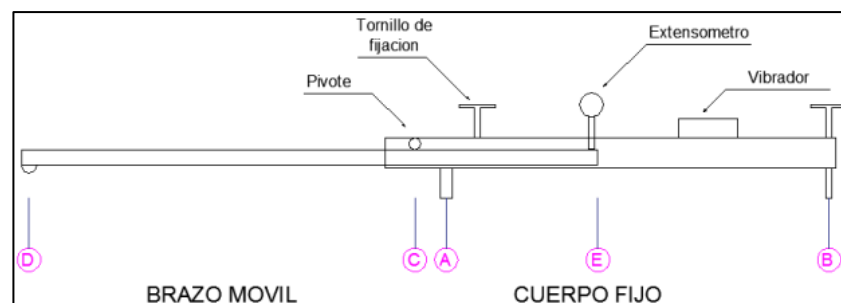
Según Fernández (2020), el desplazamiento vertical de la superficie que se produce como resultado de la aplicación de una carga externa es lo que se entiende por el término "deflexión" cuando se hace referencia a la construcción de un pavimento asfáltico. La aplicación de esta carga a la superficie provoca la deflexión de todas las capas, lo que se traduce en el desarrollo de tensiones en el interior de cada una de ellas.

- **Medición de deflexión estática o de movimiento lento**

En la mayoría de los casos, la reacción de un pavimento a la aplicación única de una carga estática o una carga de movimiento lento pueden adquirirse midiendo la deflexión de la superficie del pavimento bajo la carga. Esto puede hacerse para determinar el comportamiento del pavimento. La viga de deflexión, desarrollada por Alvin Carlton Benkelman, es el instrumento más utilizado para medir la deflexión elástica de un firme determinado. Este instrumento también permite conocer los diferentes estados y propiedades del pavimento, lo cual es de gran utilidad para el diseño, construcción y conservación de la estructura del pavimento.

## ✓ **Viga Benkelman**

Según Fernández (2020), el deflectómetro Benkelman se caracteriza por tener un diseño muy simple y de fácil manejo, además de ser un instrumento de naturaleza mayoritariamente mecánica. Tal y como se representa en la Figura 4, este tipo de viga se compone de dos componentes principales, a saber: (1) Un cuerpo que sirve de soporte y que se fija al suelo mediante tres apoyos (dos en la parte delantera estable "A" y uno en la parte trasera ajustable "B"), y (2) Existe un brazo móvil unido al cuerpo que se fija mediante una articulación pivotante o pivote "C". Uno de los extremos del brazo se apoya en el suelo (punto "D"), y el otro es sensible (punto "E"). Además de las características mencionadas, el instrumento está equipado con un vibrador que, cuando se utiliza durante todo el proceso de realización de las pruebas, evita que la indicación del dial se atasque. Se trata de un instrumento puramente mecánico con un diseño sencillo, y su funcionamiento se basa en el concepto de palanca.



*Figura 4.* Esquema de la Viga Benkelman. Tomada de «Determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera Cajamarca-Celendín-Balsas, Tramo Chaquilpampa-Santa Rosa de Chaquil, mediante el análisis deflectométrico», por Fernández. 2020, p. 19.

✓ **Procedimiento para el ensayo con la viga Benkelman**

Según R.D. N°10-2014-MTC/14 (2014) el método para efectuarse el ensayo con el equipo viga Benkelman es como sigue:

El punto del pavimento a ser estudiado, será identificado y delimitado preferentemente con una línea transversal a la vía. En dicha línea será ubicado el punto de ensayo a una distancia fija del margen. Se sugiere emplear las distancias señaladas a continuación en la presente tabla.

**Tabla 1.** *Distancias para ensayos*

<b>Ancho de carril</b>	<b>Distancia del punto del ensayo desde el borde del pavimento (m)</b>
2.70 m.	0.45
3.00 m.	0.60
3.30 m.	0.75
3.60 m. o más	0.90

*Nota:* Tomado de Evaluación estructural usando viga Benkelman aplicada a un pavimento. Balarezo 2017.

Se tendrá que colocar la rueda dual externa encima del punto identificado, de modo que estará superpuesto entre ambas llantas. Además, a fin de que se ubique adecuadamente, es recomendable que se sitúe en la parte superior del camión con una mira vertical relacionada al eje de carga; de forma que se mueva lentamente el camión

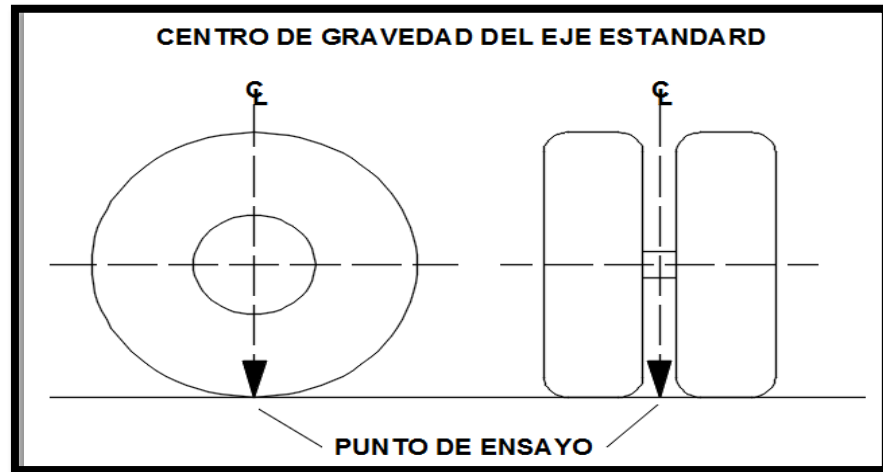


Figura 5. Ubicación del centro de gravedad del eje posterior. Fuente: Hoffman (1985).

✓ **Cálculo de las deflexiones**

De acuerdo a Quito (2019), para la obtención de la medición se debe obtener las deflexiones máximas, también es necesario calcular el contraste entre las demás lecturas y la lectura final. Las diferencias deberán de multiplicarse por la relación de brazos de la viga Benkelman utilizada, en este caso 1:4.

$$D_n = (L_f - L_n) \times 4$$

Donde:

$D_n$ : Deflexión en la medida n.

$L_f$ : Lectura en la medida final.

$L_n$ : Lectura en la medida n.

✓ **Corrección por temperatura**

Las deflexiones características se describen a una temperatura normal de 20°C.

El efecto de la temperatura en la deflexión tendrá una mayor relevancia, en caso que las carpetas asfálticas sean gruesas por lo que se sugiere emplear algún factor de corrección, se determina así:

$$D_c(20^\circ C) = \frac{D_c(T)}{1 + 8 \times 10^{-4} h(T - 20)}$$

Donde:

$D_c(T)$ : Deflexión característica de la sección, para la temperatura del pavimento en el momento del estudio (T).

h: Espesor promedio de las capas asfálticas de la sección, en cm.

Expresión válida para temperaturas que sean menores o iguales a 40°C.

#### ✓ **Corrección por condiciones ambientales**

Montejo (2002) a continuación se muestran los valores de la deflexión característica que deben aplicarse:

**Tabla 2.** *Tabla de valores para corrección por condiciones ambientales*

<b>Naturaleza del suelo de subrasante</b>	<b>Periodo lluvias</b>	<b>P. Intermedio</b>	<b>P. Seco</b>
Suelos arenosos y permeables	1.0	1.0 a 1.1	1.1 a 1.3
S. arcillosos e impermeables	1.0	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

Fuente: Montejo (2002).

#### ✓ **Metodología de retrocálculo**

Guillén (2009) en la Tabla 3 se pueden apreciar salidas del retrocálculo que son el módulo resiliente de la subrasante, el número

estructural efectivo de las capas del pavimento y el módulo de elasticidad de la estructura del pavimento.

**Tabla 3.** Representación de la metodología de retrocálculo.

Cálculo directo	
E, Di, $\mu$	d, $\sigma$ , $\epsilon$
Retrocálculo	
d, $\sigma$ , $\epsilon$	E, Di, $\mu$

Fuente: Montejo (2002).

Donde:

E: Módulo elástico de materiales

$\mu$ : Relación de Poisson

d: Deflexión del pavimento

$\sigma$ : Tensión de la estructura

D: Espesor de capas

Por lo general no se cuenta con muchas metodologías enfocadas para las deflexiones en base a cargas estáticas. Mario Hoffman en 1975, ostentó una metodología fundamentada en el Modelo de Hogg, el cual se rige en las deflexiones obtenidas mediante la viga Benkelman.

### **Modelo de Hogg**

La subrasante se muestra como un medio homogéneo, lineal y elástico

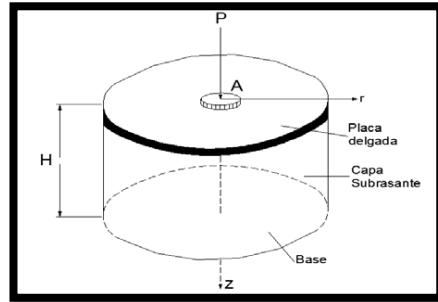


Figura 6. Esquema del Modelo de Hogg.

En 1977 Hoffman ostentó la solución computarizada del modelo, que es sintetizado tal cual se muestra en la parte inferior.

$$A = \sqrt{\frac{P/2}{\pi p}} \rightarrow R_5 = R \frac{A^C - B}{\left[ A \left( \frac{D_0}{D_R} - 1 \right) \right]^C - B}$$

$$L_0 = \frac{Y R_5 + \sqrt{(Y R_5)^2 - 4 A X R_5}}{2} \rightarrow \frac{S_0}{S} = 1 - M \left( \frac{A}{L_0} - 0.1 \right) \rightarrow$$

$$E_0 = \left( \frac{K * I * P}{L_0 * D_0} \right) \frac{S_0}{S}$$

#### ✓ Determinación de R5

Hoffman (1985) es la distancia "R" del eje geométrico de la rueda par en trayectoria longitudinal, en la cual resulta la proporción de  $D_R/D_0 = 0.5$  esto en la curva de deflexiones. Para emplear el modelo de HOGG se determina que R5 puede usar la ecuación como sigue:

$$R_5 = R \frac{A^C - B}{\left[ A \left( \frac{D_0}{D_R} - 1 \right) \right]^C - B}$$

Donde:

R: Distancia a la que se mide la deflexión

D<sub>0</sub>: Deflexión máxima



$D_R$ : Deflexión a la distancia R

A, B y C: Coeficientes de correlación se obtienen de la Tabla 4.

**Tabla 4.** Coeficientes para el cálculo de  $R_5$

H/Lo	$\mu$	A	B	C
$\infty$	Cualquier valor	3.115	0	0.584
10	0.5	2.46	0	0.592
DR/Do>0.7	0.5	371.1	2	0.219
10	0.4	2.629	0	0.548
DR/Do>0.426	0.4	2283.4	3	0.2004
10	0.4	2283.4	3	0.2004
DR/Do<0.426				

Fuente: Hoffman (1985).

✓ **Determinación de la longitud elástica ( $L_0$ )**

La longitud elástica ( $L_0$ ) del pavimento puede calcularse mediante la siguiente ecuación.

$$L_0 = \frac{YR_5 + \sqrt{(YR_5)^2 - 4AXR_5}}{2}$$

Donde:

$R_5$ : Calculado en la ecuación anterior

A: Radio de la huella circular de carga

X,Y: Coeficiente de correlación se obtienen de la Tabla 5.

$\mu$ : Relación de Poison

**Tabla 5.** Coeficientes para el cálculo de  $L_0$

H/Lo	$\mu$	X	Y
10	0.5	0.183	0.62
10	0.4	0.192	0.602
$\infty$	Cualquier valor	0.18	0.525

Fuente: Hoffman (1985).

✓ **Determinación del radio de curvatura**

CONREVIAL (1983) el grado de curvatura de la línea elástica tiene por función esencial establecer la capacidad de la deformación lineal por tensión que resisten las capas elásticas al ser flexionados por parte de las cargas de tránsito. Según la metodología francesa el radio de curvatura se calcula con:

$$R_c = \frac{10x25^2}{2 * (D_0 - D_{25})}$$

Donde:

R<sub>c</sub>: Radio de Curvatura (m)

D<sub>0</sub>: Deflexión máxima corregida por temperatura (1/100 mm)

D<sub>25</sub>: Deflexión a 25 cm corregida por temperatura (1/100 mm)

✓ **Deflexión característica**

CONREVIAL (1983) la deflexión característica, es una medida estadística que generalmente es utilizada para la identificación distintiva de los pavimentos asfálticos. Para su obtención es imprescindible tener un conjunto de datos de las deflexiones recuperables máximas (D<sub>0</sub>), del tramo que se desea evaluar y determinar los parámetros estadísticos de estos datos.

A partir de una serie de deflexiones individuales, suponiendo que se encuentren distribuidas en función a la ley de Gauss se determinan los siguientes: el coeficiente de variación CV, el desvío cuadrático medio o desviación estándar (σ) y la deflexión promedio ( $\bar{D}$ ) en función a la expresión, se denota a “n” como el número de determinaciones (CONREVIAL, 1983):

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{(n - 1)}}, \text{ para } n > 30$$

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{D}} * 10$$

La desviación estándar aumenta en función al aumento de las deflexiones, también considerar que las deflexiones superiores están ligadas a pavimentos, por lo general más débiles y también son los más inestables; así mismo considerar la deflexión de diseño, la dispersión y la deflexión media para calcular el refuerzo (Guillén, 2009).

Para temas de diseño por lo general se aplica la deflexión característica, es considerada por ser un valor que representa de mejor manera a una determinada sección; habitualmente se establece como deflexión característica al análisis estadístico (CONREVIAl, 1983):

$$D_c = \bar{D} + t * \sigma$$

Donde:

$D_c$ : Deflexión característica

$\bar{D}$ : Deflexión promedio de los valores individuales  $D_0$  corregidos

$t$ : Coeficiente del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica

$\sigma$ : Des. Estándar

Considerando que todas las deflexiones promedio representan un área de pavimento, cada valor “ $t$ ” será la evidencia de un porcentaje del área total con perspectiva de obtener deflexiones mayores a las características.

**Tabla 6.** Valor de “t” y probabilidad de ocurrencia de  $D > DC$

Valor de diseño	$D_c$	Área $D > D_c$ %
50	D	50
75	$D + 0.67\sigma$	25
85	$D + \sigma$	15
90	$D + 1.3\sigma$	10
95	$D + 1.645\sigma$	5
98	$D + 2\sigma$	2
99	$D + 2.33\sigma$	1

Fuente: Olivera (2020).

✓ **Deflexión admisible**

CONREVIAL (1983) es un parámetro que establece un límite para la deflexión característica, razón por la que la estructura no puede lograr un comportamiento adecuado. Se define este parámetro mediante la siguiente expresión analítica que se muestra a continuación:

$$D_\alpha = \left( \frac{1.15}{N18} \right)^{\frac{1}{4}}$$

Donde:

$D_\alpha$ : Deflexión admisible (mm)

N18: N° de repeticiones de ejes equivalente a 8.2 ton (millones)

✓ **Deflexión crítica**

CONREVIAL (1983) es un parámetro que está vinculado a la relación al tráfico de diseño, que establece un valor límite para la deflexión cuando haya cumplido con su vida útil. Se define este parámetro mediante la expresión analítica que se muestra a continuación:

$$D_{CR} = \left( \frac{1.90}{N18} \right)^{\frac{1}{5.3}}$$

Donde:

$D_{CR}$  : Deflexión crítica (mm)

N18: Número de repeticiones de ejes equivalente a 8.2 ton  
(millones)

✓ **Factor de crecimiento**

CONREVIAl (1983) sostiene la siguiente fórmula:

$$G = \frac{[(1 + r)^n - 1]}{r}$$

Dónde:

r: Tasa de crecimiento anual (decimales)

n: Periodo de diseño (años)

✓ **Análisis**

Con los parámetros calculados se procede al siguiente análisis:

**Tabla 7.** *Características del pavimento de acuerdo al tipo de deflexión y Radio de curvatura*

<b>Tipo de deflexión</b>	<b>Comportamiento de la subrasante</b>	<b>Comp. del pavimento</b>
Tipo I	Bueno $DC < D_a$	Bueno $RC > 100$
Tipo II	Malo $DC > D_a$	Bueno $RC > 100$
Tipo III	Bueno $DC < D_a$	Malo $RC > 100$
Tipo IV	Malo $DC > D_a$	Malo $RC < 100$

Fuente: CONREVIAl (1983).

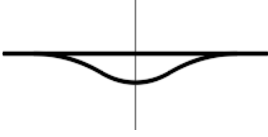
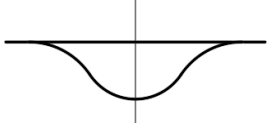
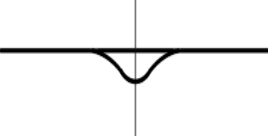
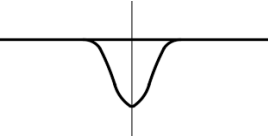
Tipo	Cuenco de deflexiones	Curva Medida	Pavimento Evaluado
I		Curva extensa poco pronunciada	Buen Pavimento Buena subrasante
II		Curva extensa profunda	Buen Pavimento Mala subrasante
III		Curva corta poco Profunda	Mal Pavimento Buena subrasante
IV		Curva corta profunda	Mal Pavimento Mala subrasante

Figura 7. Características del pavimento de acuerdo al cuenco de deflexiones. Fuente: CONREVIAl (1983).

### 2.3. Definición de términos

**Comportamiento Estructural:** Según R.D. N°22-MTC, se conceptualiza como la capacidad estructural que tiene que ser medible durante su vida útil o de servicio (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013).

**Deflexión:** Es el valor de la deformación vertical del compuesto “plataforma – calzada”, con respecto a una carga determinada y representa el decaimiento de la resistencia del pavimento frente al tránsito de vehículos (Condori, 2021).

**Evaluación de pavimentos.** Es la acción de calificar y cuantificar las condiciones de fallas de la vía, con el propósito de recabar datos que solucionen las deficiencias halladas (R.D. N° 10-2014-MTC/14, 2014).

**Evaluación estructural.** Se caracteriza por tener como función principal la evaluación del valor estructural remanente y el análisis, también suministra información sobre las causas que ocasionan la falla (Quito, 2019).

**Factor Climático.** También denominado ambiental, es una serie de elementos como la temperatura y la precipitación que van a ser distintas en cada zona acorde a diversos factores (Quito, 2019).

**Fallas superficiales:** Las deficiencias de la superficie de la calzada, que solo se originan a nivel de la carpeta asfáltica y no alberga interacción con la composición del pavimento, regularizándose con la intervención de freseado o recapeo de la carpeta asfáltica (Condori, 2021).

**Pavimento:** Es la superestructura vial que faculta el tránsito vehicular con la comodidad, economía y seguridad diseñada por algún diseño, los materiales más utilizados en la ejecución de un pavimento son aquellas que presentan varias alternativas; es por ello que la estructura logra estar compuesta por varios componentes (De La Cruz, 2021).

**Tráfico.** Se define básicamente como tránsito vehicular usualmente es utilizada como datos esenciales para el diseño de pavimentos y análisis. También es medido

por la metodología mecanístico - empírica como son: la frecuencia de las cargas y la magnitud (Jaña, 2016).

**Sistema de carga:** El componente más delicado del sistema de carga es la celda de carga o traductor de carga. Este dispositivo se encuentra instalado al interior del FWD sobre el plato de carga y permite determinar la fuerza que es aplicada por la combinación de pesas y altura de caída sobre el pavimento (Veloz, 2014).

**Subrasante:** Es la capa de terreno que soporta el paquete estructural y que se extiende hasta una profundidad en la cual no influyen las cargas de tránsito (Quito, 2019).

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

Los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo serían significativos a través del uso de la viga Benkelman, en el año 2022.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- a) Los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de las deflexiones medidas del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, serían significativos a través del uso de la viga Benkelman, en el año 2022.



b) Los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de los radios de curvatura del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, serían significativos a través del uso de la viga Benkelman, en el año 2022.

## 2.5. Variables

### 2.5.1. Definición conceptual de la variable

**Variable independiente (X): Comportamiento estructural:** Se conceptualiza como la capacidad estructural que tiene que ser medible durante su vida útil o de servicio (R.D. N°22-MTC, 2013).

**Variable dependiente (Y): Análisis deflectométrico:** Se define como la evaluación de la capacidad estructural de un pavimento asfáltico “in-situ” (R.D. N°10-2014-MTC/14, 2014).

### 2.5.2. Definición operacional de la variable

**Variable independiente (X): Comportamiento estructural:** Se optó por emplear la viga Benkelman para la recopilación de datos de las deflexiones y radio de curvatura.

**Variable dependiente (Y): Análisis deflectométrico:** Se utilizó un camión que pesó 8.2 Ton. sobre un pavimento flexible (Carpeta Asfáltica + Capas Granulares).

### 2.5.3. Operacionalización de la variable

Se presenta un cuadro de síntesis de la operacionalización de variables con sus respectivas dimensiones, indicadores de cada variable que permitirán realizar la medición.

**Tabla 8.** Operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades
<b>Variable independiente (X):</b> Comportamiento estructural	Se conceptualiza como la capacidad estructural que tiene que ser medible durante su vida útil o de servicio (R.D. N°22-MTC, 2013).	Se optó por emplear la viga Benkelman para la recopilación de datos de las deflexiones y radio de curvatura.	Deflexiones	Deflexiones parciales	mm
				Deflexiones - Relación brazo de viga Benkelman	mm
				Deflexión máxima	mm
			Radio de curvatura	Curvatura del pavimento	mt
<b>Variable dependiente (Y):</b> Análisis deflectométrico	Se define como la evaluación de la capacidad estructural de un pavimento asfáltico “in-situ” (R.D. N°10-2014-MTC/14, 2014).	Se utilizó un camión que pesó 8.2 Ton. sobre un pavimento flexible (Carpeta Asfáltica + Capas Granulares).	Características del camión	Carga del eje de camión	Tn
				Presión de neumáticos	Psi
			Pavimentos flexibles	Temperatura del pavimento	°C

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método de investigación**

Se eligió el Método Científico como metodología, ya que se trata principalmente de un enfoque de investigación que se utiliza en el proceso de producción de información científica más que cualquier otra cosa. El término "método científico" se refiere a un método de investigación que exige el uso de mediciones y criterios empíricos como fundamentos necesarios, además de la necesidad de someter los resultados a pruebas lógicas. Para ser considerado científico, un esfuerzo no sólo debe basarse en el empirismo y la medición, sino que también debe estar abierto a la investigación racional. (Hernández y Mendoza, 2018) Esto demuestra que el método científico es un tipo de análisis que, en teoría, permite separar las experiencias científicas de otro tipo de experiencias.

#### **3.2. Tipo de investigación**

La investigación fue de tipo aplicada porque el objetivo fundamental de la investigación aplicada es dar solución a dificultades prácticas urgentes para lograr un cambio en las circunstancias del fenómeno que se investiga. El problema que se investigaba era un fenómeno que se producía en un entorno concreto. El objetivo

es desarrollar respuestas a problemas que existen realmente en el mundo real para poder cumplir las normas que ha establecido la sociedad. Utiliza la información obtenida a través de la investigación básica y estudia hechos y sucesos que puedan tener alguna aplicación en la vida real.

Sin embargo, no se limita a utilizar sólo esos conocimientos y puede aplicar también otros tipos de conocimientos. Por otro lado, el objetivo de esta investigación es obtener nuevos conocimientos especializados sobre el fenómeno que se investiga. Esta área específica de estudio ya cuenta con una cantidad considerable de material; no obstante, el objetivo de este estudio concreto es intentar mejorar de algún modo un componente del entorno existente. Esta línea de investigación puede entenderse de varias maneras, una de las cuales es que se trata de un esfuerzo por hacer las cosas mejor de lo que ya son mediante la adopción de un comportamiento que provoque cambios en el entorno circundante. Otra perspectiva de este tipo de estudio es que es un intento de hacer del mundo un lugar mejor mediante la recopilación de datos sobre un tema determinado. Esta es solo una forma de verlo (Sánchez, 2019).

### **3.3. Nivel de investigación**

El análisis de la influencia de la variable independiente sobre la variable dependiente es el objetivo primordial del nivel explicativo. En este nivel se explican las condiciones que dinamizan tanto la variable independiente como su incidencia en la variable dependiente, así como los efectos de la variable independiente en la variable dependiente y su explicación en el contexto del estudio (Sánchez, 2019). Por lo anterior, es pertinente señalar que la presente investigación se realizó a nivel explicativo.

### **3.4. Diseño de investigación**

Para el estudio se utilizó un diseño no experimental porque el investigador no pudo controlar, manipular o alterar de otro modo a los sujetos. En su lugar, el investigador se basó en la interpretación o las observaciones para llegar a una conclusión; en otras palabras, las variables no se controlaron ni manipularon en modo alguno. El investigador se limita a realizar observaciones de los hechos en el contexto en el que se producen normalmente. Los datos se recogen de forma directa y se analizan posteriormente (Sánchez, 2019).

### **3.5. Población y muestra**

#### **Población**

La población de un proyecto de investigación está constituida por todos los elementos (personas, cosas, criaturas e historias clínicas, por ejemplo) que forman parte del fenómeno que se esbozó en el análisis del problema de investigación y que están siendo estudiados. La población tiene la cualidad de ser investigada, analizada y contada periódicamente. De acuerdo con Silvestre y Huamán (2019), la población, a la que también se le denomina universo, tiene que tener límites distintos establecidos con base en sus características de contenido, ubicación y tiempo. La población que se analizó para esta investigación fue tomada del Sistema de Pavimentos Flexibles que se encuentra ubicado en la región Chilca de la provincia de Huancayo.

#### **Muestra**

Es una porción muy pequeña del total de la población que se considera representativa de la misma, y también es una porción muy pequeña del total de la población que es capaz de brindar información sobre la condición del objeto de

estudio (Sánchez, 2019). Los sitios que fueron analizados en el pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra en el distrito de Chilca sirvieron como muestra para este estudio. Esta investigación en particular se realizó en el tramo de la Av. Leoncio Prado y Av. Próceres. Como la investigación se realizó en un tramo que constaba de alrededor de 8 kilómetros en cada carril, el número de muestras se decidió utilizando un método denominado muestreo no probabilístico, que se basa en la conveniencia y no en la probabilidad (ida y vuelta).

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.6.1. Técnicas de recolección de datos**

Las técnicas de investigación, tal como las definen Silvestre y Huamán (2019), son un conjunto de procedimientos de los que se vale un investigador para lograr un determinado conjunto de objetivos o indagar sobre un tema en particular. Se utilizó la observación estructurada como una de las tácticas, ya que los hechos que se vieron no fueron alterados de ninguna manera, y así se aseguró la recolección precisa de los datos. Durante el periodo de recopilación de pruebas documentales, dedicamos el mismo esfuerzo a analizar los libros, diarios y otros materiales pertinentes para nuestra investigación. Además, se utilizó la información obtenida a través de Internet.

Para llevar a cabo una observación, el investigador tiene que tener acceso ilimitado al programa de estudio y también tiene que ser testigo de las diferentes manifestaciones que se producen a lo largo del evento. La observación fue el método que se empleó en este estudio de investigación. Esto se debe a que las pruebas no

destructivas que se realizaron en el pavimento flexible fueron vistas y registradas. En el párrafo anterior se puede encontrar más información sobre esta metodología. A continuación, se explica cada paso en su debido orden:

- Se ha realizado la identificación y caracterización de la sección de investigación.
- Se ha completado la investigación sobre el flujo de tráfico.
- Para establecer el comportamiento estructural del pavimento flexible, se recopiló la información obtenida en el ensayo de vigas Benkelman. Para ello fue necesario aplicar los conocimientos adquiridos en los Manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

### **3.6.2. Instrumentos de recolección de datos**

Según Silvestre y Huamán (2019), son los papeles que se utilizarán con el fin de recolectar la información que será necesaria para el proceso de hacer el estudio. Además del equipo necesario para realizar las pruebas estandarizadas, se utilizó como uno de los instrumentos las hojas de observación, que son formatos para las pruebas de laboratorio. Estas hojas de observación contendrán información técnica precisa que servirá para hacer comparaciones y emitir conclusiones respecto al tema de investigación. Otros instrumentos son los equipos necesarios para realizar las pruebas normalizadas. En la misma línea, las fichas de recuento de tráfico y las fichas de registro de deflectometría fueron los instrumentos que se utilizaron en este experimento.

### **3.7. Procesamiento de la información**

El procesamiento de los datos se realizó con el uso de tablas estadísticas, y su análisis se llevó a cabo de acuerdo con el Manual de Carreteras que fue sugerido por el MTC.

### **3.8. Técnicas y análisis de datos**

Las técnicas de análisis de datos son aquellas que permiten analizar, describir y organizar de manera significativa los datos producidos por los equipos de investigación. El proceso de organización de los datos requiere la generación de una matriz de tabulaciones según el estado de la recolección de datos. A continuación, se guardan a medida que se adquiere la información en los numerosos ensayos a lo largo de la investigación.

La primera etapa del proceso consistió en clasificar las tarjetas de recuento del tráfico recogidas inicialmente sobre el terreno y, a continuación, las tarjetas de registro de deflectometría obtenidas con la viga Benkelman. Para dar una respuesta adecuada al análisis realizado, también se utilizaron programas para mostrar los datos en forma de tablas y figuras. Para verificar los datos, se utilizó la estadística descriptiva, ya que es un instrumento muy útil que nos permitió medir con un mayor grado de precisión.



## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

En este capítulo se presentan los hallazgos más significativos de la investigación, los cuales demuestran que los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, ubicada en el distrito de Chilca - Huancayo, serían directos y significativos mediante la utilización de la viga Benkelman. Estos hallazgos generarán información que será útil para la implementación de mejoras en esta zona por parte del gobierno local, el gobierno regional, e incluso por entidades privadas que se preocupan por este tema. El objetivo principal de esta investigación fue conocer los resultados de una evaluación del comportamiento estructural por análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, ubicada en la región Chilca - Huancayo. Para ello, presentaremos las conclusiones extraídas de los datos recopilados de una manera objetiva y lógica, apoyados en un análisis estadístico de los datos pertinentes a la discusión. Se proporcionarán en forma de tablas y figuras, revisadas de acuerdo con las hipótesis que se han suministrado, y se mostrarán sus valores estimados. Tenga en cuenta que este capítulo sólo contiene las tablas más pertinentes e importantes que nos permitirán validar o invalidar cada una de las hipótesis propuestas.

## Caracterización del área de investigación

Región : Junín

Provincia : Huancayo

Distrito : Chilca



Figura 8. Ubicación geográfica de los distritos de la provincia de Huancayo



Figura 9: Ubicación de la provincia de Huancayo

#### **4.1. Descripción de resultados**

##### **Los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de las deflexiones medidas del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo**

La norma E 1002-2000 del MTC, titulada "Medición de la deflexión y determinación del radio de curvatura de un pavimento flexible utilizando la viga Benkelman", sirvió de base para la metodología utilizada en las pruebas que se realizaron a los efectos de esta investigación. Este método consistió en medir las deflexiones en la superficie del pavimento utilizando un deflectómetro conocido como viga Benkelman. Se trata de un instrumento que funciona según el principio de una palanca, uno de cuyos extremos se apoya sobre el pavimento deformado. Automáticamente, se determina si es necesario o no corregir las lecturas determinando, en función de la relación de brazos del equipo y de la viabilidad de la esfera para presentar la magnitud real de las mediciones, un solo eje trasero en un camión con dos neumáticos puede soportar pesos de prueba de hasta 18.000 libras, lo que equivale a 8,2 toneladas, lo que permite evaluar el vehículo con mayor precisión. Se recomienda comprobar la presión de los neumáticos cuando alcance las 80 libras por pulgada cuadrada (5,6 kilogramos por centímetro). Existe la posibilidad de que la carga que se utilizó en el experimento tenga, en algún momento en el futuro, una fluctuación de aproximadamente el 1%. En el lugar de la investigación, la prueba se realizó en un total de 64 puntos diferentes a lo largo del pavimento flexible de la avenida Jacinto Ibarra, en la colonia Chilca. La prueba comenzó en la intersección con la avenida Leoncio Prado y continuó hasta la intersección con la avenida Próceres.

La prueba se realizó en ambas direcciones al mismo tiempo. Al hacer los

cálculos que incluían la deflexión de la viga, se utilizó la viga Benkelman, que tiene una relación de brazo de 1:4. Además, se utilizó un camión con una capacidad de carga por eje de 8,2 toneladas. Entre los procesos que se llevaron a cabo, queremos llamar la atención sobre el hecho de que la rueda dual externa se colocó en el punto elegido, que estaba situado en el centro de ambos neumáticos. Moviéndolo suavemente el camión, se hizo coincidir la guía vertical con la línea transversal indicada en el paso número I, de forma que simultáneamente el punto entre ambos neumáticos de la rueda dual y coincidiendo aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto para toda esta operación una tolerancia en el rango para su correcta ubicación fue conveniente colocar una guía vertical en la parte exterior trasera del camión en correspondencia con el eje de carga. Para su correcta ubicación también era conveniente colocar una guía vertical en la parte delantera, para asegurar que la punta de prueba del brazo móvil (del primer brazo más largo, ya que éste es doble) coincide con el punto de prueba y que la viga no roza con los neumáticos de las ruedas dobles, la viga se colocó en el pavimento detrás del camión en dirección perpendicular al eje de la carga. Dado que este último procedimiento constituye un reto tanto por su inaccesibilidad visual como manual, se realizará previamente la siguiente operación: Se realizó una marca en la viga de forma que, a partir de este punto, bastará con hacerlas coincidir para garantizar que el extremo de la viga coincide con el centro de gravedad del vehículo. Esto se consiguió colocando la viga en la misma posición en la que se encontraba entre los neumáticos, pero en la parte exterior de los mismos, alineando el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad mediante el uso de una plomada.

Tras la instalación de la viga en el punto de medición, que la alineó con la guía vertical y el punto de partida, se comprobó que estaba alineada

longitudinalmente con la dirección en la que se movería el camión. Tras retirar los cierres del brazo o brazos móviles, se ajustó la base de la viga con el tornillo trasero para que el brazo o brazos móviles de medición pudieran entrar en contacto con el vástago del dial o diales. El dial se ajusta de forma que el vástago pueda moverse libremente entre una distancia de 4 y 6 milímetros (4 ó 6 vueltas). Compruebe la lectura golpeando suavemente con un lápiz y, a continuación, ponga en marcha el vibrador de haz una vez confirmada la lectura. El dial del extensómetro debe girarse hasta que la aguja esté en cero. Repita el proceso según sea necesario, incluso girando el dial, hasta alcanzar el punto correspondiente a cero (0).

Tras confirmar que la lectura no había variado, procedimos a iniciar la prueba para establecer si el pavimento mantenía o no su equilibrio mientras se cargaba. Cuando el valor inicial continuó fluctuando en no más de 0,01 mm/minuto, se determinó que la deformación inducida por la carga había alcanzado un estado estable. Después de poner a cero la lectura inicial, el camión avanzaba lentamente a una velocidad de un kilómetro por hora, y se tomaban lecturas cuando la varilla vertical coincidía con la primera, la segunda y otras marcas adicionales. Por último, se tomó una lectura final cuando el camión se había alejado lo suficiente del punto de prueba. Estos son los datos que se recogieron:

**Tabla 9. Deflexiones del carril (ida)**

Punto	Lado	Progr. (Km)	Deflexiones						Dmax
			D0	D25	D50	D75	D100	D250	
1	Der	0 + 000	72	64	52	40	12	0	72
2	Izq	0 + 025	76	68	52	40	20	0	76
3	Der	0 + 050	40	28	24	16	0	0	40
4	Izq	0 + 075	64	48	32	16	8	0	64
5	Der	0 + 100	68	60	48	28	16	0	68
6	Izq	0 + 125	56	48	28	16	8	0	56
7	Der	0 + 150	60	48	28	12	8	0	60
8	Izq	0 + 175	72	56	48	32	16	0	72
9	Der	0 + 200	88	60	40	28	20	0	68
10	Izq	0 + 225	56	48	36	20	8	0	56
11	Der	0 + 250	52	40	36	24	12	0	52
12	Izq	0 + 275	52	44	36	20	4	0	52
13	Der	0 + 300	56	40	32	20	4	0	56
14	Izq	0 + 325	92	76	60	36	12	0	92
15	Der	0 + 350	88	76	48	28	12	0	88
16	Izq	0 + 375	48	40	28	20	8	0	48
17	Der	0 + 400	52	44	36	24	8	0	52
18	Izq	0 + 425	60	52	40	20	4	0	60
19	Der	0 + 450	68	52	44	24	4	0	68
20	Izq	0 + 475	40	32	24	20	12	0	40
21	Der	0 + 500	48	36	28	20	8	0	48
22	Izq	0 + 525	104	72	56	32	16	0	104
23	Der	0 + 550	92	68	52	36	16	0	92
24	Izq	0 + 575	64	56	32	16	8	0	64
25	Der	0 + 600	60	44	36	28	16	0	60
26	Izq	0 + 625	76	60	44	24	12	0	76
27	Der	0 + 650	72	52	36	24	4	0	72
28	Izq	0 + 675	72	56	52	44	16	0	72
29	Der	0 + 700	68	48	28	20	8	0	68
30	Izq	0 + 725	20	12	8	4	4	0	20
31	Der	0 + 750	60	44	32	20	12	0	60
32	Izq	0 + 775	52	44	32	20	8	0	52

**Tabla 10.** *Deflexiones del carril (vuelta)*

Punto	Lado	Progr. (Km)	Deflexiones						Dmax
			D0	D25	D50	D75	D100	D250	
1	Der	0 + 000	32	28	24	16	8	0	32
2	Izq	0 + 025	48	40	32	24	8	0	48
3	Der	0 + 050	40	36	32	16	8	0	40
4	Izq	0 + 075	60	44	36	28	12	0	60
5	Der	0 + 100	60	52	40	20	8	0	60
6	Izq	0 + 125	48	32	24	16	8	0	48
7	Der	0 + 150	60	48	28	16	8	0	60
8	Izq	0 + 175	48	32	24	16	8	0	48
9	Der	0 + 200	52	44	32	16	4	0	52
10	Izq	0 + 225	32	24	24	20	12	0	32
11	Der	0 + 250	52	36	28	12	4	0	52
12	Izq	0 + 275	20	16	12	8	4	0	20
13	Der	0 + 300	44	36	24	16	4	0	44
14	Izq	0 + 325	32	28	20	16	12	0	32
15	Der	0 + 350	48	40	28	16	4	0	48
16	Izq	0 + 375	48	40	32	20	8	0	48
17	Der	0 + 400	52	40	36	24	8	0	52
18	Izq	0 + 425	32	24	24	16	8	0	32
19	Der	0 + 450	40	32	24	16	8	0	40
20	Izq	0 + 475	48	32	24	16	8	0	48
21	Der	0 + 500	52	40	32	12	4	0	52
22	Izq	0 + 525	36	28	28	24	12	0	36
23	Der	0 + 550	52	40	28	20	4	0	52
24	Izq	0 + 575	24	20	16	12	8	0	24
25	Der	0 + 600	48	40	28	16	8	0	48
26	Izq	0 + 625	48	36	28	20	8	0	48
27	Der	0 + 650	56	36	24	16	8	0	56
28	Izq	0 + 675	20	12	12	12	8	0	20
29	Der	0 + 700	56	40	32	20	8	0	56
30	Izq	0 + 725	40	32	24	16	8	0	40
31	Der	0 + 750	48	36	28	16	8	0	48
32	Izq	0 + 775	28	24	20	16	8	0	28

Luego de haber hecho el registro de las deflexiones en campo, se realizó el análisis estadístico respectivo para evaluar los tramos teniendo en consideración las deflexiones promedias y las deflexiones máximas en ambos carriles.

**Tabla 11.** *Análisis estadístico de deflexiones del carril (ida)*

		D0	D25	D50	D75	D100	D250
N	Válido	32	32	32	32	32	32
	Perdidos	0	0	0	0	0	0
Media		64,00	50,50	37,75	24,13	10,13	,00
Mediana		62,00	48,00	36,00	22,00	8,00	,00
Moda		52 <sup>a</sup>	44 <sup>a</sup>	36	20	8	0
Desv. Desviación		17,361	13,958	11,311	8,709	5,078	,000
Varianza		301,419	194,839	127,935	75,855	25,790	,000
Rango		84	64	52	40	20	0
Mínimo		20	12	8	4	0	0
Máximo		104	76	60	44	20	0

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

La Tabla 11 muestra los valores mínimos, máximos, promedios y las desviaciones estándar de las deflexiones realizadas en cada punto de ensayo. Es importante destacar que el promedio más alto fue D0=64.00.

**Tabla 12.** *Análisis estadístico de deflexiones del carril (vuelta).*

		D0	D25	D50	D75	D100	D250
N	Válido	32	32	32	32	32	32
	Perdidos	0	0	0	0	0	0
Media		43,87	34,00	26,50	17,12	7,62	,00
Mediana		48,00	36,00	28,00	16,00	8,00	,00
Moda		48,00	40,00	24,00	16,00	8,00	,00
Desv. Desviación		11,38	8,91	6,32	4,09	2,35	,00
Varianza		129,53	79,48	40,00	16,75	5,53	,00
Rango		40,00	40,00	28,00	20,00	8,00	,00
Mínimo		20,00	12,00	12,00	8,00	4,00	,00
Máximo		60,00	52,00	40,00	28,00	12,00	,00

Al igual que la tabla anterior, en la tabla 12 se muestra los valores mínimos, valores máximos, los promedios y las desviaciones estándar de cada punto de ensayo. El promedio con mayor valor fue D0=43.87



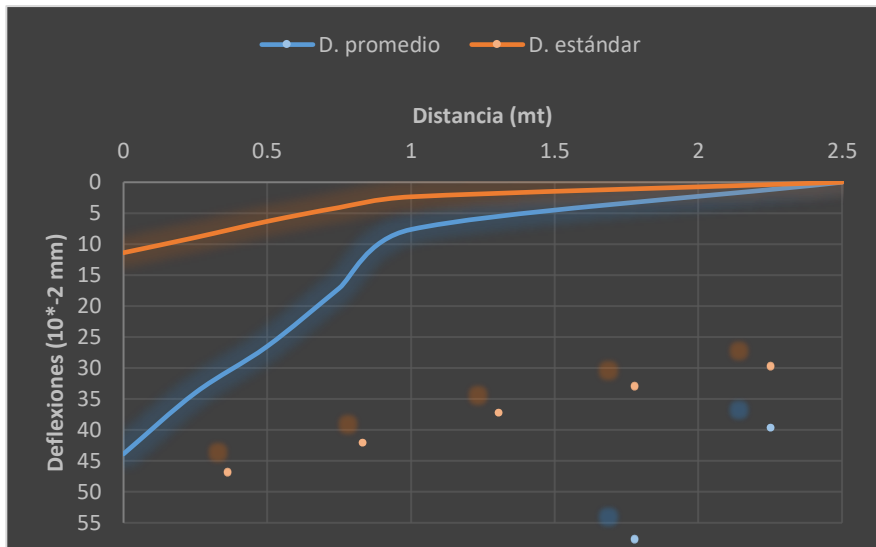


Figura 10. Cuenco de deflexiones del carril (vuelta).

En la Figura 10 se muestra el cuenco de deflexiones del carril (vuelta) en base a los promedios de las deflexiones a 0 cm., 25 cm., 50 cm., 75 cm., 100 cm., y 250 cm. Si bien la curva fue menos profunda que la del carril (ida), no evidencia un estado mejor, por lo que también se considera que la subrasante fue firme, pero la estructura débil.

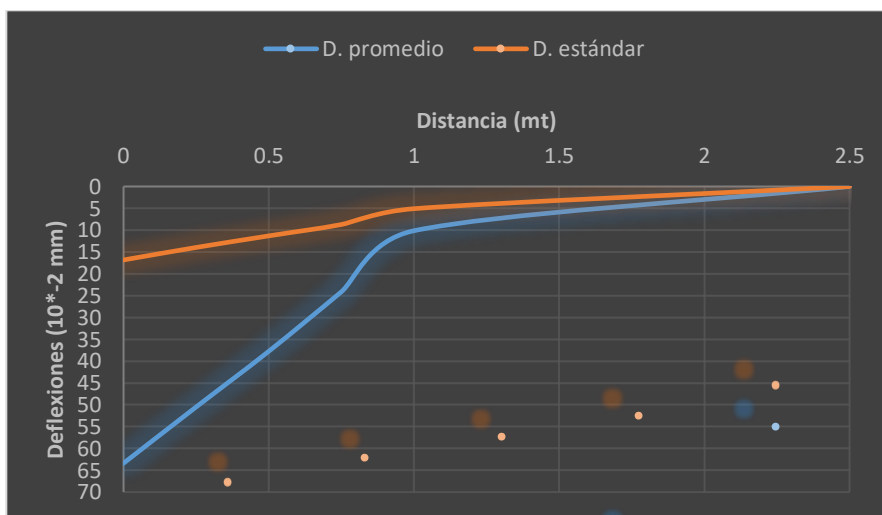


Figura 11. Cuenco de deflexiones del carril (ida).

En base a los promedios de las deflexiones a 0 cm., 25 cm., 50 cm., 75 cm., 100 cm., y 250 cm., obtenidos de la tabla anterior, se elaboró el cuenco de deflexiones del carril (ida) (ver

Figura 11) que evidencia que la curva fue extensa y profunda, con la cual se determinó que la subrasante fue firme, pero la estructura débil.

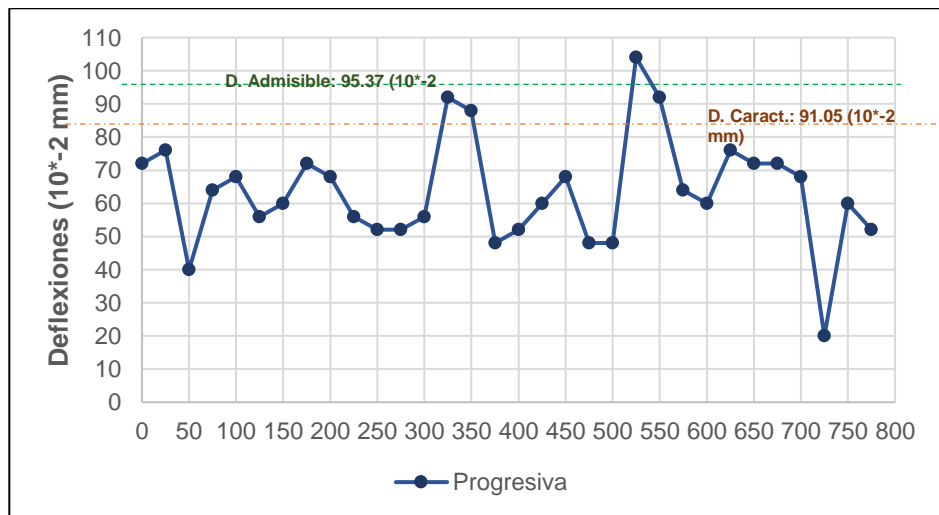


Figura 12. Deflectograma del carril (ida).

La Figura 12 muestra el deflectograma del carril (ida) teniendo en cuenta las deflexiones máximas que se obtuvieron. Los puntos de la imagen muestran que se registraron deflexiones desde 20 ( $10^{-2}$  mm) hasta 104 ( $10^{-2}$  mm), siendo los valores más altos los que evidencian menor capacidad estructural; es así que el punto de ensayo 22 registró un valor superior a la deflexión admisible ( $104.0 > 95.37$ ), con el cuál se evidenció su deficiencia. Si bien existen otros puntos cuyos valores están cerca de la deflexión admisible, con el valor de la deflexión característica (91.05), al ser menor que la deflexión admisible, se garantiza que el pavimento evaluado tiene un buen comportamiento.

## **Los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de los radios de curvatura del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo**

La línea elástica de deformación ofrece el mayor y más relevante grado de curvatura (curvatura máxima) que puede medirse en el análisis de la deformación. Esto es especialmente cierto por debajo del punto inicial de aplicación de la carga, donde se inició el proceso de deformación. La comprobación de que la línea de deformación se asemeja mucho a la forma de una parábola hasta una distancia ligeramente superior a 0,25 metros a ambos lados del eje de aplicación de la carga parece ser el método más fácil y expeditivo a tal efecto como comprobación experimental, según el análisis de los distintos procedimientos de determinación del grado máximo de curvatura de la deformación. Esto se debe a que es el método más sencillo para determinar el grado máximo de curvatura de la deformación.

Según el Manual de Ensayos de Materiales publicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, la fórmula que se puede utilizar para determinar el radio de curvatura es la siguiente:

$$Rc = \frac{10x25^2}{2x(D_0 - D_{25})}$$

Donde:

RC: Radio de curvatura.

D0: Deflexión recuperable en el eje vertical de carga, en centésimas de milímetro (mm.10<sup>-2</sup>).

D25: Deflexión recuperable a 25 centímetros del eje vertical de carga, en centésimas de milímetro (mm.10<sup>-2</sup>).

Comprender el significado de los radios de curvatura es muy importante porque, en función de sus valores asociados a los correspondientes valores de deflexión, se pueden extraer varias conclusiones sobre la calidad de las capas que constituyen el firme que se está analizando.

En consecuencia, es muy importante que se comprenda este significado. Sin embargo, no siempre es así, y la situación se aclara cuando la deflexión se evalúa junto con el radio de curvatura. En teoría, las grandes deflexiones podrían deberse simplemente a deficiencias en la calidad de las capas inferiores del pavimento, en particular la subrasante. Sin embargo, no siempre es así. De acuerdo a las pruebas realizadas se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 13.** *Radio de curvatura del carril (ida).*

Punto	Lado	Progr. (Km)	Radio
1	Der	0 + 000	390.63
2	Izq	0 + 025	390.63
3	Der	0 + 050	260.42
4	Izq	0 + 075	195.31
5	Der	0 + 100	390.63
6	Izq	0 + 125	390.63
7	Der	0 + 150	260.42
8	Izq	0 + 175	195.31
9	Der	0 + 200	390.63
10	Izq	0 + 225	390.63
11	Der	0 + 250	260.42
12	Izq	0 + 275	390.63
13	Der	0 + 300	195.31
14	Izq	0 + 325	195.31
15	Der	0 + 350	260.42
16	Izq	0 + 375	390.63
17	Der	0 + 400	390.63
18	Izq	0 + 425	390.63
19	Der	0 + 450	195.31
20	Izq	0 + 475	390.63
21	Der	0 + 500	260.42
22	Izq	0 + 525	97.66
23	Der	0 + 550	130.21
24	Izq	0 + 575	390.63
25	Der	0 + 600	195.31
26	Izq	0 + 625	195.31
27	Der	0 + 650	156.25
28	Izq	0 + 675	195.31
29	Der	0 + 700	156.25
30	Izq	0 + 725	390.63
31	Der	0 + 750	195.31
32	Izq	0 + 775	390.63

**Tabla 14.** *Radio de curvatura del carril (vuelta)*

Punto	Lado	Progr. (Km)	Radio
1	Der	0 + 000	781.25
2	Izq	0 + 025	390.63
3	Der	0 + 050	781.25
4	Izq	0 + 075	195.31
5	Der	0 + 100	390.63
6	Izq	0 + 125	195.31
7	Der	0 + 150	260.42
8	Izq	0 + 175	195.31
9	Der	0 + 200	390.63
10	Izq	0 + 225	390.63
11	Der	0 + 250	195.31
12	Izq	0 + 275	781.25
13	Der	0 + 300	390.63
14	Izq	0 + 325	781.25
15	Der	0 + 350	390.63
16	Izq	0 + 375	390.63
17	Der	0 + 400	260.42
18	Izq	0 + 425	390.63
19	Der	0 + 450	390.63
20	Izq	0 + 475	195.31
21	Der	0 + 500	260.42
22	Izq	0 + 525	390.63
23	Der	0 + 550	260.42
24	Izq	0 + 575	781.25
25	Der	0 + 600	390.63
26	Izq	0 + 625	260.42
27	Der	0 + 650	156.25
28	Izq	0 + 675	390.63
29	Der	0 + 700	195.31
30	Izq	0 + 725	390.63
31	Der	0 + 750	260.42
32	Izq	0 + 775	781.25

**Tabla 15.** Análisis estadístico de radio de curvatura del carril (ida)

Radio de curvatura		
N	Válido	32
	Perdidos	0
Media		283,4088
Mediana		260,4200
Moda		390,63
Desv. Desviación		102,19457
Varianza		10443,730
Rango		292,97
Mínimo		97,66
Máximo		390,63

Según la información mostrada en la Tabla 13, el valor más pequeño para el radio de curvatura fue de 97,66 metros, mientras que el valor más alto fue de 390,63 metros. El valor medio de todos los datos fue de 283,41 metros, y la desviación típica de 102,19 metros. Dado que la mayoría de los valores descritos fueron superiores al valor umbral de 100, es razonable suponer que el pavimento tuvo un comportamiento satisfactorio. Para aportar pruebas en apoyo de esta afirmación, se realizó un examen de todos los valores en el diagrama siguiente:

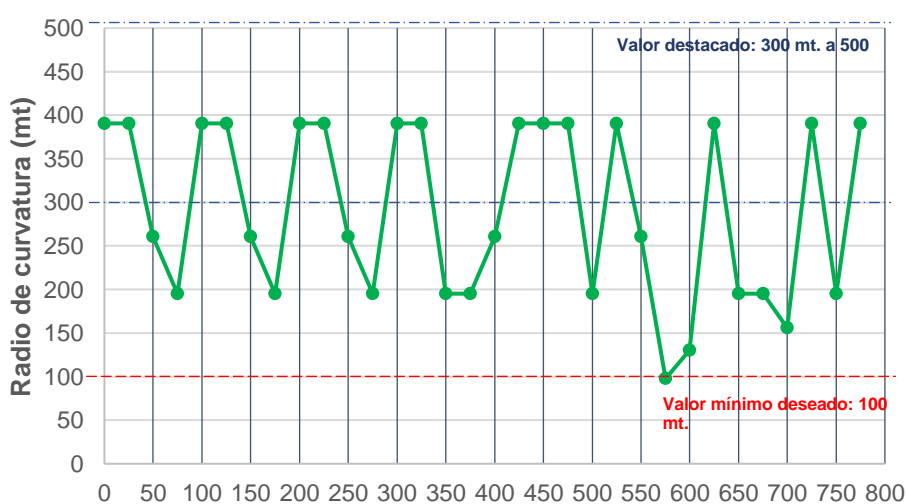


Figura 13. Diagrama del radio de curvatura del carril (ida).

Como puede observarse en la Figura 13, los valores del radio de curvatura oscilaron entre 97,66 mt. y 390,63 mt., presentando el punto 22 un nivel deficiente por estar por debajo del valor mínimo requerido (100 mt.); a pesar de ello, se valida que el desempeño del pavimento fue adecuado dado que los valores superaron el mínimo requerido, y muchos de ellos mostraron niveles sobresalientes entre 300 mt. y 500 mt.

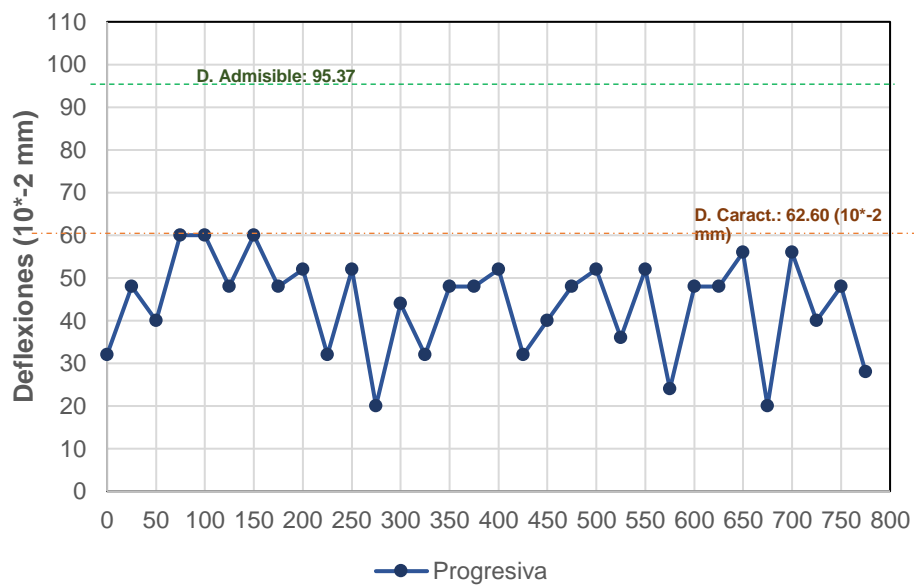


Figura 14. Deflectograma del carril (vuelta).

En el deflectograma del carril (vuelta), que se muestra en la Figura 14, es posible observar que los valores de las deflexiones máximas estuvieron entre 20 (10<sup>-2</sup>) y 60 (10<sup>-2</sup>) mm; a pesar de su recurrencia, no hay evidencias de deficiencias en la capacidad estructural porque este valor está a una distancia significativa de la deflexión admisible, que es de 95,37 (10<sup>-2</sup> mm). En general, considerando el hecho de que la deflexión característica (62,60) fue inferior a la deflexión permitida, se asegura que el pavimento examinado tiene un desempeño satisfactorio. Esto se debe a que la deflexión permitida se basa en la deflexión característica.



**Tabla 16.** Análisis estadístico de radio de curvatura del carril (vuelta)

Radio de curvatura		
N	Válido	32
	Perdidos	0
Media		395,5100
Mediana		390,6300
Moda		390,63
Desv. Desviación		204,80542
Varianza		41945,262
Rango		625,00
Mínimo		156,25
Máximo		781,25

En lo que respecta a los valores obtenidos de los radios de curvatura del carril (vuelta), la Tabla 16 muestra que el valor mínimo fue 156.25 mt., el valor máximo 781.25 mt., el promedio de todos los valores 395.51 mt., y la desviación estándar 204.81 mt. A diferencia de los resultados del carril (ida), en este caso todos los valores superaron el mínimo de 100 mt., por lo que se puede afirmar que el pavimento de dicho carril tuvo un comportamiento destacado. Lo descrito se corrobora con la siguiente figura.

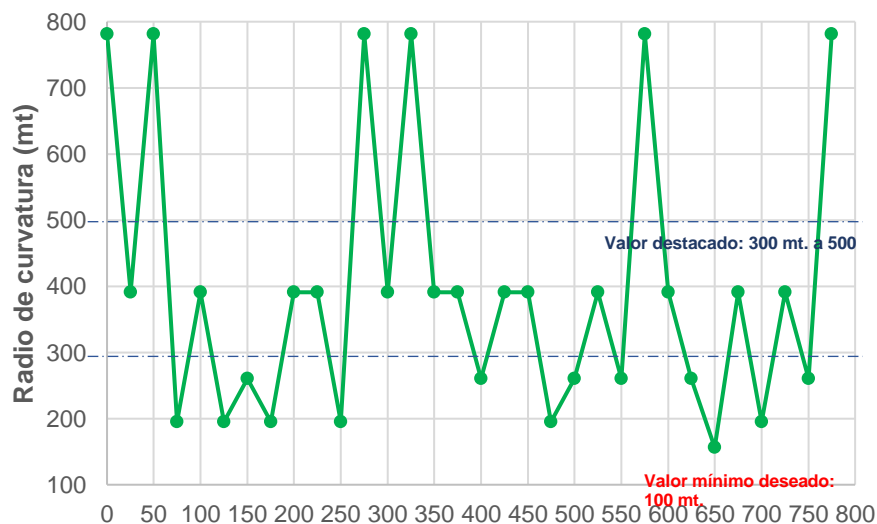


Figura 15. Diagrama del radio de curvatura del carril (vuelta).

Lo que se muestra en la Figura 15 es el diagrama del radio de curvatura. Según lo expuesto, los valores obtenidos estuvieron por encima de 100 mt., por lo que se denota que el comportamiento del pavimento fue el adecuado, más aun considerando que muchos de los valores superaron el valor de 500 mt. Por lo anterior, se considera que el comportamiento del carril (vuelta) fue óptimo; incluso, mejor que el del carril (ida).

## 4.2. Contratación de hipótesis

### 4.2.1. Hipótesis específica “a”

#### Formulación:

“Los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de las deflexiones medidas del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, serían significativos a través del uso de la viga Benkelman, en el año 2022”

#### Resultados:

Considerando que el tramo evaluado corresponde al tipo de carretera de primera clase, dado que el Índice Medio Diario Anual (IMDA) está entre 4000 y 2001 vehículos por día, se empleó la siguiente fórmula para hallar la deflexión característica:

$$D_c = D_m + 1.645 \cdot d_s$$

**Tabla 17.** Deflexión característica de ambos carriles.

Deflexiones características	Carril	
	(Ida)	(Vuelta)
Deflexión media (Dm)	63.38 (10 <sup>-2</sup> mm)	43.88 (10 <sup>-2</sup> mm)
Desviación estándar (ds)	16.82 (10 <sup>-2</sup> mm)	11.38 (10 <sup>-2</sup> mm)

**Deflexión característica (Dc) 91.05 (10<sup>-2</sup> mm) 62.60 (10<sup>-2</sup> mm)**

Nota: Obtenido en el procesamiento estadístico.

De igual manera, para calcular la deflexión admisible se empleó la siguiente fórmula:

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

**Tabla 18.** *Deflexión admisible de ambos carriles*

Deflexión admisible	Carril	
	(Ida)	(Vuelta)
Repeticiones de ejes equivalentes	1.39 millones EE	1.39 millones EE
<b>Deflexión admisible en mm</b>	<b>95.37 (10<sup>-2</sup> mm)</b>	<b>95.37 (10<sup>-2</sup> mm)</b>

Nota: Obtenido en el procesamiento estadístico.

**Análisis:**

La deflexión característica del carril (ida) es igual a 91.05 (10<sup>-2</sup> mm), y del carril (vuelta) a 62.60 (10<sup>-2</sup> mm); por otro lado, la deflexión admisible en ambos carriles fue 95.37 (10<sup>-2</sup> mm). Considerando que la deflexión característica no debe superar la deflexión admisible, se valida que el estado del pavimento es adecuado.

**4.2.2. Hipótesis específica “b”**

**Formulación:**

“Los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de los radios de curvatura del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, serían significativos a través del uso de la viga Benkelman, en el año 2022”

**Resultados:**

**Tabla 19.** Radio de curvatura de ambos carriles

Radio de curvatura	Carril	
	(Ida)	(Vuelta)
Promedio	283.41 mt.	395.51 mt.

Nota: Obtenido en el procesamiento estadístico.

**Análisis:**

Para que el comportamiento del pavimento sea considerado satisfactorio debe cumplir con dos criterios: i) los valores de radio de curvatura deben superar los 100 mt.; ii) el radio de curvatura debe estar entre 300 mt y 500 mt. Dado que los radios de ambos carriles cumplen con ambos criterios de valida que el comportamiento del pavimento es satisfactorio.

**4.2.3. Hipótesis principal**

**Formulación:**

“Los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, serían significativos a través del uso de la viga Benkelman, en el año 2022”

**Resultados:**

**Tabla 20.** Resumen de los resultados del análisis de deflexiones y radio de curvatura.

Análisis	Resultados	
	Carril (Ida)	Carril (Vuelta)
Deflexiones	Conforme	Conforme
Radio de curvatura	Satisfactorio	Satisfactorio

**Análisis:**

La Tabla 20 muestra que luego haberse analizado las deflexiones características y admisibles de ambos carriles se estableció conformidad

con el estado del pavimento; de igual manera, luego de haber analizado el radio de curvatura, se determinó que el estado del pavimento, en ambos carriles, fue satisfactorio.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Con el análisis de los resultados se determinó, de manera general, que el pavimento flexible analizado de la Av. Jacinto Ibarra presenta un comportamiento estructural adecuado en base al análisis de deflexiones y del radio de curvatura.

Respecto a los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de las deflexiones medidas del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, en base a los promedios de las deflexiones a 0 cm., 25 cm., 50 cm., 75 cm., 100 cm., y 250 cm., se elaboró el cuenco de deflexiones del carril (ida) donde se evidenció que la curva fue extensa y pronunciada, por lo tanto, se determinó que la subrasante fue firme. Asimismo, se tiene el cuenco de deflexiones del carril (vuelta) en base a los promedios de las deflexiones a 0 cm., 25 cm., 50 cm., 75 cm., 100 cm., y 250 cm; donde se evidenció que la curva fue extensa y poco pronunciada que la del carril (ida), de modo que demuestra un mejor estado, por lo que también se considera que la subrasante fue firme. De acuerdo a los resultados de Santa Cruz (2019), se muestran las diferencias entre el carril derecho frente al izquierdo. Como se observa, el carril derecho tiene valores más altos de deflexión, superiores al izquierdo hasta en 16 1/100mm. Esto podría explicarse por una mala compactación o debido al tipo de suelo. Para el desarrollo de las deflexiones se elaboraron deflectogramas a partir de las lecturas

máximas, en las que se aprecia que las deflexiones son discontinuas en varios puntos, también se muestran las diferencias entre el carril derecho frente al izquierdo. Como se observa, el carril derecho tiene valores más altos de deflexión, superiores al izquierdo hasta en 18 1/100mm. Esto podría explicarse por una mala compactación o debido al tipo de suelo, así también el carril derecho tiene valores más altos de deflexión, superiores al izquierdo hasta en 16 1/100mm. Esto podría explicarse por una mala compactación o debido al tipo de suelo. En cuanto a los resultados de Quito (2019), se tiene que la carretera en estudio en función a sus deflexiones, el 42% presenta un mal comportamiento, mientras que el 58% de muestra presenta un buen comportamiento estructural. La condición de mal comportamiento de la subrasante indica que las deflexiones máximas superan respecto a la deflexión admisible, mientras que el porcentaje que nos indica un buen comportamiento estructural es cuando las deflexiones máximas son menores o pequeñas respecto a la admisible. Las causas asociadas a este mal comportamiento de la subrasante, vendrían a ser un mal proceso constructivo en la compactación de la subrasante, un mal drenaje que saturó al suelo de la subrasante, etc.

Respecto a los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de los radios de curvatura del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, se tiene que el valor más pequeño para el radio de curvatura fue de 97,66 metros, mientras que el valor más alto fue de 390,63 metros. El valor medio de todos los datos fue de 283,41 metros, y la desviación típica de 102,19 metros. Dado que la mayoría de los valores descritos fueron superiores al valor umbral de 100 metros, es razonable deducir que el pavimento tiene un comportamiento satisfactorio.

Respecto a los resultados de Quito (2019), el 38% presenta un mal comportamiento, mientras que el 62% de muestra presenta un buen comportamiento estructural del pavimento. La condición de buen comportamiento del pavimento indica que el radio de curvatura de las muestras supera al mínimo establecido por el método CONREVIAl, en tanto que la condición de mal comportamiento estructural indica que los radios de curvaturas de estas muestras son menores al radio mínimo establecido (100 m). Las causas asociadas a este comportamiento del pavimento, vendrían a ser un mal diseño de las terracerías (carpeta de rodadura, base, subbase), el aumento del tráfico para el que fue diseñado, o las fallas ocasionadas por los agentes climatológicos.



## CONCLUSIONES

1. Luego de determinar que el valor de la flecha característica encontrada es menor que el valor de la flecha admisible, se concluye que la subrasante del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra se encuentra óptimas condiciones.
2. Tras determinar que el radio de curvatura hallado superaba el nivel mínimo exigido y se encontraba dentro de los márgenes deseados, se concluye que el pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra se encuentra en buenas condiciones.
3. Después de determinar en los análisis deflectométricos que la deflexión característica en ambos carriles (91,05 y 62,60 mm) no excede la deflexión admisible (95,37 mm), y después de determinar que los radios de curvatura identificados (283,41 mt. y 395,51 mt.) fueron satisfactorios al exceder los 100 mt. y estar dentro del rango de 300 mt. a 500 mt., se puede concluir que el pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra tiene un buen comportamiento estructural.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los futuros investigadores, que realicen estudios utilizando la viga Benkelman con el personal adecuado, y que el deflectómetro disponga de un certificado de calibración para evitar que se alteren los datos obtenidos y garantizar que las mediciones sean reales, esto permitirá tomar las decisiones adecuadas en el futuro.
2. Es importante que los funcionarios de la Municipalidad Distrital de Chilca realicen un monitoreo continuo a las calles de su distrito; a fin de conocer el estado en que se encuentran, de este modo tomar las medidas pertinentes respecto a su mantenimiento y/o rehabilitación.
3. Se sugiere a los responsables de la Municipalidad Distrital de Chilca, así como a futuros investigadores, tomar todas las precauciones de seguridad requeridas en la toma de muestras, a fin de evitar cualquier percance que pudiera ocurrir.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, F. y VARGAS, N. Diagnóstico de las condiciones superficiales y evaluación del comportamiento estructural del pavimento de las vías construidas por el Instituto de Desarrollo Urbano con asfalto modificado con caucho reciclado de llanta (GCR), en las localidades de Fontibón, Bosa y Teusaquillo, en la ciudad de Bogotá. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2014. 74 pp. [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2022]. Disponible en:

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/12009/VargasJimenezNelsonEduardo2014.pdf;jsessionid=C63DB51FFD4F8D5B382A72C95CB175D8?sequence=1>

ARANGURI, J. y VALVERDE, H. Análisis comparativo del comportamiento estructural de mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas emulsionadas en los pavimentos. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, 2018. 137 pp. [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4185>

BONILLA, V., CARRIÓN, F., GASCA, H., HERNANDEZ, A., HERNANDEZ, J., MARTÍNEZ, L., MONTES, M. y QUINTANA, J. Análisis del comportamiento estructural de un pavimento de concreto estructuralmente reforzado continuo (PCERC), 2017. [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt509.pdf>

CARRASCO, S. y VIZHÑAY, C. Evaluación estructural vial para Azogues mediante el análisis de deflexiones aplicando la viga Benkelman. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Cuenca: Universidad de Cuenca, 2019. 160 pp. [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2022]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33520>

CASTAÑEDA, Y. y SALAMANCA, C. Análisis del comportamiento de una estructura de pavimento flexible en una vía de tráfico pesado, caso particular vía urbana en la ciudad de Bogotá Barrio Santa Catalina. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Huancayo: Universidad La Gran Colombia, 2016. 128 pp. [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2022]. Disponible en: [https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5339/Comportamiento\\_pavimento\\_tráfico\\_pesado.pdf?sequence=1](https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5339/Comportamiento_pavimento_tráfico_pesado.pdf?sequence=1)

COAQUIRA, O. Comportamiento estructural de los pavimentos segmentados empleados en la ciudad de Juliaca-2017. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Juliaca: Universidad Alas Peruanas, 2017. 154 pp. [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/3097>

CONDORI, K. Determinación de espesores en pavimento flexible para mejoramiento de carreteras usando deflectómetro de impacto (FWD) y ASSTHO 93, Combapata-Sicuani 2021. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad César Vallejo, 2021. 153 pp. [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/71606>

CONREVIAl. (1983). Estudio de rehabilitación de carreteras en el país. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

COTRADO, L. Evaluación del pavimento flexible de las rutas PE – 28H y PE – 28I del departamento de Ayacucho, mediante análisis deflectométrico con Viga Benkelman. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad César Vallejo, 2021. 98 pp. [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/87263>

DE LA CRUZ, I. Evaluación de la condición estructural del pavimento flexible mediante análisis deflectométrico para establecer acciones correctivas Puente Stuart – Ovalo Aeropuerto Jauja. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Huancayo: Universidad Peruana Los Andes, 2021. 174 pp. [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/3102>

FERNANDEZ, M. Determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera Cajamarca-Celendín-Balsas, tramo Chaquilpampa-Santa Rosa de Chaquil, mediante el análisis deflectométrico. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2020. 171 pp. [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3733>

HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R. y MENDOZA, C. Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, 2018. México: Editorial

Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.

HERENCIA, A. Análisis del comportamiento estructural entre un pavimento flexible y un pavimento rígido para la Av. Ernesto M. Borda A. ubicado entre la Av. Circunvalación lado este y la Av. Tintaya de la ciudad de Juliaca. Tesis (Magister en Ingeniería Civil). Juliaca: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, 2020. 179 pp. [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/5278>

HIGUERA, C. Comportamiento estructural de un pavimento flexible, esfuerzos-deformaciones y deflexiones. Tesis (Magister en Ingeniería de Vías Terrestres). Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2015. 8 pp. [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2022]. Disponible en: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/857>

HOFFMAN, M. Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones ensayos no destructivos). Israel: Instituto Tecnológico de Israel. 1985.

JAÑA, C. Implementación de la guía de diseño mecanístico - empírico AASHTO 2008 en la región Piura. Piura: Universidad de Piura, 2016.

LÓPEZ, J. El diseño de pavimentos flexibles, su comportamiento estructural, e incidencia en el deterioro temprano de la red vial en la provincia de Tungurahua. Tesis

(Magister en Vías Terrestres). Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2016.  
39 pp. [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2022]. Disponible en:  
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/22518>

MONTEJO, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

OLIVERA, T. Comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera Abancay-Cusco, sobre las subrasantes heterogéneas, Apurímac, 2020. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad César Vallejo, 2020. 107 pp. [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65000>

QUITO, I. (2019). Análisis deflectométrico del pavimento flexible de la carretera Cajamarca-Jesús, tramo Dv. a llacanora (plaza pecuaria Iscoconga)-La Huaracilla. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2019, 153 pp.

R.D. N° 10-2014-MTC/14. (2014). *Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

R.D.N°22-MTC. (2013). *Manual de carreteras (Especificaciones técnicas generales para construcción)*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

SÁNCHEZ, F. Guía de tesis y proyectos de investigación. Centrum Legalis, 2019. Arequipa, Perú.

SANTA CRUZ, C. Evaluación del dimensionamiento del espesor de la subrasante mejorada mediante la aplicación de correlación deflectométrica en la vía Auxiliar de la Panamericana Sur, tramo Av. Mateo Pumacahua – Conchán Km 05+200 al Km 9+200. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Peruana Unión, 2019. 253 pp.

SILVESTRE, I. y HUAMÁN, C. Pasos para elaborar la investigación y la redacción de la tesis universitaria. Editorial San Marcos, 2019. Lima, Perú.

VELOZ, M. Evaluación y diseño de pavimentos por el método no destructivo – Georadar (GPR) y deflectómetro de la antigua vía a Conocoto. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Quito: Universidad Central del Ecuador, 2014. 232 pp. [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2930>



## **ANEXOS**

**Anexo N° 01: matriz de consistencia**

**Matriz de consistencia**

<b>Tesis: “Evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, Chilca - Huancayo”</b>						
<b>Problema</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Metodología</b>
<p><b>Problema general:</b> ¿Cuáles serían los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, en el año 2022?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Determinar cuáles serían los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, en el año 2022.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> Los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo serían significativos a través del uso de la viga Benkelman, en el año 2022.</p>	<p><b>Variable independiente (X):</b> Comportamiento estructural</p>	<p>- Deflexiones.</p> <p>- Radio de curvatura.</p>	<p>- Deflexiones parciales. - Deflexiones - relación brazo de viga Benkelman. - Deflexión máxima (Dm).</p> <p>- Curvatura del pavimento.</p>	<p><b>Método de investigación:</b> Científico.</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada.</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Explicativo.</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> No experimental.</p>
<p><b>Problemas específicos:</b> ¿Cuáles serían los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de las deflexiones medidas del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, en el año 2022?</p>	<p><b>Objetivos específicos:</b> Analizar cuáles serían los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de las deflexiones medidas del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, en el año 2022.</p>	<p><b>Hipótesis específicas:</b> Los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de las deflexiones medidas del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, serían significativos a través del uso de la viga Benkelman, en el año 2022.</p>	<p><b>Variable dependiente (Y):</b> Análisis deflectométrico.</p>	<p>- Características del camión.</p> <p>- Pavimentos flexibles.</p>	<p>- Carga del eje del camión. - Presión de neumáticos.</p> <p>- Temperatura del pavimento.</p>	<p><b>Población:</b> Sistema de pavimentos flexibles del distrito de Chilca de la provincia de Huancayo.</p> <p><b>Muestra:</b> El pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra (Tramo Av. Leoncio Prado - Av. Próceres) del distrito de Chilca de la provincia de Huancayo.</p>
<p>¿Cuáles serían los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de los radios de curvatura del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, en el año 2022?</p>	<p>Analizar cuáles serían los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de los radios de curvatura del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, en el año 2022.</p>	<p>Los resultados de la evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis de los radios de curvatura del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca – Huancayo, serían significativos a través del uso</p>				

---

de la viga Benkelman, en el  
año 2022.

---

**Anexo N° 02: instrumentos de investigación**





**Anexo N° 03: resultados del estudio de tráfico**



## **ESTUDIO DE TRÁFICO**

El estudio de tráfico es una parte esencial para la evaluación estructural del pavimento flexible, tiene por objetivo determinar el número de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 Tn., esto a partir del cálculo del Índice Medio Diario (IMD), el cual será definido en base al conteo de vehículos que usualmente transitan en la vía en estudio.

El estudio de tráfico tuvo como estación de control vehicular en la Av. Jacinto Ibarra y Jr. 2 de Mayo, donde se desarrolló el conteo vehicular durante las 24 horas, desde el día lunes (02 de mayo) hasta el domingo (08 de mayo) del 2022.

### **1. OBJETIVOS:**

#### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

- Calcular el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (Nrep EE 8.2 Tn.) identificado en la Av. Jacinto Ibarra (Tramo Av. Leoncio Prado - Av. Próceres).

#### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar el conteo de tráfico vehicular en la estación preestablecida.
- Determinar el IMDA conforme a la base de los resultados del conteo de tráfico vehicular y el factor de corrección estacional.
- Calcular los Ejes Equivalentes (día - carril) de acuerdo a los factores de distribución direccional, carril, vehículos pesados y presión.

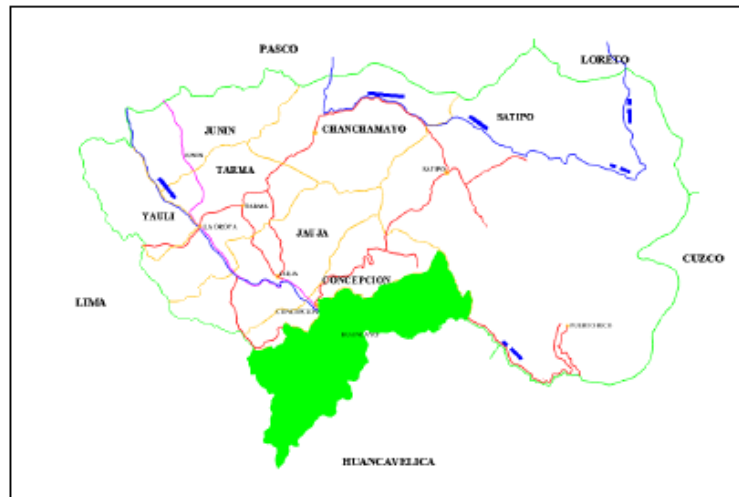
### **2. LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN:**

Departamento	:	Junín
Provincia	:	Huancayo
Distrito	:	Chilca
Tramo	:	Av. Jacinto Ibarra (Av. Leoncio Prado - Av. Próceres)
Estación de conteo	:	Av. Jacinto Ibarra y Jr. 2 de Mayo

### Localización nacional



### Localización regional



### Localización distrital



### Ubicación de la Av. Jacinto Ibarra (Tramo Av. Leoncio Prado - Av. Próceres).



### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. PLANEAMIENTO**

Para la realización del estudio y de acuerdo a lo establecido, se efectuaron coordinaciones e inspecciones de campo, con la finalidad de determinar el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (Nrep EE 8.2 Tn.); señalado en un periodo de 24 horas, desde el día lunes (02 de mayo) hasta el domingo (08 de mayo) del 2022. El conteo se efectuó en forma simultánea y continua.

#### **3.2. RECONOCIMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE LA ESTACIÓN DE CONTEO**

Con el propósito de identificar y precisar (in-situ) la estación de conteo, se realizó el reconocimiento en la Av. Jacinto Ibarra (Tramo Av. Leoncio Prado - Av. Próceres).

#### **3.3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

Se tuvo como estación de control vehicular en la Av. Jacinto Ibarra y Jr. 2 de Mayo.

El conteo para la clasificación vehicular fue realizado durante las 24 horas, desde el día lunes (02 de mayo) hasta el domingo (08 de mayo) del 2022.

#### **3.4. TABULACIÓN DE INFORMACIÓN**

Se obtuvo los datos de campo con el reconocimiento de la estación de conteo y control vehicular mediante las fichas de conteo de tráfico que sirven para contabilizar la cantidad de vehículos según su clasificación.

#### **3.5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS**

Con los datos obtenidos en campo se realizó el procesamiento y análisis mediante formatos en hojas Excel, cuadros estadísticos y comparativos.

### 3.6. FÓRMULAS PARA EL ESTUDIO DE TRÁFICO

#### CÁLCULO DEL IMD

$$\text{IMD} = \frac{\text{VDL1} + \text{VDL2} + \text{VDL3} + \text{VDL4} + \text{VDL5} + \text{VDL6} + \text{VDL7}}{7}$$

Donde:

IMD : Índice Máximo Diario

VDLx : Volumen de tráfico registrados en los días de conteo

#### CÁLCULO DEL IMDA

$$\text{IMDA} = \text{IMD} * \text{FCE}$$

Donde:

IMDA : Índice Máximo Diario Anual

FCE : Factor de Corrección Estacional

#### CÁLCULO DE EE (día - carril)

$$\text{EE (día - carril)} = \text{IMDA} * \text{Fd} * \text{Fc} * \text{Fvp} * \text{Fp}$$

Donde:

EE (día - carril) : Ejes Equivalentes (día - carril)

Fd : Factor dirección

Fc : Factor carril

Fvp : Factor de vehículos pesados

Fp : Factor de presión

#### FACTOR DE CRECIMIENTO ACUMULADO

$$\text{Fca} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Donde:

r : Tasa anual de crecimiento

n : Periodo de diseño

### CÁLCULO DEL NÚMERO DE REPETICIONES EE 8.2 Tn

$$\text{Nrep de EE} = \text{EE (día-carril)} * \text{Fca} * 365$$

Dónde:

Nrep de EE 8.2 Tn : Número de repeticiones de Ejes Equivalentes a 8.2 Tn

EE (día - carril) : Ejes Equivalentes (día - carril)

Fca : Factor de crecimiento acumulado

#### 4. CONTEO Y CLASIFICACIÓN



El conteo para la clasificación vehicular se realizó en un periodo de 24 horas, desde el día lunes (02 de mayo) hasta el domingo (08 de mayo) del 2022, se clasificó los Tipos de Vehículos por hora y por sentido de tráfico que se desarrolla en la zona, el conteo se efectuó de forma continua y simultánea.

**TABLA N° 01 VEHÍCULOS LIGEROS**

VEHÍCULOS LIGEROS				
AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS		
		PICK UP	PANEL	RURAL COMBI
				
				

Fuente: Elaboración Propia

**TABLA N° 02 CAMIONES**

CAMIONES		
C2	C3	C4
		

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 03 BUSES

BUSES		
B2	B3 - 1	B4 - 1

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 04 SEMI TRAYLER

SEMI TRAYLER			
T2S3	T3Se3	T3S3	T3Se2

Fuente: Elaboración Propia

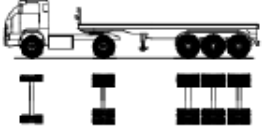
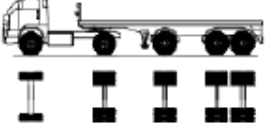
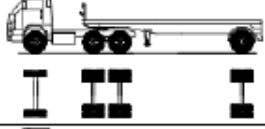
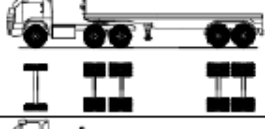
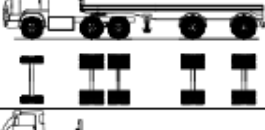
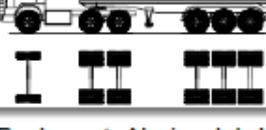
Asimismo, se mostrarán las tablas con los pesos y medidas máximas permitidas de los vehículos pesados.

**ANEXO IV : PESOS Y MEDIDAS**

**1. PESOS Y MEDIDAS MÁXIMAS PERMITIDAS**

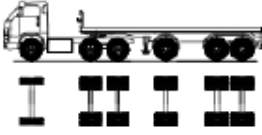

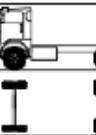
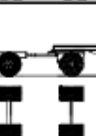


Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Largo Máx. (m)	Eje Delant.	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)
				Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°	4°	
C2		12,30	7	11	---	---	---	18
C3		13,20	7	18	---	---	---	25
C4		13,20	7	23 <sup>(1)</sup>	---	---	---	30
R4		13,20	7+7 <sup>(2)</sup>	18	---	---	---	32
T2S1		20,50	7	11	11	---	---	29
T2S2		20,50	7	11	18	---	---	36
T2Se2		20,50	7	11	11	11	---	40

Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos, D.S.N°058-2003-MTC

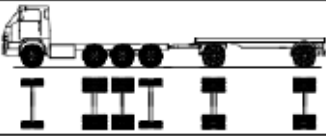
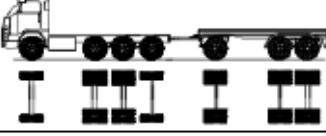
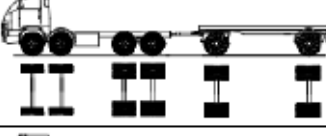
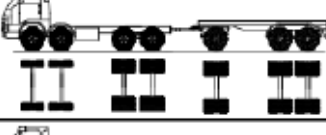
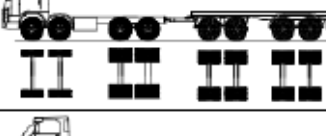
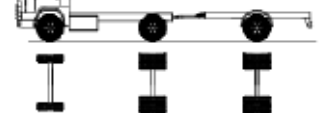
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. ( m )	Eje Delant	Peso máximo ( t )				Peso bruto máx. ( t )
				Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°	4°	
T2S3		20,50	7	11	25	---	---	43
T2Se3		20,50	7	11	11 <sup>(1)</sup>	18	---	47
T3S1		20,50	7	18	11	---	---	36
T3S2		20,50	7	18	18	---	---	43
T3Se2		20,50	7	18	11	11	---	47
T3S3		20,50	7	18	25	---	---	48 <sup>(2)</sup>

Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos, D.S.N°058-2003-MTC

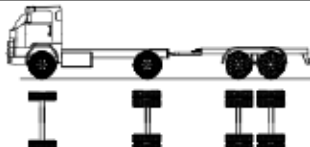
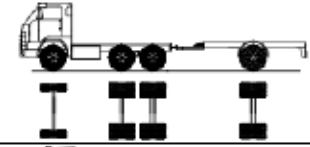
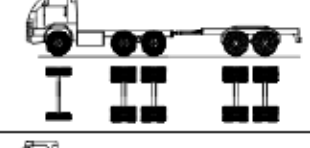
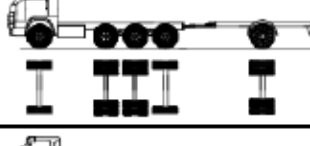
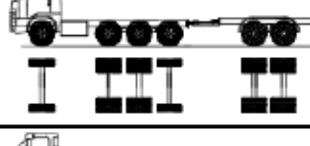



Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Eje Delant.	Peso máximo (t.)				Peso bruto máx. (t.)
				Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
T3Se3		20,50	7	18	11 <sup>(1)</sup>	18	---	48 <sup>(2)</sup>
C2R2		23,00	7	11	11	11	---	40
C2R3		23,00	7	11	11	18	---	47
C3R2		23,00	7	18	11	11	---	47
C3R3		23,00	7	18	11	18	---	48 <sup>(2)</sup>
C3R4		23,00	7	18	18	18	---	48 <sup>(2)</sup>

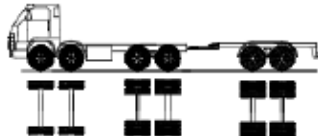
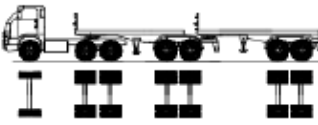
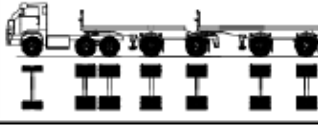
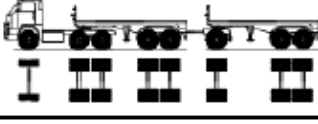
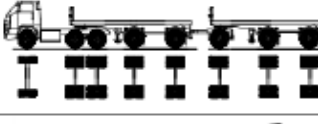
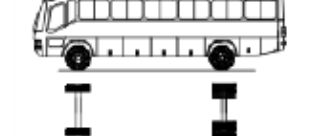
Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos, D.S.N°058-2003-MTC

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. ( m )	Eje Delant	Peso máximo ( t )				Peso bruto máx. ( t )
				Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
C4R2		23,00	7	23 <sup>(1)</sup>	11	11	—	48 <sup>(2)</sup>
C4R3		23,00	7	23 <sup>(1)</sup>	11	18	—	48 <sup>(2)</sup>
8x4R2		23,00	7+7 <sup>(3)</sup>	18	11	11	—	48 <sup>(2)</sup>
8x4R3		23,00	7+7 <sup>(3)</sup>	18	11	18	—	48 <sup>(2)</sup>
8x4R4		23,00	7+7 <sup>(3)</sup>	18	18	18	—	48 <sup>(2)</sup>
C2R61		20,50	7	11	11	—	—	29

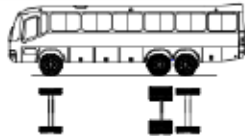
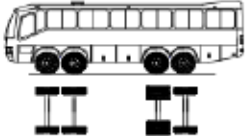
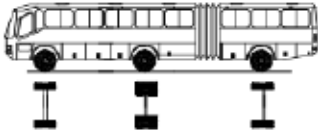
Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos, D.S.N°058-2003-MTC

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Max. ( m )	Eje Delant.	Peso máximo ( t )				Peso bruto máx. ( t )
				Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
C2RB2		20,50	7	11	18	---	---	36
C3RB1		20,50	7	18	11	---	---	36
C3RB2		20,50	7	18	18	---	---	43
C4RB1		20,50	7	23 <sup>(1)</sup>	11	---	---	41
C4RB2		20,50	7	23 <sup>(1)</sup>	18	---	---	48
8x4 RB1		20,50	7+7 <sup>(2)</sup>	18	11	---	---	43

Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos, D.S.N°058-2003-MTC

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. ( m )	Eje Delant	Peso máximo ( t )				Peso bruto máx. ( t )
				Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
8x4 RB2		20,50	7+7 <sup>(2)</sup>	18	18	---	---	48 <sup>(2)</sup>
T3S2 S2		23,00	7	18	18	18	---	48 <sup>(2)</sup>
T3Se2 Se2		23,00	7	18	11 + 11 <sup>(2)</sup>	11 + 11 <sup>(2)</sup>	---	48 <sup>(2)</sup>
T3S2 S1S2		23,00	7	18	18	11	18	48 <sup>(2)</sup>
T3Se2 S1Se2		23,00	7	18	11 + 11 <sup>(2)</sup>	11	11 + 11 <sup>(2)</sup>	48 <sup>(2)</sup>
B2		13,20	7	11	---	---	---	18

Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos, D.S.N°058-2003-MTC

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Max. (m)	Eje Delant	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)
				Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
B3-1		14,00	7	16	—	—	—	23
B4-1		15,00	7+7 <sup>20</sup>	16	—	—	—	30
B4-1		18,30	7	11	7	—	—	25

Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos, D.S.N°058-2003-MTC

#### 4.1. RESULTADOS DIRECTOS DEL CONTEO (IDA)

Se realizó la consolidación de la información por día y según el tipo de vehículo obtenida del conteo de tráfico en la Av. Jacinto Ibarra (Tramo Av. Leoncio Prado - Av. Próceres).

Los datos consolidados se pueden observar en el siguiente cuadro:

DIA	VEHICULOS LIGEROS	VEHICULOS PESADOS					
		C2	C3	C4	EX4	T353	B2
LUNES (02/05/2022)	3825	61	16	7	4	4	12
MARTES (03/05/2022)	3964	56	14	6	6	8	13
MIERCOLES (04/05/2022)	3946	46	11	8	2	6	9
JUEVES (05/05/2022)	3957	56	14	4	2	7	10
VIERNES (06/05/2022)	3475	52	13	3	3	4	11
SABADO (07/05/2022)	3927	31	10	4	2	6	6
DOMINGO (08/05/2022)	3264	20	9	3	2	3	3

Fuente: Elaboración Propia

#### CÁLCULO DEL IMD

CÁLCULO DEL INDICE MEDIO DIARIO (IMD)								
ESTACIÓN:	AV. JACINTO IBARRA Y JR. DOG DE MAYO (IDA)							
DISTRITO:	OILCA							
PROVINCIA:	HUANCAYO							
DEPARTAMENTO:	JUNIN							
DIA	VEHICULOS LIGEROS	VEHICULOS PESADOS						TOTAL (Veh/día)
		C2	C3	C4	EX4	T353	B2	
LUNES (02/05/2022)	3825	61	16	7	4	4	12	3829
MARTES (03/05/2022)	3964	56	14	6	6	8	13	4007
MIERCOLES (04/05/2022)	3946	46	11	8	2	6	9	4020
JUEVES (05/05/2022)	3957	56	14	4	2	7	10	4050
VIERNES (06/05/2022)	3475	52	13	3	3	4	11	3591
SABADO (07/05/2022)	3927	31	10	4	2	6	6	3938
DOMINGO (08/05/2022)	3264	20	9	3	2	3	3	3304
PROMEDIO (Veh/día)	3766	46	12	6	3	6	9	3846

Fuente: Elaboración Propia

## CÁLCULO DEL IMDA

<b>CÁLCULO DEL INDICE MEDIO DIARIO ANUAL (IMDA)</b>				
ESTACIÓN:	AV. JACINTO BARRA Y JR. DOS DE MAYO (DA)			
DISTRITO:	CHILCA			
PROVINCIA:	HUANCAYO			
DEPARTAMENTO:	JUNIN			
TIPO DE VEHICULOS	IMD	FCE	IMDA	%
VEHICULOS LIGEROS	3765	1.015	3822	97.93%
C2	46	0.998	46	1.18%
C3	12	0.998	12	0.32%
C4	5	0.998	5	0.13%
8X4	3	0.998	3	0.08%
T383	5	0.998	5	0.14%
B2	9	0.998	9	0.23%
<b>TOTAL (Veh/día)</b>			<b>3822</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración Propia

## CÁLCULO DE EE (día - carril)

<b>CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES (DIA - CARRIL)</b>						
ESTACIÓN:	AV. JACINTO BARRA Y JR. DOS DE MAYO (DA)					
DISTRITO:	CHILCA					
PROVINCIA:	HUANCAYO					
DEPARTAMENTO:	JUNIN					
TIPO DE VEHICULOS	IMDA	Fd	Fo	Fvp	Fp	EE (día-carril)
VEHICULOS LIGEROS	3822	1	0.8	0.001	1.00	3.058
C2	46	1	0.8	4.504	1.23	203.481
C3	12	1	0.8	3.285	1.23	40.064
C4	5	1	0.8	2.774	1.23	13.621
8X4	3	1	0.8	4.504	1.23	13.260
T383	5	1	0.8	4.901	1.23	26.607
B2	9	1	0.8	4.504	1.23	40.440
<b>TOTAL</b>						<b>340.580</b>

Fuente: Elaboración Propia

## CÁLCULO DEL NÚMERO DE REPETICIONES EE 8.2 Tn

CÁLCULO DE Nrep EE 8.2 Tn				
ESTACIÓN:	AV. JACINTO IBARRA Y JR. DOS DE MAYO (IDA)			
DISTRITO:	CHILCA			
PROVINCIA:	HUANCAYO			
DEPARTAMENTO:	JUNIN			
TIPO DE VEHICULOS	EE (día-carril)	Foa	Días del año	Nrep EE 8.2 Tn
VEHICULOS LIGEROS	3.058	10.70	365	11941
C2	203.461	11.20	365	831750
C8	40.094	11.20	365	153905
C4	13.621	11.20	365	55682
8X4	13.269	11.20	365	54245
T383	26.607	11.20	365	108770
B2	40.440	11.20	365	155317
N18				1291610
Se obtiene:				
<i>N18 = 1.39; es el número de repeticiones de ejes equivalentes en millones.</i>				

Fuente: Elaboración Propia

### 4.2. RESULTADOS DIRECTOS DEL CONTEO (VUELTA)

Se realizó la consolidación de la información por día y según el tipo de vehículo obtenida del conteo de tráfico en la Av. Jacinto Ibarra (Tramo Av. Leoncio Prado - Av. Próceres).

Los datos consolidados se pueden observar en el siguiente cuadro:

DIA	VEHICULOS LIGEROS	VEHICULOS PESADOS					
		C2	C8	C4	8X4	T383	B2
LUNES (02/05/2022)	3728	51	15	6	6	5	10
MARTES (03/05/2022)	3848	50	19	5	4	7	8
MIERCOLES (04/05/2022)	3827	44	18	7	3	8	9
JUEVES (05/05/2022)	3267	53	15	2	2	7	10
VIERNES (06/05/2022)	3061	56	21	4	2	4	7
SABADO (07/05/2022)	3640	32	10	5	3	7	4
DOMINGO (08/05/2022)	2864	25	8	3	2	3	3

Fuente: Elaboración Propia



## CÁLCULO DEL IMD

CÁLCULO DEL INDICE MEDIO DIARIO (IMD)								
ESTACIÓN:		AV. JACINTO IBARRA Y JR. DOS DE MAYO (VUELTA)						
DISTRITO:		CHELCA						
PROVINCIA:		HUANCAYO						
DEPARTAMENTO:		JUNIN						
DÍA	VEHICULOS LIGEROS	VEHICULOS PESADOS						TOTAL (Veh/día)
		C2	C3	C4	8X4	T383	B2	
LUNES (02/05/2022)	3728	51	15	6	6	5	10	3821
MARTES (03/05/2022)	3646	59	19	5	4	7	8	3848
MIÉRCOLES (04/05/2022)	3027	44	18	7	3	8	9	3818
JUEVES (05/05/2022)	3267	53	15	2	2	7	10	3386
VIERNES (06/05/2022)	3951	56	21	4	2	4	7	4085
SABADO (07/05/2022)	3649	32	10	5	3	7	4	3710
DOMINGO (08/05/2022)	2864	25	8	3	2	3	3	2908
PROMEDIO (Veh/día)	3592	46	15	5	3	6	7	3873

Fuente: Elaboración Propia

## CÁLCULO DEL IMDA

CÁLCULO DEL INDICE MEDIO DIARIO ANUAL (IMDA)				
ESTACIÓN:		AV. JACINTO IBARRA Y JR. DOS DE MAYO (VUELTA)		
DISTRITO:		CHELCA		
PROVINCIA:		HUANCAYO		
DEPARTAMENTO:		JUNIN		
TIPO DE VEHICULOS	IMD	FCE	IMDA	%
VEHICULOS LIGEROS	3592	1.015	3646	97.81%
C2	46	0.998	46	1.22%
C3	15	0.998	15	0.41%
C4	5	0.998	5	0.12%
8X4	3	0.998	3	0.08%
T383	6	0.998	6	0.16%
B2	7	0.998	7	0.20%
TOTAL (Veh/día)			3727	100%

Fuente: Elaboración Propia

### CÁLCULO DE EE (día - carril)

CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES (DIA - CARRIL)						
ESTACIÓN:	AV. JACINTO IBARRA Y JR. DOS DE MAYO (VUELTA)					
DISTRITO:	CHELCA					
PROVINCIA:	HUANCAYO					
DEPARTAMENTO:	JUNIN					
TIPO DE VEHICULOS	MMA	Fd	Fc	Fvp	Fp	EE (día-carril)
VEHICULOS LIGEROS	3646	1	0.8	0.001	1.00	2.916
C2	46	1	0.8	4.504	1.23	202.198
C3	15	1	0.8	3.205	1.23	48.850
C4	5	1	0.8	2.774	1.23	12.453
BX4	3	1	0.8	4.504	1.23	13.901
T353	6	1	0.8	4.991	1.23	28.708
B2	7	1	0.8	4.504	1.23	32.225
<b>TOTAL</b>						<b>341.252</b>

Fuente: Elaboración Propia

### CÁLCULO DEL NÚMERO DE REPETICIONES EE 8.2 Tn

CÁLCULO DE Nrep EE 8.2 Tn				
ESTACIÓN:	AV. JACINTO IBARRA Y JR. DOS DE MAYO (VUELTA)			
DISTRITO:	CHELCA			
PROVINCIA:	HUANCAYO			
DEPARTAMENTO:	JUNIN			
TIPO DE VEHICULOS	EE (día-carril)	Foa	Días del año	Nrep EE 8.2 Tn
VEHICULOS LIGEROS	2.916	10.70	365	11390
C2	202.198	11.20	365	828584
C3	48.850	11.20	365	199701
C4	12.453	11.20	365	50000
BX4	13.901	11.20	365	56828
T353	28.708	11.20	365	117357
B2	32.225	11.20	365	131737
<b>N18</b>				<b>1394505</b>
<b>Se obtiene:</b>				
<i>N18 = 1.39; es el número de repeticiones de ejes equivalentes en millones.</i>				

Fuente: Elaboración Propia

## 5. CONCLUSIONES

- El Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (Nrep EE 8.2 Tn.) identificado en la Av. Jacinto Ibarra (Tramo Av. Leoncio Prado - Av. Próceres) fue 1.39 expresado en millones en ambos sentidos.
- En la estación de conteo de la Av. Jacinto Ibarra y Jr. 2 de Mayo (ida y vuelta) se registró un promedio total de 3,846 y 3,673 (vehículos/día) respectivamente.
- Conforme a la base de los resultados del conteo de tráfico vehicular y el factor de corrección estacional, el IMDA (ida y vuelta) fue 3,903 y 3,727 (vehículos/día) respectivamente.
- De acuerdo a los factores de distribución direccional, carril, vehículos pesados y presión, el número de ejes equivalentes (día - carril) fue 340.550 y 341.252 respectivamente.

## 6. RECOMENDACIONES

- Adoptar como resultado el IMDA y el Nrep EE 8.2 Tn. obtenido para los fines correspondientes.
- Realizar los cálculos de la manera precisa de modo que se puedan evitar errores en el momento de la obtención de los resultados, y así poder realizar una buena interpretación.

**Anexo N° 04: resultados de la evaluación deflectométrica**

MEDIDA DE LA DEFLEXIÓN DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN (MTC E - 1002)																						
OBRA		Evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, Chilca - Huancayo																				
ACTIVIDAD		MEDICIÓN DE DEFLEXIONES Y RADIO DE CURVATURA (ESTUDIO DE DEFLECTOMETRÍA)																				
TIPO DE PAVIMENTO		PAVIMENTO FLEXIBLE (CARPETA ASFÁLTICA + CAPAS GRANULARES)																				
CARGA DE EJE DEL CAMIÓN		8.2 TN																				
PRESIÓN DE INFLADO DE NEUMÁTICOS		80 PSI																				
EQUIPO DE MEDICIÓN DE DEFLEXIONES		VIGA BENKELMAN - RELACIÓN DE BRAZOS 1:4 (DEFLECTÓMETRO MARCA BAKER)																				
TEMPERATURA		25 ° C																				
FECHA		viernes, 20 de mayo de 2022																				
SOLICITADO POR		CONSTRUCTORA INGENIEROS Y ARQUITECTOS ASESORES SANTA CRUZ S.C.R.L (LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS)																				
REALIZADO POR		Bach. Erika Jasmin Melchor Lozano																				
PYO DE ENSAYO	LADO	PROG	LECTURAS DEL DEFLECTÓMETRO					DEFLEXIONES PARCIALES (10 <sup>-3</sup> mm)					DEFLEXIONES - RELACION DE BRAZO DE 1:4 (10 <sup>-3</sup> mm)					Dmax (10 <sup>-3</sup> mm)	Radio de Curvatura (m)			
			R0 = 0 cm	R1 = 20 cm	R2 = 30 cm	R3 = 75 cm	R4 = 100 cm	R5 = 250 cm	D0	D25	D50	D75	D100	D250	D0	D25	D50			D75	D100	D250
<b>PROCESAMIENTO DE LECTURAS, OBTENCIÓN DE DEFLEXIONES, DEFLEXIÓN MÁXIMA Y RADIO DE CURVATURA</b>																						
1	DER	0+020	100	98	95	92	85	82	18.00	15.00	13.00	10.00	3.00	0.00	72.00	44.00	32.00	20.00	12.00	0.00	72.00	300.63
2	IZQ	0+025	100	98	94	91	85	81	15.00	17.00	13.00	10.00	5.00	0.00	75.00	48.00	32.00	20.00	20.00	0.00	76.00	300.63
3	DER	0+050	100	97	96	94	90	90	10.00	7.00	6.00	4.00	0.00	0.00	40.00	38.00	24.00	16.00	0.00	0.00	40.00	305.42
4	IZQ	0+075	100	95	92	85	86	84	16.00	12.00	8.00	4.00	2.00	0.00	64.00	48.00	32.00	16.00	8.00	0.00	64.00	195.31
5	DER	0+100	100	95	95	90	87	83	17.00	15.00	12.00	7.00	4.00	0.00	68.00	60.00	48.00	28.00	16.00	0.00	68.00	300.63
6	IZQ	0+125	100	98	93	90	89	86	14.00	12.00	7.00	4.00	2.00	0.00	56.00	48.00	28.00	16.00	8.00	0.00	56.00	300.63
7	DER	0+150	100	97	92	85	87	85	15.00	12.00	7.00	3.00	2.00	0.00	60.00	48.00	28.00	12.00	8.00	0.00	60.00	250.42
8	IZQ	0+175	100	96	94	90	86	82	18.00	14.00	12.00	8.00	4.00	0.00	72.00	56.00	48.00	32.00	16.00	0.00	72.00	195.31
9	DER	0+200	100	98	93	90	88	83	17.00	15.00	10.00	7.00	5.00	0.00	68.00	60.00	40.00	28.00	20.00	0.00	68.00	300.63
10	IZQ	0+225	100	98	95	91	88	86	14.00	12.00	8.00	5.00	2.00	0.00	56.00	48.00	36.00	20.00	8.00	0.00	56.00	300.63
11	DER	0+250	100	97	96	93	90	87	13.00	10.00	9.00	6.00	3.00	0.00	53.00	40.00	36.00	24.00	12.00	0.00	52.00	260.42
12	IZQ	0+275	100	98	95	92	88	87	13.00	11.00	9.00	5.00	1.00	0.00	52.00	44.00	36.00	20.00	4.00	0.00	52.00	300.63
13	DER	0+300	100	96	94	91	87	86	14.00	10.00	8.00	5.00	1.00	0.00	56.00	40.00	32.00	20.00	4.00	0.00	56.00	195.31
14	IZQ	0+325	100	95	92	88	80	77	23.00	19.00	15.00	9.00	3.00	0.00	92.00	76.00	60.00	36.00	12.00	0.00	92.00	195.31
15	DER	0+350	100	97	90	85	81	78	22.00	19.00	12.00	7.00	3.00	0.00	88.00	76.00	48.00	28.00	12.00	0.00	88.00	200.42
16	IZQ	0+375	100	98	95	93	90	88	12.00	10.00	7.00	5.00	2.00	0.00	48.00	40.00	28.00	20.00	8.00	0.00	48.00	300.63
17	DER	0+400	100	98	96	93	90	87	13.00	11.00	9.00	6.00	2.00	0.00	52.00	44.00	36.00	24.00	8.00	0.00	52.00	300.63
18	IZQ	0+425	100	98	95	93	86	85	15.00	13.00	10.00	5.00	1.00	0.00	60.00	52.00	40.00	20.00	4.00	0.00	60.00	300.63
19	DER	0+450	100	99	94	89	84	83	17.00	13.00	11.00	6.00	1.00	0.00	66.00	52.00	44.00	24.00	4.00	0.00	66.00	195.31
20	IZQ	0+475	100	98	96	93	93	90	10.00	8.00	6.00	3.00	0.00	0.00	40.00	32.00	24.00	20.00	12.00	0.00	40.00	300.63
21	DER	0+500	100	97	95	93	90	88	12.00	9.00	7.00	5.00	2.00	0.00	48.00	38.00	28.00	20.00	8.00	0.00	48.00	290.42
22	IZQ	0+525	100	92	88	82	78	74	26.00	18.00	14.00	8.00	4.00	0.00	104.00	72.00	56.00	32.00	16.00	0.00	104.00	97.86
23	DER	0+550	100	94	90	86	81	77	23.00	17.00	13.00	9.00	4.00	0.00	92.00	68.00	52.00	36.00	16.00	0.00	92.00	130.21
24	IZQ	0+575	100	98	92	88	85	84	16.00	14.00	8.00	4.00	2.00	0.00	64.00	56.00	32.00	16.00	8.00	0.00	64.00	300.63
25	DER	0+600	100	95	94	92	89	85	15.00	11.00	9.00	7.00	4.00	0.00	60.00	44.00	36.00	28.00	16.00	0.00	60.00	195.31
26	IZQ	0+625	100	95	92	87	84	81	18.00	15.00	11.00	6.00	3.00	0.00	76.00	60.00	44.00	24.00	12.00	0.00	76.00	195.31
27	DER	0+650	100	95	91	88	83	82	16.00	13.00	9.00	6.00	1.00	0.00	72.00	52.00	36.00	24.00	4.00	0.00	72.00	156.25
28	DER	0+675	100	95	95	93	89	82	16.00	14.00	13.00	11.00	4.00	0.00	72.00	56.00	44.00	16.00	0.00	0.00	72.00	195.31
29	IZQ	0+700	100	95	90	88	85	83	17.00	12.00	7.00	5.00	2.00	0.00	68.00	48.00	28.00	20.00	8.00	0.00	68.00	156.25
30	DER	0+725	100	95	87	86	86	86	5.00	3.00	2.00	1.00	1.00	0.00	20.00	12.00	8.00	4.00	0.00	0.00	20.00	300.63

CIAA SANTA CRUZ  
LABORATORIO DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTADO  
JAVIER SANTA CRUZ VELIZ  
ING. LABORATORISTA

SANTA CRUZ VELIZ RAÚL LUIS  
INGENIERO CIVIL  
CIP N° 263426

MEDIDA DE LA DEFLEXIÓN DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN (MYC E - 1002)																						
OBRA	Evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, Chilca - Huancayo																					
ACTIVIDAD	MEDICIÓN DE DEFLEXIONES Y RADIO DE CURVATURA (ESTUDIO DE DEFLECTOMETRÍA)																					
TIPO DE PAVIMENTO	PAVIMENTO FLEXIBLE (CARPETA ASFÁLTICA + CAPAS GRANULARES)																					
CARGA DE EJE DEL CAMIÓN	8.2 TN																					
PRESIÓN DE INFLADO DE NEUMÁTICOS	80 PSI																					
EQUIPO DE MEDICIÓN DE DEFLEXIONES	VIGA BENKELMAN - RELACIÓN DE BRAZOS 1:4 (DEFLECTÓMETRO MARCA BAKER)																					
TEMPERATURA	25 ° C																					
FECHA	viernes, 20 de mayo de 2022																					
SOLICITADO POR	Bach. Ericka Jasmin Melchor Lozano																					
REALIZADO POR	CONSTRUCTORA INGENIEROS Y ARQUITECTOS ASESORES SANTA CRUZ S.C.R.L (LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS)																					
PTO DE ENLACE	LADO	PROG	LECTURAS DEL DEFLECTÓMETRO						DEFLEXIONES PARCIALES (1/4 mm)						DEFLEXIONES - RELACION DE BRAZO DE VIGAS 1:4 (1/4 mm)						Dist. (1/4 mm)	Radio de Curvatura (m)
			R0 = 8 cm	R1 = 25 cm	R2 = 30 cm	R3 = 75 cm	R4 = 100 cm	R5 = 250 cm	D0	D25	D50	D75	D100	D250	D0	D25	D50	D75	D100	D250		
31	IZQ	0+750	100	96	99	90	88	89	15,00	11,00	8,00	5,00	3,00	0,00	60,00	44,00	32,00	20,00	12,00	0,00	60,00	165,31
32	DER	0+775	100	98	95	92	80	87	13,00	11,00	8,00	5,00	2,00	0,00	52,00	44,00	32,00	20,00	8,00	0,00	52,00	160,65
			PROMEDIO																			
			DES.V. ESTÁNDAR																			



**CIAA SANTA CRUZ SRL**  
 LABORATORIO DE SUELOS  
 CONCRETO Y ASFALTO  
 JAVIER SANTA CRUZ VELIZ  
 TEC. LABORATORISTA

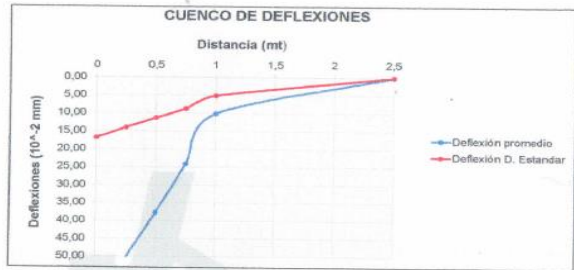

 SANTA CRUZ VELIZ PABLO LUIS  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 763426



MEDIDA DE LA DEFLEXIÓN DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN (MTC E - 1002)																			
CIFA A		Evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, Chilca - Huancayo																	
ACTIVIDAD		MEDICIÓN DE DEFLEXIONES Y RADIO DE CURVATURA (ESTUDIO DE DEFLECTOMETRÍA)																	
CIFA DE PAVIMENTO		CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS ASESORES SANTA CRUZ S.C.R.L																	
CARGA DE EJE DEL CAMIÓN		9.2 TN																	
PRESIÓN DE INFLADO DE NEUMÁTICOS		80 PSI																	
EQUIPO DE MEDICIÓN DE DEFLEXIONES		VIGA BENKELMAN - RELACION DE BRAZOS 1:4 (DEFLECTÓMETRO MARCA BAKER)																	
TEMPERATURA		25 °C																	
FECHA		Viernes, 20 de mayo de 2022																	
SOLICITADO POR		Blach, Ericka Jasmin Melchor Lozano																	
REALIZADO POR		CONSTRUCTORA INGENIEROS Y ARQUITECTOS ASESORES SANTA CRUZ S.C.R.L (LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS)																	
PTO DE ENBATO	LADO	PRGO	LECTURAS DEL DEFLECTÓMETRO					DEFLEXIONES PARCIALES (10 <sup>-2</sup> mm)					DEFLEXIONES - RELACION DE BRAZO DE VIG 1:4 (10 <sup>-2</sup> mm)					Invar (10 <sup>-2</sup> mm)	Radio de Curvatura (m)
			R0 = 0 cm	R1 = 25 cm	R2 = 50 cm	R3 = 75 cm	R4 = 100 cm	R5 = 200 cm	D0	D25	D50	D75	D100	D200	D25	D50	D75		

975151426 / 912880976 (064) 581405  
 Av. Oriente N° 772 Concepción  
 Concepción - Junín  
 CIAA\_SANTACRUZ@hotmail.com

CUENCO DE DEFLEXIONES Y ANÁLISIS DE LA DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA Y ADMISIBLE



**Deflexión Característica**

Dm = 63,38 (10<sup>-2</sup> mm)  
 ds = 16,82 (10<sup>-2</sup> mm)  
 Dc = 91,05 (10<sup>-2</sup> mm)

**Deflexión admisible**

N = 1,36 millones de ejes equivalentes  
 Dadm = 95,37 (10<sup>-2</sup> mm)

**Análisis de la Deflexión Característica y Admisible**

Dc = 91,05 (10<sup>-2</sup> mm)  
 Dadm = 95,37 (10<sup>-2</sup> mm)  
 Verif. = Dc < Dadm

Estado: satisfactorio  
**CIAA SANTA CRUZ S.R.L**  
 LABORATORIO DE SUELOS  
 CONCRETO ASFALTADO  
 JAVIER SANTA CRUZ VELIZ  
 TC LABORATORISTA

Tipo de Carretera	Deflexión Característica Dc	Observación
Autopistas, carreteras de IMCA mayor de 8000 vehículos, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	Dc = Dm + 1.645ds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras Duales o Multicarril carreteras de IMCA entre 4000 y 4001 vehículos, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	Dc = Dm + 1.645ds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase carreteras con un IMCA entre 4000-2001 vehículos, de una calzada de dos carriles.	Dc = Dm + 1.645ds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase carreteras con un IMCA entre 2000-401 vehículos, de una calzada de dos carriles.	Dc = Dm + 1.262ds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase carreteras con un IMCA entre 400-201 vehículos, de una calzada de dos carriles.	Dc = Dm + 1.262ds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Baja Volumen de Tránsito carreteras con un IMCA < 200 vehículos, de una calzada	Dc = Dm + 1.036ds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 85%

Nota: Dc = Deflexión característica, Dm = Deflexión media, ds = desviación estándar

Cuadro 13.22: Deflexión de Deflexión Característica Según Tipo de Carretera  
 Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - MTC - 2014

**Dadm = (1.15/N)<sup>0.25</sup>**

Ecuación 1. Deflexión admisible

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - MTC - 2014.

Donde:

- Dadm - Deflexión admisible en mm (a comparar con deflexiones viga Benkelman)
- N = Número de repeticiones de ejes equivalentes en millones





MEDIDA DE LA DEFLEXIÓN DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN (MTC E - 1002)																							
OBRA		Evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, Chitca - Huancayo																					
ACTIVIDAD		MEDICIÓN DE DEFLEXIONES Y RADIO DE CURVATURA (ESTUDIO DE DEFLECTOMETRÍA)																					
TIPO DE PAVIMENTO		PAVIMENTO FLEXIBLE (CARPETA ASFÁLTICA + CAPAS GRANULARES)																					
CARGA DE EJE DEL CAMIÓN		8.2 TN																					
PRESIÓN DE INFLADO DE NEUMÁTICOS		80 PSI																					
EQUIPO DE MEDICIÓN DE DEFLEXIONES		VIGA BENKELMAN - RELACIÓN DE BRAZOS 1:4 (DEFLECTÓMETRO MARCA BAKER)																					
TEMPERATURA		25 ° C																					
FECHA		viernes, 20 de mayo de 2022																					
SOLICITADO POR		Bach. Erika Jasmin Melchor Lozano																					
REALIZADO POR		CONSTRUCTORA INGENIEROS Y ARQUITECTOS ASESORES SANTA CRUZ S.C.R.L. (LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS)																					
PTO DE ENSAYO	LADO	PROG	LECTURAS DEL DEFLECTÓMETRO					DEFLEXIONES PARCIALES (10'-2 mm)					DEFLEXIONES - RELACION DE BRAZO DE VIG 1:4 (10'-2 mm)					Escala (10'-2 mm)	Radio de Curvatura (m)				
			R1 = 0 cm	R1 = 25 cm	R2 = 50 cm	R3 = 75 cm	R4 = 100 cm	R5 = 250 cm	D0	D25	D50	D75	D100	D250	D0	D25	D50			D75	D100	D250	
<b>PROCESAMIENTO DE LECTURAS, OBTENCIÓN DE DEFLEXIONES, DEFLEXIÓN MÁXIMA Y RADIO DE CURVATURA</b>																							
1	DER	0+000	100	99	98	96	94	92	88	12,00	7,00	6,00	4,00	2,00	0,00	32,00	26,00	24,00	16,00	8,00	0,00	32,00	781,25
2	IZQ	0+025	100	98	96	94	90	88	12,00	10,00	8,00	6,00	4,00	2,00	0,00	40,00	40,00	32,00	24,00	8,00	0,00	46,00	390,63
3	DER	0+050	100	99	98	94	92	90	10,00	9,00	8,00	7,00	3,00	0,00	60,00	44,00	36,00	28,00	8,00	0,00	40,00	781,25	
4	IZQ	0+075	100	96	94	92	88	80	15,00	11,00	10,00	7,00	3,00	0,00	60,00	52,00	42,00	20,00	12,00	0,00	60,00	195,31	
5	DER	0+100	100	96	95	90	87	85	15,00	13,00	10,00	5,00	2,00	0,00	60,00	52,00	42,00	20,00	8,00	0,00	60,00	360,63	
6	IZQ	0+125	100	96	94	92	90	88	12,00	8,00	6,00	4,00	2,00	0,00	48,00	32,00	24,00	16,00	8,00	0,00	60,00	360,63	
7	DER	0+150	100	97	92	89	87	85	15,00	12,00	7,00	4,00	2,00	0,00	60,00	48,00	28,00	16,00	8,00	0,00	60,00	293,42	
8	IZQ	0+175	100	96	94	92	90	88	12,00	8,00	6,00	4,00	2,00	0,00	48,00	32,00	24,00	16,00	8,00	0,00	48,00	195,31	
9	DER	0+200	100	98	95	91	85	87	13,00	11,00	8,00	5,00	3,00	0,00	32,00	28,00	28,00	12,00	4,00	0,00	52,00	360,63	
10	IZQ	0+225	100	98	98	97	95	92	8,00	6,00	6,00	4,00	1,00	0,00	52,00	44,00	32,00	16,00	4,00	0,00	52,00	360,63	
11	DER	0+250	100	95	94	90	88	87	13,00	9,00	7,00	3,00	1,00	0,00	32,00	28,00	28,00	12,00	4,00	0,00	32,00	360,63	
12	IZQ	0+275	100	99	96	97	95	95	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00	0,00	20,00	16,00	12,00	8,00	4,00	0,00	36,00	195,31	
13	DER	0+300	100	98	95	93	90	89	11,00	9,00	6,00	4,00	1,00	0,00	44,00	36,00	24,00	16,00	4,00	0,00	44,00	781,25	
14	IZQ	0+325	100	99	97	96	95	92	8,00	7,00	5,00	4,00	3,00	0,00	32,00	28,00	20,00	16,00	12,00	0,00	32,00	781,25	
15	DER	0+350	100	98	95	92	89	88	12,00	10,00	8,00	5,00	2,00	0,00	48,00	40,00	28,00	16,00	4,00	0,00	48,00	360,63	
16	IZQ	0+375	100	98	96	93	90	88	12,00	10,00	8,00	5,00	2,00	0,00	48,00	40,00	28,00	16,00	4,00	0,00	48,00	360,63	
17	DER	0+400	100	97	96	93	90	87	13,00	10,00	9,00	6,00	2,00	0,00	48,00	40,00	32,00	20,00	8,00	0,00	48,00	360,63	
18	IZQ	0+425	100	98	96	94	92	89	8,00	6,00	6,00	4,00	2,00	0,00	32,00	24,00	24,00	16,00	8,00	0,00	52,00	260,42	
19	DER	0+450	100	98	96	94	92	90	10,00	8,00	6,00	4,00	2,00	0,00	40,00	32,00	24,00	16,00	8,00	0,00	32,00	360,63	
20	IZQ	0+475	100	99	94	92	90	88	12,00	8,00	6,00	4,00	2,00	0,00	48,00	32,00	24,00	16,00	8,00	0,00	40,00	360,63	
21	DER	0+500	100	97	96	90	88	87	13,00	10,00	8,00	3,00	1,00	0,00	52,00	40,00	32,00	12,00	4,00	0,00	62,00	260,42	
22	IZQ	0+525	100	98	96	97	94	91	9,00	7,00	7,00	6,00	3,00	0,00	36,00	28,00	28,00	24,00	12,00	0,00	36,00	360,63	
23	DER	0+550	100	97	94	92	88	87	13,00	10,00	7,00	5,00	1,00	0,00	52,00	40,00	28,00	24,00	12,00	0,00	62,00	260,42	
24	IZQ	0+575	100	99	98	97	96	94	6,00	5,00	4,00	3,00	1,00	0,00	52,00	40,00	28,00	20,00	4,00	0,00	52,00	260,42	
25	DER	0+600	100	98	95	92	90	88	12,00	10,00	7,00	4,00	2,00	0,00	48,00	40,00	28,00	16,00	8,00	0,00	24,00	781,25	
26	IZQ	0+625	100	97	95	93	90	88	12,00	9,00	7,00	5,00	2,00	0,00	48,00	36,00	28,00	20,00	8,00	0,00	48,00	360,63	
27	DER	0+650	100	95	92	90	88	86	14,00	9,00	6,00	4,00	2,00	0,00	56,00	36,00	24,00	16,00	8,00	0,00	56,00	126,25	
28	DER	0+675	100	98	98	97	95	95	5,00	3,00	3,00	3,00	2,00	0,00	20,00	12,00	12,00	12,00	8,00	0,00	20,00	360,63	
29	IZQ	0+700	100	98	94	91	88	86	14,00	10,00	8,00	5,00	2,00	0,00	56,00	40,00	32,00	20,00	8,00	0,00	56,00	195,31	
30	DER	0+725	100	98	96	94	92	90	10,00	8,00	6,00	4,00	2,00	0,00	40,00	32,00	24,00	16,00	8,00	0,00	40,00	360,63	

**CIAA SANTA CRUZ SRL**  
LABORATORIO DE SUELOS  
CONCRETO ASFALTADO  
  
**JAVIER SANTA CRUZ VELIZ**  
TEC LABORATORISTA

*Auto. C.*  
**INGENIERO CIVIL**  
CIP N° 33428

MEDIDA DE LA DEFLEXIÓN DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN (MTC E - 1002)																											
OBRA		Evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, Chilca - Huancayo																									
ACTIVIDAD		MEDICIÓN DE DEFLEXIONES Y RADIO DE CURVATURA (ESTUDIO DE DEFLECTOMETRÍA)																									
TIPO DE PAVIMENTO		PAVIMENTO FLEXIBLE (CARPETA ASFÁLTICA + CAPAS GRANULARES)																									
CARGA DE EJE DEL CAMIÓN		8.2 TN																									
PRESIÓN DE INFLADO DE NEUMÁTICOS		80 PSI																									
EQUIPO DE MEDICIÓN DE DEFLEXIONES		VIGA BENKELMAN - RELACIÓN DE BRAZOS 1:4 (DEFLECTÓMETRO MARCA BAKER)																									
TEMPERATURA		25 °C																									
FECHA		viernes, 20 de mayo de 2022																									
SOLICITADO POR		Bach. Erika Jasmín Melchor Lozano																									
REALIZADO POR		CONSTRUCTORA INGENIEROS Y ARQUITECTOS ASESORES SANTA CRUZ S.C.R.L. (LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS)																									
PTO DE ERVAJO	LADO	PROF	LECTURAS DEL DEFLECTOMETRO						DEFLEXIONES PARCIALES (10 <sup>-2</sup> mm)						DEFLEXIONES - RELACION DE BRAZO DE VB 1:4 (10 <sup>-2</sup> mm)						Dmax (10 <sup>-2</sup> mm)	Radio de Curvatura (m)					
			R1 = 8 cm	R1 = 25 cm	R2 = 50 cm	R3 = 75 cm	R4 = 100 cm	R5 = 250 cm	D0	D25	D50	D75	D100	D250	D0	D25	D50	D75	D100	D250							
31	IZQ	0+750	100	97	95	92	90	88	12,00	9,00	7,00	4,00	2,00	0,00	48,00	38,00	28,00	16,00	8,00	0,00	48,00	205,42					
32	DER	0+775	100	96	96	97	95	93	7,00	6,00	5,00	4,00	2,00	0,00	28,00	24,00	20,00	16,00	8,00	0,00	28,00	791,25					
PROMEDIO															43,88	34,00	26,50	17,13	7,63	0,00	43,88	395,51					
DESV. ESTÁNDAR															11,38	6,92	6,32	4,09	2,35	0,00	11,38	204,81					

**CIAA SANTA CRUZ SRL**  
LABORATORIO DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTO

JAVIER SANTA CRUZ VELAZQUEZ  
INGENIERO CIVIL

*Nota 6*  
SANTA CRUZ VELAZQUEZ PAOLO LUIS  
INGENIERO CIVIL  
CIP Nº 38.575

**SANTA CRUZ**



MEDIDA DE LA DEFLEXION DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN (MTC E - 1002)																
OPERA	Evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflexométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, Chilca - Huancayo															
ACTIVIDAD	MEDICION DE DEFLEXIONES Y RADIO DE CURVATURA (ESTUDIO DE DEFLECTOMETRIA)															
TIPO DE PAVIMENTO	PAVIMENTO FLEXIBLE															
CARGA DEL CAMION	8.2 TN															
TIPO DE PNEUMATICOS	80 PSI															
EQUIPO DE MEDICION DE DEFLEXIONES	VIGA BENKELMAN - RELACION DE BRAZOS 1:4 (DEFLECTOMETRO MARCA BAKER)															
TEMPERATURA DEL PAVIMENTO	25 °C															
FECHA	viernes, 20 de mayo de 2022															
SOLICITADO POR	Bach. Erika Jasmin Melchor Lozano															
REALIZADO POR	CONSTRUCTORA INGENIEROS Y ARQUITECTOS ASESORES SANTA CRUZ S.C.R.L. (LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS)															
PTS DE BRAZO	LADO	PROG	LECTURAS DEL DEFLECTOMETRO					DEFLEXIONES PARCIALES (10 <sup>-2</sup> mm)					Deflex (10 <sup>-2</sup> mm)	Radio de Curvatura (m)		
			R0 = 0 cm	R1 = 25 cm	R2 = 50 cm	R3 = 75 cm	R4 = 100 cm	R5 = 250 cm	D0	D25	D50	D75	D100	D250		

CUENCO DE DEFLEXIONES Y ANÁLISIS DE LA DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA Y ADMISIBLE



Deflexión Característica

Dm	=	43,88 (10 <sup>-2</sup> mm)
ds	=	11,38 (10 <sup>-2</sup> mm)
Dc	=	62,60 (10 <sup>-2</sup> mm)

Deflexión admisible

N	=	1,39 millones de ejes equivalentes
Dadm	=	95,37 (10 <sup>-2</sup> mm)

Análisis de la Deflexión Característica y Admisible

Dc	=	62,60 (10 <sup>-2</sup> mm)	
Dadm	=	95,37 (10 <sup>-2</sup> mm)	
Verif.	=	Dc <	Dadm

Estado **conforme!**  
**CIAA SANTA CRUZ SRL**  
 LABORATORIO DE SUELOS  
 CONCRETO Y ASFALTO

**JAVIER SANTA CRUZ VELIZ**  
 INGENIERO DE SUELOS  
 LABORATORISTA

Tipo de Carretera	Deflexión Característica Dc	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 vehículos, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	Dc = Dm = 1.645xds	Deflexión característica para una Confiabilidad de 90%
Carreteras Dúplex o Multicarril: carreteras de IMDA entre 4000 y 4001 vehículos, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	Dc = Dm = 1.645xds	Deflexión característica para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 vehículos, de una calzada de dos carriles	Dc = Dm = 1.645xds	Deflexión característica para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 vehículos, de una calzada de dos carriles	Dc = Dm = 1.262xds	Deflexión característica para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 vehículos, de una calzada de dos carriles	Dc = Dm = 1.262xds	Deflexión característica para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tráfico: carreteras con un IMDA ≤ 200 vehículos, de una calzada	Dc = Dm = 1.636xds	Deflexión característica para una Confiabilidad de 85%

Nota: Dc = Deflexión característica; Dm = Deflexión media; ds = desviación estándar

Cuadro 12.22: Definición de Deflexión Característica Según Tipo de Carretera  
 Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - MTC - 2014

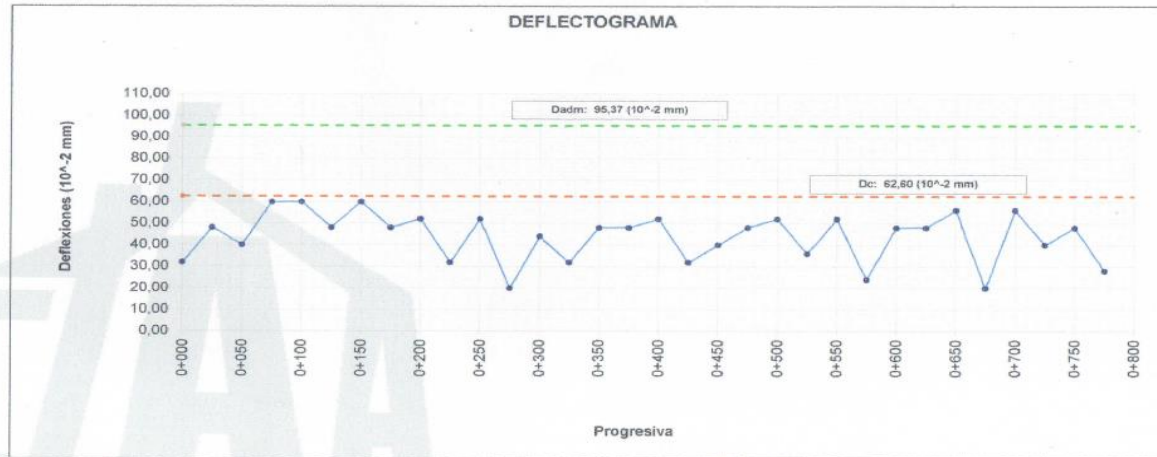
$$Dadm = (1.15/N)^{0.25}$$

Equación 1: Deflexión admisible  
 Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - MTC - 2014.

Donde:

- Dadm - Deflexión admisible en mm (a comparar con deflexiones viga Benkelman)
- N = Número de repeticiones de ejes equivalentes en millones

MEDIDA DE LA DEFLEXIÓN DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN (MTC E - 1002)																						
OBRA	Evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jacinto Ibarra, Chilca - Huancayo																					
ACTIVIDAD	MEDICIÓN DE DEFLEXIONES Y RADIO DE CURVATURA (ESTUDIO DE DEFLECTOMETRÍA)																					
TIPO DE PAVIMENTO	PAVIMENTO FLEXIBLE (CARPETA ASFÁLTICA + CAPAS GRANULARES)																					
CARGA DE EJE DEL CAMIÓN	8.2 TN																					
PRESIÓN DE INFLADO DE NEUMÁTICOS	90 PSI																					
EQUIPO DE MEDICIÓN DE DEFLEXIONES	VIGA BENKELMAN - RELACIÓN DE BRAZOS 1:4 (DEFLECTÓMETRO MARCA BAKER)																					
TEMPERATURA	25 °C																					
FECHA	viernes, 20 de mayo de 2022																					
SOLICITADO POR	Bach. Erika Jasmin Melchor Lozano																					
REALIZADO POR	CONSTRUCTORA INGENIEROS Y ARQUITECTOS ASESORES SANTA CRUZ S.C.R.L (LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS)																					
PTO DE ENSAYO	LADO	PROG	LECTURAS DEL DEFLECTOMETRO						DEFLEXIONES PARCIALES (10 <sup>-2</sup> mm)						DEFLEXIONES - RELACION DE BRAZO DE VIG 1:4 (10 <sup>-2</sup> mm)						Densidad (10 <sup>-2</sup> mm)	Radio de Curvatura (m)
			R0 = 0 cm	R1 = 25 cm	R2 = 50 cm	R3 = 75 cm	R4 = 100 cm	R5 = 150 cm	D0	D05	D09	D15	D19	D24	D0	D75	D40	D75	D100	D200		



**CIAA SANTA CRUZ SRL**  
LABORATORIO DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTADO  
*[Signature]*  
**JAVIER SANTA CRUZ VELIZ**  
ING. LABORATORISTA

*[Signature]*  
**SANTA CRUZ INGENIEROS**  
INGENIERO CIVIL  
CIP 47332

**Anexo N° 05: certificado de calibración**

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
MT - LL - 127 - 2021***Área de Metrología  
Laboratorio de Longitud*

Página 1 de 3

1. Expediente	14448
2. Solicitante	CONSTRUCTORA INGENIEROS Y ARQUITECTOS ASESORES SANTA CRUZ S.R.L.
3. Dirección	Av. Oriente Nro. 772 Concepción - Junín
4. Equipo	VIGA BENKELMAN (2 BRAZOS)
Fabricante	TAMIEQUIPOS
Número de Serie	ZZ4
Modelo	TCP - 1158
5. Instrumento de Medición	COMPARADOR DE CUADRANTE (DIAL)
Marca	BAKER / BAKER (*)
Modelo	JD8A / JD8A (*)
Número de Serie	R3225 / R2925 (*)
Alcance de Indicación	0 a 25 mm / 0 a 25 mm (*)
División de Escala	0,01 mm / 0,01 mm (*)
6. Fecha de Calibración	2021-11-07
7. Lugar de calibración	Laboratorio de Longitud METROLOGIA & TÉCNICAS S.A.C.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2021-11-07



Ing. WILLIAMS PEREZ COELLO



**Metrología y Técnicas S.A.C.**  
Av. San Diego de Almagro N° 1110 San Diego - LIMA - PERÚ  
Tel.: (511) 540 9642  
Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282  
RPM: 949 272 / 949 282

email: metrologia@metrologia.com.pe  
ventas@metrologia.com.pe  
WEB: www.metrologia.com.pe

**Área de Metrología**

Laboratorio de Longitud

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
MT - LL - 127 - 2021**

Página 2 de 2

**8. Método de Calibración**

La calibración se realizó empleando el método de comparación directa tomando como referencia la norma internacional ASTM D - 4695 "Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements" y el manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú MTC E 1002-2000 "Medida de la deflexión y determinación del radio de curvatura de un pavimento flexible empleando la Viga Benkelman".

**9. Trazabilidad**

La calibración brinda la trazabilidad hacia la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Longitud del Servicio Nacional de Metrología SNM - INDECOPI en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
BLOQUES PATRÓN (Grado K) ONM-CC-740-506/2011	BLOQUES PATRÓN (Grado 0) Vertex Modelo VGB-87-0	INDECOPI/SNM LLA-061-2020
REGLA METÁLICA (Clase I) INDECOPI/SNM LLA-385-2012	CINTA MÉTRICA (Clase II) Kaisa Modelo KM-707	SG NORTE S.R.L. SGI-109-2020

**10. Condiciones ambientales**

	Inicial	Final
Temperatura	20,1 °C	20,4 °C
Humedad Relativa	65 %	65 %

**11. Resultados**

PRIMER BRAZO		
VALOR PATRÓN (mm)	INDICACION DEL DIAL DEL EQUIPO (mm)	RELACION (BRAZO / DIAL)
2,0	0,500	4,0
4,0	1,000	4,0
6,0	1,480	4,1
8,0	1,985	4,0
10,0	2,480	4,0

**Relación Promedio Brazo : 1 : 4**

Incertidumbre de indicación : 0,26 µm ( para k = 2 )



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
MT - LL - 127 - 2021**Área de Metrología  
Laboratorio de Longitud

Página 3 de 3

**SEGUNDO BRAZO**

VALOR PATRON (mm)	INDICACION DEL DIAL DEL EQUIPO (mm)	RELACIÓN (BRAZO / DIAL)
2,0	0,501	4,0
4,0	1,003	4,0
6,0	1,502	4,0
8,0	2,004	4,0
10,0	2,502	4,0

**Relación Promedio Brazo : 1 : 4**Incertidumbre de indicación : 0,22  $\mu\text{m}$  ( para  $k = 2$  )

Posiciones	A - B	B - C
Longitud del primer brazo de ensayo prueba	0,61 m	2,44 m
Longitud del segundo brazo de ensayo prueba	0,56 m	2,18 m

posición A : Punto de apoyo del vástago del Dial registrador

posición B : Ubicación del Pivote en el equipo.

posición C : Punto de prueba.

**12. Observaciones**

- (\*) Características del dial del Segundo Brazo del equipo a calibrar.
- Se colocó una etiqueta autoadhesiva de CALIBRADO.

**13. Incertidumbre**

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k=2$ , el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento



**Anexo N° 06: comprobante del peso del camión utilizado**



**Anexo N° 07: panel fotográfico**



Fotografía 01. Ubicación de la vía en estudio.



Fotografía 02. Vista del punto de inicio en la Av. Jacinto Ibarra.



Fotografía 03. Camión utilizado.



Fotografía 04. Pesaje del camión.



Fotografía 05. Armado de la viga Benkelman.



Fotografía 06. Calibración de la viga Benkelman.



Fotografía 07. Viga Benkelman listo para proceder a la toma de deflexiones.



Fotografía 08. Colocación de la viga Benkelman en el punto a evaluar, Prog. 0+000 (ida).



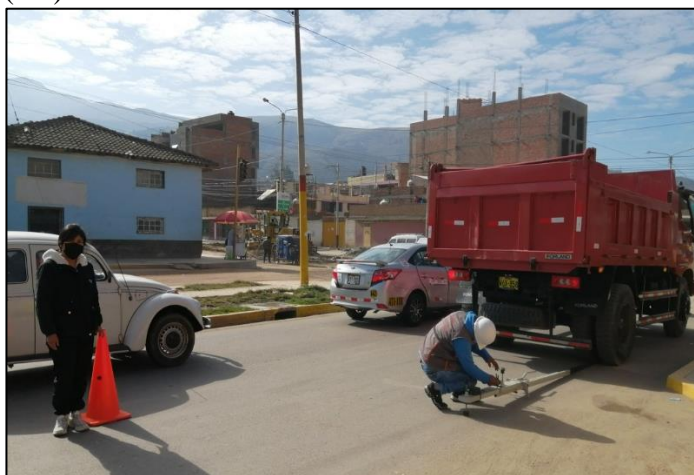
Fotografía 09. Colocación de la viga Benkelman en el punto a evaluar, Prog. 0+300 (ida).



Fotografía 10. Colocación de la viga Benkelman en el punto a evaluar, Prog. 0+500 (ida).



Fotografía 11. Colocación de la viga Benkelman en el punto a evaluar, Prog. 0+700 (ida).



Fotografía 12. Control de tránsito.



Fotografía 13. Colocación de la viga Benkelman en el punto a evaluar, Prog. 0+050 (vuelta).



Fotografía 14. Colocación de la viga Benkelman en el punto a evaluar, Prog. 0+350 (vuelta).



Fotografía 15. Colocación de la viga Benkelman en el punto a evaluar, Prog. 0+625 (vuelta).





Fotografía 16. Colocación de la viga Benkelman en el punto a evaluar, Prog. 0+750 (vuelta).

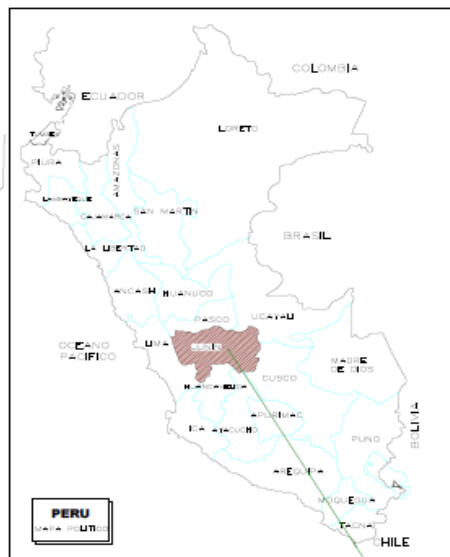


Fotografía 17. Equipo de trabajo en la toma de datos (ida).



Fotografía 18. Equipo de trabajo en la toma de datos (vuelta).

**Anexo N° 08: plano de localización y ubicación**



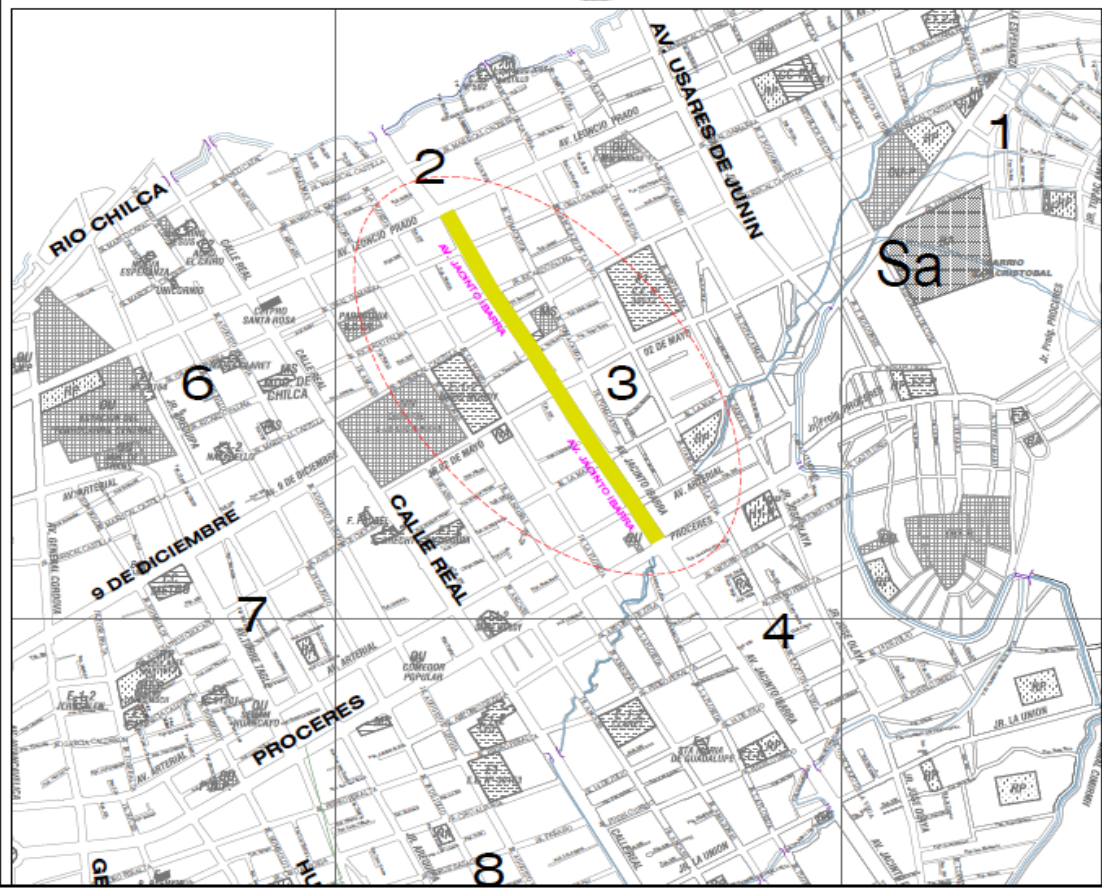
LOCALIZACION NACIONAL



LOCALIZACION REGIONAL



DISTRITO DE CHILCA  
PROV. LIMAYO, DISTRITO DE CHILCA  
UBICACION A NIVEL PROVINCIAL



UNIVERSIDAD PERUANA  
LOS ANDES



TESIS:

"Evaluación del comportamiento estructural mediante el análisis deflectométrico del pavimento flexible de la Av. Jaúto Ibarra, Chilca - Huanayo".

UBICACION Y LOCALIZACION

Linea: L-01

DEPARTAMENTO: JUNIN  
PROVINCIA: HUANAYO  
DISTRITO: CHILCA

FECHA: MAYO - 2022

TIPO: INDICADA