

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**EVALUACIÓN DE FALLAS ESTRUCTURALES DEL  
PAVIMENTO FLEXIBLE POR METODOS NO  
DESTRUCTIVOS EN LA CARRETERA PUNO – ILAVE,  
REGION PUNO**

PRESENTADO POR

Bach. EUCLIDES HERMES RIOS ALVAREZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL

JULIACA -.- PERÚ

2017

## ACTA DE TITULACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

En Juliaca, siendo las 12:30 horas del día 08 de julio del 2017, en el Salón de Grados de la Universidad Alas Peruanas y bajo la Presidencia del **Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI**, se inició la Sesión Pública de Sustentación y Evaluación correspondiente para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil por la modalidad de **Sustentación de Tesis**.

En la que el Bachiller: **RIOS ALVAREZ, EUCLIDES HERMES**

Sustentó la **Tesis de Ingeniería**:

*Tesis*

**“EVALUACIÓN DE FALLAS ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE POR MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS EN LA CARRETERA PUNO - ILAVE, REGIÓN PUNO”**


Ante el jurado integrado por los señores catedráticos:


<b>Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI</b>	<b>(Presidente)</b>
<b>Ing. JUAN VARGAS RAMOS</b>	<b>(Miembro)</b>
<b>Ing. ALFREDO PONCE FLORES</b>	<b>(Secretario)</b>

Sustentado el mismo, el graduando obtuvo el siguiente resultado:

*APROBADO POR UNANIMIDAD*

En fe de lo cual se asentó la presente Acta que firman el señor Presidente y los demás miembros del Jurado.

  
Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI  
Presidente  
CIP: 189445

  
Ing. ALFREDO PONCE FLORES  
Secretario  
CIP: 73698

  
Ing. JUAN VARGAS RAMOS  
Miembro  
CIP: 182267

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación de ingeniería para optar mi Segundo Grado de Título Profesional quisiera dedicarlos una vez más a la memoria de mi padre Antonio Rios Davalos (Q.E.P.D), a quien siempre llevo en mi mente y corazón, a mi Madre Angélica Alvarez Vda de Rios que a la distancia siempre me ha dado ese apoyo moral y a mis dos grandes amores de mi vida quienes son mi razón de seguir luchando, esforzándome mi esposa Norma Calla Fernández y mi hija Adeli Anthonella Rios Calla.

Euclides Hermes Rios Alvarez

## **AGRADECIMIENTO**

Quisiera agradecer, en primer lugar, a Dios, por permitir el éxito de este trabajo y también a todos los que me apoyaron para hacer realidad el presente trabajo de investigación, con sus buenos consejos:

A la “Universidad Alas Peruanas, a la facultad de Ingenierías y Arquitectura, en especial a la escuela profesional de Ingeniería Civil”, y a todos los docentes por el conocimiento compartido.

A todos los amigos con quienes siempre es posible conversar sobre la ingeniería y su relación frente a los vertiginosos cambios de la ciencia y tecnología, esperando siempre mantenernos a la vanguardia del conocimiento.

A la Empresa IPCT CONTRATISTAS GENERALES SRL A LA EMPRESA CORPORACION PACHAINTI E.I.R.L. Y LA EMPRESA TRANSPORTES Y ALQUILER SEÑOR DE REYES DE BELEN, por permitirme desarrollar mis conocimientos de ingeniería.

A mis Hermanos, Héctor, Edwin, y Edgardo Ríos Álvarez por su apoyo y consejo para hacer realidad mi presente Trabajo de investigación.

A mis Cuñados Fredy, Oscar, Rubén, Calla Fernández.

Y a mi gran Amigo Samuel Cáceres Quenta por su apoyo Constante.

**CON MUCHO CARIÑO Y AGRADECIMIENTO PARA TODOS ELLOS**

**EUCLIDES HERMES RIOS ALVAREZ**

## RESUMEN

El objetivo para la investigación de esta tesis es Evaluar las fallas estructurales del pavimento flexible por métodos no destructivos en la carretera Puno – llave, región puno. En el tramo 1388+000 - 1392+000, para la Evaluación estructural de fallas del pavimento flexible por el método no destructivo de la carretera en estudio, para ellos se tiene tres tipos de indicadores los cuales nos sirvió para la determinación de las fallas los cuales son: el índice de condición del pavimento, rugosidad Merlin y la viga benkelman, estos indicaremos nos muestran cada uno la condición del pavimento.

El primer indicar del Índice de Condición del Pavimento se realizó el inventario de todos los tipos de falla que existía en la carretera en estudio, para ellos se determinó que sea a cada 25.00 metros, lo cual esto ayudaría a conocer los tipos de falla que existía y así poder tener la situación actual en la que se encontraba, este método clasifica la carretera Excelente, Muy Bueno, Bueno, Malo y Muy Malo. Para los cuatro kilómetros la condición por el método no destructivo está en condición BUENO con un indicar de 67.87 de valor.

El segundo indicar es la Rugosidad Merlin el cual calcula la rugosidad de la carretera en estudio; la circulación es cómoda, con fallas incipientes como: depresiones debidas a pequeñas deformaciones, defectos y/o agrietamientos de la superficie de rodadura.

El tercer indicar es la Viga Benkelman es un indicador para la Evaluación Estructural de los pavimentos permite avaluar con eficiencia el nivel de fallas estructurales de la vía

**Palabras clave:** Método no destructivo, pavimento flexible

## ABSTRACT

The objective of this thesis research is to evaluate the structural failures of flexible pavement by non-destructive methods in the Puno - Ilave highway, Puno region. In the section 1388 + 000 - 1392 + 000, for the Structural Assessment of flexible pavement failures by the non-destructive method of the road under study, for them there are three types of indicators which were used for the determination of the faults the Which are: the condition index of the pavement, merlin roughness and the benkelman beam, these will indicate each of us the condition of the pavement.

The first indication of the pavement condition index was the inventory of all types of fault that existed on the road under study, for them it was determined to be every 25.00 meters, which would help to know the types of fault that existed And thus to be able to have the current situation in which it was, this method classifies the Road Excellent, Very Good, Good, Bad and Very Bad. For the four kilometers the condition by non-destructive method is in GOOD condition with a value of 67.87 indicating.

The second one is the Merlin Roughness which calculates the roughness of the road under study; The circulation is comfortable, with incipient faults as: depressions due to small deformations, defects and / or cracks of the rolling surface.

The third indication is the Beam Benkelman is an indicator for the Structural Evaluation of the pavements allows to evaluate efficiently the level of structural faults of the road

**keywords:** Non-destructive method, flexible pavement

## INDICE

INTRODUCCIÓN .....	11
CAPITULO I : PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO .....	12
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	12
1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	13
1.2.1. Delimitación espacial .....	13
1.2.2. Delimitación temporal .....	13
1.2.3. Delimitación social/conductual .....	13
1.2.4. Delimitación conceptual .....	13
1.3. PLANTEAMIENTO PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	14
1.3.1. Problema General.....	14
1.3.2. Problemas Específicos .....	14
1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN .....	14
1.4.1. Objetivo General.....	14
1.4.2. Objetivos Específicos.....	14
1.5. FORMULACION HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.5.1. Hipótesis General .....	15
1.5.2. Hipótesis Específicas.....	15
1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN .....	16
1.6.1. Variable independiente .....	16
1.6.2. Variable dependiente: .....	16
1.6.3.Operacionalización de Variables.....	16
1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	17
1.7.1. Tipo y nivel de investigación .....	17
a). Tipo de investigación .....	17
b). Nivel de investigación .....	17
1.7.2. Diseño y método de investigación .....	17
a). Método de investigación .....	17
b). Diseño de investigación .....	18
1.7.3. Población y muestra de la investigación .....	19
a). Población .....	19
b).Muestra.....	19
1.7.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	19
a). Técnicas .....	19

b). Instrumentos .....	19
1.8.JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
a).Justificación.....	20
b) Importancia.....	20
c) Limitaciones.....	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
2.1.1. Estudios específicos.....	21
2.2. BASES TEÓRICAS .....	21
2.2.1. Pavimentos.....	22
2.2.2. Metodología de Evaluación Superficial de pavimentos .....	26
2.2.2.1. Índice de Condición del Pavimento (PCI) .....	28
2.2.2.2. Evaluación con Rugosímetro merlín .....	42
2.2.2.3. Evaluación estructural deflectométrica .....	43
CAPÍTULO III: PROPUESTA TÉCNICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	53
3.1.UBICACION Y DESCRIPCION.....	53
3.2. EVALUACION ESTRUCTURAL DEFLECTOMETRICO.....	53
3.2.1.Evaluación estructural deflectométrica.....	54
3.2.2.Procedimiento de medición de deflexiones .....	55
3.2.3..Método de análisis para pavimentos flexibles .....	56
3.2.4. módulo de elasticidad equivalente del pavimento (E*) .....	59
3.2.5. Ejemplo de aplicación del método no destructivo.....	59
3.3. APLICACIÓN CON EL MÉTODO PCI.....	62
3.4. APLICACIÓN DEL RUGOSIMETRO DE MERLIN .....	67
3.5. PROPUESTA DE TÉCNICAS PARA EVALUACIÓN.....	70
CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN, ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	74
4.1. RESULTADOS PCI.....	74
4.2. RESULTADOS RUGOSIMETRO DE MERLIN.....	90
4.3. RESULTADOS OBTENIDOS DEFLECTOMETRIA.....	94
CONCLUSIONES .....	97



RECOMENDACIONES .....	98
BIBLIOGRAFÍA.....	99
ANEXOS.....	102

### **LISTA DE TABLAS**

Tabla II.1. Calificación de la condición del pavimento PCI
Tabla II.2. Índice de servicio presente
Tabla II.3. Deflexiones admisibles calculadas con diversos métodos
Tabla III.1. Para la determinación de R5
Tabla III.2. Para la determinación de I0
Tabla III.3. Deflexiones de los 500.00 primeros metros
Tabla III.4. Deflexiones de los 500.00 primeros metros y cálculo de deflexiones diales
Tabla III.5. Cuadro de fallas para el cálculo del PCI
Tabla III.6. Cuadro de cálculo del índice de condición del pavimento
Tabla III.7. Cuadro de cálculo del índice de condición del pavimento
Tabla IV.1. Número total de fallas según su tipo
Tabla IV.2. Resumen de los PCI 1er kilometro
Tabla IV.3. Resumen de los PCI 2do kilometro
Tabla IV.4. Resumen de los PCI 3er kilometro

### **LISTA DE FIGURAS**

Figura I.1. Operacionalización de variables
Figura II.1. Estructura de un pavimento flexible
Figura II.2. Estructura de un pavimento rígido
Figura II.3. La falla en la carretera de tipo piel de cocodrilo
Figura II.4. La falla por exudación
Figura II.5. La falla agrietamiento de bloque
Figura II.6. La falla Abultamientos y hundimientos
Figura II.7. La falla por Corrugación
Figura II.8. La falla longitudinal y transversal
Figura II.9. Viga Benkelman
Figura II.10. Vehículo de carga

Figura III.1. Ajuste del número de valores deducidos de “m”  
Figura III.2. Estructura de un pavimento flexible  
Figura III.3. Diagrama de flujo del procedimiento de evaluación  
Figura III.4. Diagrama de flujo del procedimiento de evaluación  
Figura IV.1. Representación de número total de fallas según su tipo  
Figura IV.2. Representación del tipo de falla más alto  
Figura IV.3. Representación de los índices de condición del pavimento  
Figura IV.4. Representación de los índices de condición del pavimento  
Figura IV.5. Representación de los índices de condición del pavimento  
Figura IV.6 Severidad de la falla piel de cocodrilo  
Figura IV.7. Severidad de la falla exudación  
Figura IV.8. Severidad de la falla deflexión  
Figura IV.9. Severidad de la falla fisura de borde  
Figura IV.10. Severidad de la falla fisura longitudinal y transversal  
Figura IV.11. Severidad de la falla parches  
Figura IV.12. Severidad de la falla baches  
Figura IV.13. Severidad en el ahuellamiento  
Figura IV.14. Severidad de la falla hinchamiento  
Figura IV.15. Severidad de la falla abultamiento y hundimiento  
Figura IV.16. Representación de las incidencias de cada falla  
Figura IV.17. Histograma de desviaciones  
Figura IV.18. Histograma de desviaciones  
Figura IV.19. Histograma de desviaciones  
Figura IV.20. Histograma de desviaciones  
Figura IV.21 Histograma de desviaciones  
Figura IV.22. Histograma de desviaciones  
Figura IV.23. Deflexión. Progresiva 1390+000 – 1391+000 carril derecho  
Figura IV.24. Deflexión. Progresiva 1390+000 – 1391+000 carril izquierdo  
Figura IV.25. Deflexión. Progresiva 1389+000 – 1388+000 carril derecho  
Figura IV.26. Deflexión. Progresiva 1389+000 – 1388+000 carril izquierdo

## INTRODUCCION

Muchas instituciones a nivel mundial han desarrollado métodos más eficaces para el diseño de pavimentos, a fin de aminorar los costos de construcción. También se ha desarrollado métodos para la rehabilitación de pavimentos, ya que es más importante para un país guardar un patrimonio como son las carreteras y una reconstrucción significa costos, a veces hasta más caros que un pavimento nuevo.

En la actualidad se hace estudios de Evaluación de Pavimentos en muchas carreteras, a fin de determinar la serviciabilidad y el grado de deterioro que estas han sufrido con el tiempo, el aumento de tráfico y los factores climáticos, estas evaluaciones permiten determinar qué acción se tomara para mejorar la serviciabilidad y la estructura del pavimento.

En la Evaluación del Pavimento se han desarrollado técnicas con métodos no destructivos con el fin de no dañar la estructura del pavimento, las cuales dan referencia del nivel de fallas superficiales que presenta este, el nivel de serviciabilidad y daños estructurales siendo necesario realizar sondeos, desarrollado una evaluación destructiva en el pavimento.

Aparentemente entre ambos métodos existen relaciones evidentes. El presente trabajo tiene por finalidad contrastar la aplicación de manera puntual ambos métodos, tomando como muestra representativa la carretera Puno – Ilave, tramo 1388+000 al 1391+000, para el desarrollo de este trabajo, teniendo esta mucha importancia en nuestra ciudad.

Cabe y es necesario mencionar que existen varios equipos para aplicar métodos no destructivos, así como sus metodologías para sus respectivos cálculos, lamentablemente en nuestro medio no están ampliamente difundidas. Es por eso, que solo se utilizó los indicadores antes mencionados para la evaluación de la carretera en investigación el cual está al alcance de nuestras posibilidades y es el equipo que tiene la base de datos más ampliamente desarrollados en la medición de deflexiones en carreteras.

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO METODOLOGICO

#### 1.1. DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La ubicación del tramo de carretera Puno - Ilave en estudio se desarrolla sobre una topografía de terreno llano, geología diversa propia del altiplano, con presencia de fenómenos hidrológicos desfavorables, con particular importancia dentro del sistema vial conllevando a características técnicas propias de diseño para el logro de una eficiente transitabilidad en la vía y el inadecuado diseño de estos factores técnicos originan la falla estructural.

Las vías terrestres se proyectan y construyen para que estén en servicio por un determinado número de años, llamado horizonte de proyecto o vida útil del proyecto. Al alcanzar este tiempo, los caminos se rescatan o se reconstruyen para continuar ofreciendo el servicio por más tiempo, que es en general lo que sucede.

Cuando la carreteras Puno - Ilave llegan a una etapa donde el tránsito tiene bastantes problemas y la “comodidad” del viaje llega a ser deficiente, es en este momento donde la obra alcanza su Falla Funcional. Si la carretera sigue en servicio, logra la Falla Estructural y prácticamente ya no se puede realizar el tránsito.

Debido a un mal diseño de la estructura en cuanto a calidad de materiales, espesores, o a que no se pronosticó el tránsito en forma adecuada, una obra vial puede llegar a la falla estructural al estar casi destruida antes de terminar la vida útil del proyecto, sin que quizá hubiese habido falla funcional, pues el deterioro habría sido rápido.

Los programas de mantenimiento de carreteras Puno - Ilave están diseñados para compensar los efectos del clima, crecimientos orgánicos, desgaste y daños provocados por el tránsito, así como el deterioro debido a los efectos del

envejecimiento, fallas de los materiales, fallas en el diseño y construcción, los mismos que no fueron aplicados en el tramo en estudio.

Con el propósito de abordar este fenómeno, se plantea el siguiente cuestionamiento que direcciona esta presente investigación:

¿Cuáles serán las fallas estructurales del pavimento flexible identificados por métodos no destructivos en la carretera Puno – Ilave, región Puno?

## **1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1 Delimitación espacial**

El presente trabajo investigación toma como delimitación espacial la carretera Puno - Ilave, y se tomara como muestra el Tramo 1388+000 al 1391+000 la misma que presente características de deterioro y fallas en su estructura.

### **1.2.2 Delimitación temporal**

El presente trabajo de investigación se llevará a cabo a partir de enero del 2017 hasta junio del 2017, tiempo que permitirá desarrollar y mostrar los resultados de la investigación.

### **1.2.3 Delimitación social/conductual**

La investigación se llevará a cabo en la carretera Puno – Ilave, la misma que beneficia a toda la población de la zona sur de la región Puno, así mismo se tendrá como objeto de evaluación una vía en servicio.

### **1.2.4 Delimitación Conceptual**

Esta investigación abarca dos conceptos fundamentales como Métodos no destructivos y fallas estructurales de carreteras que direccionaran el presente trabajo de investigación.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACION**

#### **1.3.1. Problema General**

¿Cuáles serán las fallas estructurales del pavimento flexible identificados por métodos no destructivos en la carretera Puno – Ilave, región Puno?

#### **1.3.2. Problemas Específicos**

¿Cuáles serán las fallas estructurales del pavimento flexible identificado con el método de deflectometría en la carretera Puno – Ilave, región Puno?

¿Cuáles serán las fallas estructurales del pavimento flexible identificados con el método PCI en la carretera Puno – Ilave, región Puno?

¿Cuáles serán las fallas estructurales del pavimento flexible identificados con el Rugosímetro Merlin, en la carretera Puno – Ilave, región Puno?

### **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar las fallas estructurales del pavimento flexible por métodos no destructivos en la carretera Puno – Ilave, región Puno.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

Evaluar las fallas estructurales del pavimento flexible con el empleo del método de deflectometría en la carretera Puno – Ilave, región Puno

Evaluar las fallas estructurales del pavimento flexible con la aplicación del método PCI en la carretera Puno – Ilave, región Puno

Evaluar las fallas estructurales del pavimento flexible con el empleo de Rugosímetro Merlin en la carretera Puno – Ilave, región Puno

## **1.5. FORMULACION DE LA HIPOTESIS DE INVESTIGACION**

### **1.5.1. Hipótesis general**

Las fallas estructurales del pavimento flexible identificados por métodos no destructivos no son significativos en la carretera Puno – Ilave, región Puno.

### **1.5.2. Hipótesis específico**

Las fallas estructurales del pavimento flexible con el empleo del método de deflectometría presentan valores bajos en la carretera Puno – Ilave, región Puno

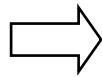
Las fallas estructurales del pavimento flexible con la aplicación del método PCI presenta calificación buena en la carretera Puno – Ilave, región Puno

Las fallas estructurales del pavimento flexible con el empleo de Rugosímetro Merlin presenta grado de servicialidad bueno, en la carretera Puno – Ilave, región Puno

## 1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.6.1 Variable independiente

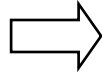
Variable independiente (X)



Métodos no destructivos

### 1.6.2. Variable dependientes

Variable dependiente (Y)



Fallas estructurales

### 1.6.3 Operacionalización de Variables.

Figura. I.1.  
Operacionalización de variables

VARIABLES	DIEMNSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE (x) Métodos no destructivos	pavimento flexible	Fallas en la estructura
VARIABLE DEPENDIENTE (y) fallas estructurales	Método de deflectometria	deflexión diales deflexion mm x 10 $DR/D\emptyset > 0.7$ $DR/D\emptyset > 0.426$
	Método PCI	Excelente Muy Bueno Bueno Regular Malo Muy Malo Fallado
	Rugosimetro Merlin	Bueno Regular Malo

Fuente: elaboración propia



## **1.7 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.7.1. Tipo y nivel de Investigación**

#### **a) Tipo de investigación**

El presente estudio es de tipo evaluativo, asume el enfoque cuantitativo, se recolectará los datos con instrumentos estandarizados (fichas de evaluación y registro d datos) y por el propósito de estudio es de tipo básico o fundamental está orientado a evaluar mediante tres métodos de no destructivos para evidenciar las fallas estructurales del pavimento flexible.

#### **b) Nivel de investigación**

Asimismo, de acuerdo a las características y profundidad del estudio corresponde al nivel de investigación aplicativo porque explicara los deterioros de los pavimentos en base a metodologías de evaluación y se pretende aplicar los resultados a situaciones reales donde se presenten problemas similares, para validar que la aplicación de los Método Evaluación de deterioro de pavimentos , se realizarán comparaciones las diferentes metodologías y determinar cual se debe asumir para la evaluación de vías en la región de Puno.

### **1.7.2. Diseños y métodos de Investigación**

#### **a) Diseño de investigación**

La presente es una investigación asume el diseño no experimental, trasversal implica la aplicación del método Evaluación de deterioro de pavimentos con la ayuda de una ficha de observación estructurada donde se determinara las diferentes fallas que se encuentran en el pavimento

FASE 1. Fase preparatoria. En esta fase se plantea el plan de trabajo, en el cual se definen los objetivos y la hipótesis, como también se analiza las metodologías de evaluación.

FASE 2. Recolección de la información. En esta etapa de la investigación se realizara una recopilación de información bibliográfica y de internet para adquirir los conocimientos relacionados, con las metodologías de evaluación de vías de bajo volumen de tránsito. Posteriormente se identificara la unidad de análisis, donde se tomara los datos en base a observación y registro de datos a través de equipos especializados.

FASE 3. Procesamiento y análisis de la información: En esta etapa se organizara e interpretara las fichas de observación y la base de datos utilizados. Con las variables obtenidas se procederá a la integración y búsqueda de los valores más representativos, con los cuales se lograra identificar las fallas o deterioros

FASE 4. Fase propositiva. Se planteara y se recomendara la metodología de evaluación más adecuada para la región Puno, las cuales podrán ser de gran utilidad como nuevos insumos para la evaluación futura (por parte de instituciones y actores diversos) de proyectos de infraestructura vial de bajo volumen de tránsito.

## **b) Método de investigación**

En la investigación se utilizara todo los pasos del método científico y como método general se utilizará el método deductivo por que se asume teorías (métodos de evaluación) para explicar los deterioros en las vías de bajo volumen de tránsito, así mismo tiempo recoger los resultados de cada aplicación para generalizar los resultados de la aplicación en la región Puno.

### **1.7.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **a) Población**

La población de estudio está comprendido por la carretera Puno llave, la misma que es una via interregional y tiene una demanda de alto transito que conduce a la zona surde la región Puno.

#### **b) Muestra**

La muestra que presenta la presente investigación es no probabilístico, porque el investigador asume un tramo de estudio que comprende 3 kilómetros que comprende desde la progresiva 1388+000 al 1391+000.

### **1.7.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **a) Técnicas**

- Observación:
- Mediciones
- Registro de datos en equipos

#### **b) Instrumentos**

- Ficha de observación estructurada
- Viga benkelman
- Rugosimetro de merlin

## **1.8. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **a) Justificación**

El deterioro sufrido en el Pavimento Flexible construido en la Carretera Puno - Ilave, se presenta de manera excesiva y las deficiencias se pueden atribuir posiblemente a fallas en el diseño, control de calidad, lo cual ha inducido defectos en el proceso constructivo, influencia de la temperatura, inadecuado sistema de drenaje superficial, subterráneo y entre otras.

El deterioro prematuro de los pavimentos flexible en la carretera Puno – Ilave durante los últimos años es el punto de partida de esta investigación que busca contribuir a la solución de un problema tan importante de la infraestructura vial mediante la evaluación y determinación de los factores técnicos viales que inciden en la falla estructural de un pavimento.

### **b) Importancia**

Se hace necesario el estudio exhaustivo de los factores técnicos que originan la falla estructural en pavimentos flexible con la finalidad de que estos parámetros de evaluación sean un referente para similares problemas existentes en la aplicación de proyectos futuros y no se lleguen a cometer estas deficiencias técnicas viales

### **c) Limitaciones**

La poca información existente sobre la aplicación de estos métodos de evaluación en la región Puno es una limitante, ya que no se tiene referencias sobre estudios anteriores en nuestro medio, que permita tener una validación de los métodos, así mismo para realizar este tipo de estudios se requiere la coordinación con las instituciones pertinentes que muestran poco interés por realizar este tipo de estudios.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION**

##### **2.1.1. Estudios específicos**

Dentro de los antecedentes del problema de la investigación podemos citar las siguientes obras, artículos, tesis y textos. Damos a conocer diferentes tesis de investigación que han sido realizados en diferentes universidades así como:

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil: “Diagnostico del estadio situacional de la vía: Av. Argentina – Av. 24 de Junio por el método: Índice de Condición del Pavimento” de la universidad Peruana de los Andes, CAMPOSANO OLIVERA Jhessy Eliam y GARCIA CARDENAS Kenny Victor, Huancayo Marzo del 2012.

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil: “Cálculo del Índice de Condición del Pavimento Flexible en la Av. Luis Montero, Distrito de Castilla” de la universidad de Piura, RODRIGUEZ VELASQUEZ Edgar Daniel, Piura Octubre del 2009.

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil: “Cálculo del Índice de Condición del Pavimento Flexible en la Av. Las Palmeras de Piura” de la universidad de Piura, CAMBOA CHICCHON Karla Patricia, Piura Diciembre del 2009.

#### **2.2. BASES TEORICAS.**

El marco teórico se direcciona a contribuir conceptualmente sobre los procedimientos y metodologías para la evaluación de pavimentos con los métodos no destructivos.

## 2.2.1. Pavimentos.

### a.- Concepto

Un pavimento es una estructura, constituida generalmente por una capa de rodadura, apoyada sobre una capa de material granular clasificado denominado base. A su vez dicha capa descansa firme y coherentemente en la capa de material granular clasificado denominado sub base; capas que en su conjunto representan el vocablo pavimento.

### b.- Pavimento flexible

También llamado pavimento asfáltico, el pavimento flexible está conformado por una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento, la cual permite pequeñas deformaciones en las capas inferiores sin que la estructura falle. Luego, debajo de la carpeta, se encuentran la base granular y la capa de sub base, destinadas a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito. Finalmente está la sub rasante que sirve de soporte a las capas antes mencionadas.

Figura II.1

Estructura de un pavimento flexible



Fuente: Diseño y Construcción de Pavimentos, 1991

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida de entre 10 y 15 años, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil.

### **c.- Pavimento Rígido.**

El pavimento rígido o pavimento hidráulico, se compone de losas de concreto hidráulico que algunas veces presentan acero de refuerzo. Esta losa va sobre la base (o subbase) y ésta sobre la subrasante. Este tipo de pavimentos no permite deformaciones de las capas inferiores.

El pavimento rígido tiene un costo inicial más elevado que el pavimento flexible y su período de vida varía entre 20 y 40 años. El mantenimiento que requiere es mínimo y se orienta generalmente al tratamiento de juntas de las losas.

Figura II.2

Estructura de un pavimento rígido



Fuente: Diseño y Construcción de Pavimentos, 1991

### **d.- Clasificación.**

Muchas causas de fallas de los pavimentos se encuentran en los suelos de fundación pese a que la influencia de las solicitaciones no siempre llegan a afectarlo directamente, de allí la importancia de conocer con suficiente

anticipación su naturaleza, su origen geológico y su comportamiento mecánico mediante los correspondientes los estudios geotécnicos.

### **Sub rasante**

Es la porción superior del suelo de fundación, que ha sido nivelada, perfilada y compactada y que sirve de apoyo a las diferentes capas del pavimento.

La capacidad de soporte de la Sub-Rasante se mide con el CBR (California Bearing Ratio o Relación Soporte de California-Norma AASTHO T193-81), para el caso de los pavimentos flexibles y con el módulo "K" de reacción de la Sub-Rasante puede ser de buena, regular o mala calidad según que su CBR este comprendido entre 60% y 100%, 10% y 60% o 0% y 10% respectivamente. Así la Sub-Rasante es de buena calidad, puede servir de apoyo directamente a la superficie de rodadura; si es de mala calidad, conviene estudiar la posibilidad de reemplazarla o estabilizarla con materiales de mejor calidad.

### **Sub base**

Que tiene una función primaria de protección (drenante y anticontaminante) de la base de un pavimento flexible o de las losas de un pavimento rígido; y una función secundaria resistente principalmente en el caso de los pavimentos flexibles, pudiendo ser granulares o estabilizados.

Es un material de préstamo que se coloca entre la Sub-Rasante y la base de un pavimento flexible o entre la Sub-Rasante y las losas en un pavimento rígido, para cumplir la función de capa drenante anticontaminante y/o resistente. Como capa drenante para facilitar la evacuación lateral de las aguas provenientes del nivel freático, de aniegos, o de infiltración a través de las juntas en el caso de un pavimento rígido como anticontaminante para impedir el arrastre de finos de la Sub-Rasante hacia la base, para impedir que las gravas y piedras de la base se introduzcan en una Sub-Rasante.



### **Base.**

Que es el principal elemento estructural en los pavimentos flexibles y que en los pavimentos rígidos puede remplazar a la sub base, pudiendo ser de agregados aglomerados con asfalto (como en el caso de las bases negras y estabilizadas), de agregados aglomerados con cemento portland (como en el caso de las bases estabilizadas con cemento, o las bases de concreto compactado con rodillo) o de suelos sin aglomerar como en el caso de las bases de grava.

### **Capa de desgaste o superficie de rodadura**

Que es la capa más superficial que estará en contacto con las sollicitaciones y tiene como función principal el proporcionar una superficie suave al deslizamiento y resistente al desgaste. En el caso de los pavimentos rígidos, constituye además el principal elemento estructural.

A diferencia de la base asfáltica que se cumple una función estructural en un pavimento asfáltico, la capa de desgaste o superficie de rodadura, sirve para proteger a las capas inferiores del pavimento contra el desgaste, tomar los esfuerzos cortantes generados por las cargas del tráfico, proporcionar una superficie no deslizante, más bien suave al deslizamiento y confortable al tránsito y para prevenir la penetración de agua hacia las capas inferiores del pavimento.

Para todos los pavimentos asfálticos, la superficie de rodadura se coloca sobre la base imprimada con un riego asfáltico tipo cut-back de curado medio o rápido denominado capa de imprimación, a un régimen comprendido entre 0.2 y 0.6 galones por metro cuadrado dependiendo si la superficie a imprimir está más abierta o más cerrada.

### **Compactación de asfalto**

Hasta fines de la década de los 1970, el procedimiento comúnmente empleado para la compactación del asfalto consistía en el uso de un rodillo estático de tres ruedas o de un rodillo tándem pesado para la compactación inicial seguido de un rodillado secundario, dado por un

compactador de neumáticos o por un rodillo metálico recubierto de caucho, finalizando con un rodillo tándem cuando la mezcla hubiera enfriado lo suficiente. En algunos casos el tren de compactación empleada el rodillo de neumáticos para la pasada inicial, seguido del rodillo estático de tres ruedas, para finalizar con el rodillo tándem.

El desarrollo de los rodillos vibratorios permitió reducir el número de máquinas y aumentar la eficiencia de la compactación del asfalto. Así donde los rodillos convencionales trabajando solamente por presión, limitaban la compactación a los 10cm superficiales, los rodillos vibratorios podían alcanzar espesores compactados de hasta 30cm.

Las pruebas de campo han demostrado que los compactadores vibratorios no solamente desarrollan densidades más altas, si no también permeabilidades más bajas y superficiales de rodadura más suaves.

### **2.2.2. Metodología de Evaluación Superficial de pavimentos.**

En el presente capítulo, el tema de Evaluación Superficial del Pavimento trata básicamente en evaluar el Comportamiento Funcional del pavimento, para lo cual se realiza la determinación del Índice de Condición del Pavimento (PCI) y de la determinación del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI). Como sus nombres los describen el primero define la condición del pavimento mediante inspecciones visuales e identificación de los tipos de fallas y el segundo define la regularidad superficial y la serviciabilidad o calidad de servicio. Es necesario mencionar que la evaluación superficial, en lo referente a la determinación de la condición del pavimento se realiza con metodología para pavimentos flexibles, por ser esta la carpeta superficial y de rodadura.

La evaluación superficial nos permite:

- Detectar los inicios de posibles fallas y determinar sus causas.
- Definir secciones homogéneas de fallas
- Establecer zonas prioritarias para conservación
- Determinar la necesidad de una evaluación del tipo estructural

## **Clasificación de fallas de pavimentos**

Existen diversos textos y catálogos disponibles donde se definen los tipos de fallas, sería por demás definir cada tipo de falla, por lo que solo se hace mención de los tipos de fallas clasificadas en cuatro categorías.

### **Tipos de fallas**

#### **A. Agrietamiento:**

- Grietas de piel de cocodrilo.
- Grietas de contracción (bloques).
- Grietas de borde.
- Grietas longitudinal y transversal.
- Grietas de deflexión de juntas.

#### **B. Deformación:**

- Ahuellamiento.
- Elevaciones y hundimientos.
- Parches y baches.
- Abultamientos.
- Corrugaciones.

#### **C. Defectos superficiales:**

- Exudación de asfalto.
- Huecos.

#### **D. Fallas diversas:**

- Desnivel pista – berma.

## **Determinación de fallas en el pavimento**

Las fallas en el pavimento se determinan mediante inspecciones visuales que pueden ser personales o mecanizadas.

Las inspecciones visuales personales tienen limitantes al ser lentos y laboriosos si se desea evaluar una extensa red de carreteras, también resulta costoso por la necesidad de disponer de gran cantidad de vehículos y personas. Pero en tramos cortos de carreteras este tipo de inspección visual es sencillo, eficaz y preciso.

Las inspecciones visuales mecanizadas constan de una cámara de filmación suspendida de un brazo metálico colocado en la parte superior de un vehículo que circula normalmente a una velocidad de 60 Km/h como el equipo GERPHO, mostrada en la figura. Las ventajas son notorias con respecto al otro tipo de inspección visual, ya que es más rápido, exhaustivo y objetivo. Otra ventaja es disponer de un archivo que permite la comparación en diversas épocas y apreciar la evolución de un pavimento. Las desventajas de este tipo de inspección son que no aprecia fisuras de pequeño espesor.

### **2.2.2.1. Índice de Condición del Pavimento (PCI)**

El PCI es un indicador numérico que valora la condición superficial del pavimento y proporciona una medida de la condición presente del pavimento basada en las fallas observadas en su superficie. El PCI también indica la integridad estructural y condición operacional de la superficie como rugosidad localizada y seguridad. No puede medir la capacidad estructural ni la medida directa de la resistencia al deslizamiento o rugosidad. Proporciona una base objetiva y racional para determinar la necesidad de conservación y reparación y sus prioridades. El monitoreo continuo del PCI es usado para establecer la tasa de deterioro del pavimento, que permite una identificación prematura sobre la necesidad de una rehabilitación mayor. El PCI brinda información sobre el comportamiento del pavimento para su validación o mejoramiento del diseño existente y procedimientos de conservación.

Este método fue elaborado por el cuerpo de ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Inicialmente fue desarrollado para pavimentos de aeropuertos y posteriormente, ampliado para vías, calles y estacionamientos de pavimentos asfálticos y de concreto de cemento Portland (simples y armados). La evaluación de la superficie puede ser realizada en forma continua o por toma de muestras, de igual manera que en el levantamiento continuo. El tramo debe ser dividido en segmentos denominados áreas de unidad de muestreo que varía de 135m<sup>2</sup> a 315 m<sup>2</sup>. Cada segmento es inventariado identificando y registrando manualmente en una planilla, los tipos, las cantidades y severidades de cada defecto encontrado.

El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados, ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los “valores deducidos”, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad que tiene sobre la condición del pavimento.

Tabla II.1.  
Calificación de la condición del pavimento PCI

<b>RANGO CLASIFICACIÓN</b>	
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

Fuente: Procedimiento estándar PCI según ASTM D 6433-03

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada daño presente. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida, como parte del inventario, ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima. Los tipos de deterioros, que considera el método del PCI, se indican en los párrafos siguientes:

**A. Piel de cocodrilo:**

Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento

se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo.

El agrietamiento de piel de cocodrilo ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito tales como las huellas de las llantas. Por lo tanto, no podría producirse sobre la totalidad de un área a menos que esté sujeta a cargas de tránsito en toda su extensión. (Un patrón de grietas producido sobre un área no sujeta a cargas se denomina como “grietas en bloque”, el cual no es un daño debido a la acción de la carga).

La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento.

Figura II.3.

La falla en la carretera de tipo piel de cocodrilo



Fuente: Elaboración propia

### **B. Exudación:**

La exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa. La exudación es originada por exceso

de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire. Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales y entonces se expande en la superficie del pavimento. Debido a que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumulará en la superficie.

Niveles de severidad:

**L:** La exudación ha ocurrido solamente en un grado muy ligero y es detectable únicamente durante unos pocos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos. o a los vehículos.

**M:** La exudación ha ocurrido hasta un punto en el cual el asfalto se pega a los zapatos y vehículos únicamente durante unas pocas semanas del año.

**H:** La exudación ha ocurrido de forma extensa y gran cantidad de asfalto se pega a los zapatos y vehículos al menos durante varias semanas al año.

Figura II.4.  
La falla por exudación



Fuente: Elaboración propia

### **C. Agrietamiento de bloque:**

Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.3 m a 3.0 m x 3.0m. Las grietas

en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente.

Normalmente ocurre sobre una gran porción del pavimento, pero algunas veces aparecerá únicamente en áreas sin tránsito. Este tipo de daño difiere de la piel de cocodrilo en que este último forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos. También, a diferencia de los bloques, la piel de cocodrilo es originada por cargas repetidas de tránsito y, por lo tanto, se encuentra únicamente en áreas sometidas a cargas vehiculares (por lo menos en su primera etapa).

**Niveles de severidad:**

**L:** Bloques definidos por grietas de baja severidad, como se define para grietas longitudinales y transversales.

**M:** Bloques definidos por grietas de severidad media

**H:** Bloques definidos por grietas de alta severidad.

Figura II.5.  
La falla agrietamiento de bloque



Fuente: Elaboración propia

**D. Abultamientos y hundimientos:**

Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los



desplazamientos pues estos últimos son causados por pavimentos inestables. Los abultamientos, por otra parte, pueden ser causados por varios factores, que incluyen:

1. Levantamiento o combadura de losas de concreto de cemento Pórtland con una sobrecarpeta de concreto asfáltico.
2. Expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo)
3. Infiltración y elevación del material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito (algunas veces denominado “tenting”).

Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento.

Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento, causando grandes o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones” (hinchamiento: swelling).

**Niveles de severidad:**

**L:** Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de baja severidad.

**M:** Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad media.

**H:** Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad alta.

Figura II.6.  
La falla Abultamientos y hundimientos



Fuente: Elaboración propia

### **E. Corrugación:**

La corrugación (también llamada “lavadero”) es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3.0 m. Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. Si los abultamientos ocurren en una serie con menos de 3.0 m de separación entre ellos, cualquiera sea la causa, el daño se denomina corrugación.

Niveles de severidad:

**B:** Corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad.

**M:** Corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad.

**A:** Corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad.

Figura II.7.  
La falla por Corrugación



Fuente: Elaboración propia

### **F. Depresión:**

Son áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor. En múltiples ocasiones, las depresiones suaves sólo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma un “baño de pájaros” (bird bath). En el

pavimento seco las depresiones pueden ubicarse gracias a las manchas causadas por el agua almacenada. Las depresiones son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta. Originan alguna rugosidad y cuando son suficientemente profundas o están llenas de agua pueden causar hidroplaneo. Los hundimientos a diferencia de las depresiones, son las caídas bruscas del nivel.

**Niveles de severidad:**

Máxima profundidad de la depresión:

**B:** 13.0 a 25.0 mm.

**M:** 25.0 a 51.0 mm.

**A:** Más de 51.0 mm.

**G. Grieta de borde:**

Las grietas de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0.30 y 0.60m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. El área entre la grieta y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma como se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse).

**Niveles de severidad:**

**L:** Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.

**M:** Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.

**H:** Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde.

**H. grieta de reflexión de junta:**

Este daño ocurre solamente en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento Pórtland. No incluye las grietas de reflexión de otros tipos de base (por ejemplo, estabilizadas con cemento o cal). Estas grietas son causadas principalmente por el movimiento de la losa de concreto de cemento Pórtland, inducido por

temperatura o humedad, bajo la superficie de concreto asfáltico. Este daño no está relacionado con las cargas; sin embargo, las cargas del tránsito pueden causar la rotura del concreto asfáltico cerca de la grieta. Si el pavimento está fragmentado a lo largo de la grieta, se dice que aquella está descascarada. El conocimiento de las dimensiones de la losa subyacente a la superficie de concreto asfáltico ayuda a identificar estos daños.

### **Niveles de Severidad:**

L: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm, o
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno con ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.
3. Grieta rellena de cualquier ancho rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad.
2. Grietas sin relleno de más de 76.0 mm.
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas (la grieta

### **I. grietas longitudinales y transversales:**

Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento o a la dirección de construcción y pueden ser causadas por:

1. Una junta de carril del pavimento pobremente construida.

2. Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura
3. Una grieta de deflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto de cemento Pórtland, pero no las juntas de pavimento de concreto.

Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción. Usualmente, este tipo de grietas no está asociado con carga.

**Niveles de Severidad:**

L: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm.
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas.
3. Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
2. Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho.
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

Figura II.8.  
La falla longitudinal y transversal



Fuente: Elaboración propia

#### **J. Parcheo y acometidas de servicios públicos:**

Un parche es un área de pavimento la cual ha sido remplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un parche se considera un defecto no importa que tan bien se comporte (usualmente, un área parchada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento). Por lo general se encuentra alguna rugosidad está asociada con este daño.

#### **Niveles de Severidad:**

**L:** El parche está en buena condición buena y es satisfactorio. La calidad del tránsito se califica como de baja severidad o mejor.

**M:** El parche está moderadamente deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de severidad media.

**H:** El parche está muy deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de alta severidad. Requiere pronta sustitución.

#### **K. huecos:**

Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0.90 m y con forma de tazón. Por lo general presentan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior. El crecimiento de los huecos se acelera por la

acumulación de agua dentro del mismo. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta. Con frecuencia los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento o meteorización. Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos, no como meteorización.

**Niveles de severidad:**

Los niveles de severidad para los huecos de diámetro menor que 762 mm están basados en la profundidad y el diámetro de los mismos, de acuerdo con el Cuadro 13.1. El diámetro del hueco es mayor que 762 mm, debe medirse el área en pies cuadrados (o metros cuadrados) y dividirla entre 5 pies<sup>2</sup> (0.47 m<sup>2</sup>) para hallar el número de huecos equivalentes. Si la profundidad es menor o igual que 25.0 mm, los huecos se consideran como de severidad media. Si la profundidad es mayor que 25.0 mm la severidad se considera como alta.

**L. Ahuellamiento:**

El ahuellamiento es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados del ahuellamiento, pero, en muchos casos, éste sólo es visible después de la lluvia, cuando las huellas estén llenas de agua. El Ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante, usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debidos a la carga del tránsito.

Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento.

**Niveles de severidad:**

Profundidad media del ahuellamiento:

B: 6.0 a 13.0 mm.

M: >13.0 mm a 25.0 mm.

A: > 25.0 mm.

**M. grietas parabólicas:**

Las grietas parabólicas por deslizamiento (slippage) son grietas en forma de media luna creciente. Son producidas cuando las ruedas que frenan o giran inducen el deslizamiento o la deformación de la superficie del pavimento. Usualmente, este daño ocurre en presencia de una mezcla asfáltica de baja resistencia, o de una liga pobre entre la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento. Este daño no tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica de la calzada.

**Nivel de severidad:**

L: Ancho promedio de la grieta menor que 10.0 mm.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

H: Existe una de las siguientes condiciones.

**N. Hinchamiento:**

El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento – una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3.0 m. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos.

**Nivel de severidad:**

**L:** El hinchamiento causa calidad de tránsito de baja severidad

**M:** El hinchamiento causa calidad de tránsito de severidad media.

**H:** El hinchamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.



### **2.2.2.1.1. Evaluación de la condición.**

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona. Debe seguirse estrictamente la definición de los daños de este manual para obtener un valor del PCI confiable.

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

#### **A. EQUIPO.**

- Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños o Wincha.
- Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.
- Manual de Daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.

#### **B. PROCEDIMIENTO.**

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el Manual de Daños, y se registra la información en el formato correspondiente. Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida los daños. Se usa un formulario u “hoja de información de exploración de la condición” para cada unidad muestreo y en los formatos cada renglón se usa para registrar un daño, su extensión y su nivel de severidad.

El equipo de inspección deberá implementar todas las medidas de seguridad para su desplazamiento en la vía inspeccionada, tales como dispositivos de señalización y advertencia para el vehículo acompañante y para el personal en la vía.

### **2.2.2.2. Evaluación con Rugosímetro merlín**

La regularidad superficial se refiere a la aproximación del perfil real al teórico, aquel que en un vehículo en marcha no se produce aceleraciones verticales. Las deformaciones que se presentan en la superficie del pavimento afectan la seguridad y comodidad del usuario, causando movimientos en el vehículo y aceleraciones verticales en los viajeros (cabeceos y balanceos) mientras mayor sea la velocidad; además de poder producir acumulaciones de agua superficial y originar hidropneumático o producir peligrosidad al usuario que circula a alta velocidad, ya que los movimientos del vehículo pueden producir despliegues de la carretera, con la consiguiente pérdida de adherencia neumático - pavimento.

El grado de deterioro de la regularidad superficial, además de estar relacionado con la sección estructural, lo acelera al paso de los vehículos, ya que estos aumentan la carga dinámica produciendo esfuerzos tangenciales y verticales.

#### **Serviciabilidad**

El concepto de serviciabilidad se orienta a evaluar su capacidad de proporcionar, en opinión del usuario, una transitabilidad suave y confortable, siendo un indicador que permite evaluar la condición del pavimento en un determinado momento.

La serviciabilidad es la facultad de una sección específica del pavimento para servir al tráfico hasta sus condiciones finales. Hay dos procedimientos para determinar la serviciabilidad. Un método es usando el Índice de Servicio Presente (Present Serviciability Index, PSI) basado en la rugosidad y la condición del pavimento. El otro método es usando un índice de rugosidad basado solo en la rugosidad.

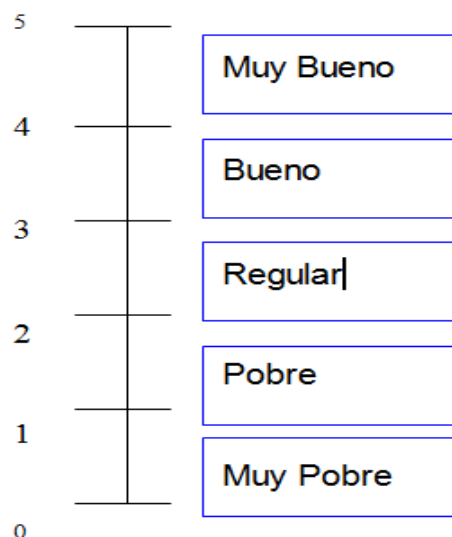
El concepto serviciabilidad - comportamiento del pavimento, fue desarrollado durante el AASHO Road Test (1957). La inclusión de la serviciabilidad como un

factor de diseño de pavimentos fue un excelente aspecto del método de diseño AASTHO.

### Índice de servicio presente (PSI)

Es una combinación matemática de valores obtenidos de ciertas dimensiones físicas como para predecir la condición de los pavimentos dentro de límites prescritos. Es una medida de la rugosidad superficial del pavimento y esta medida en una escala de 0 a 5, siendo 5 una superficie absolutamente lisa. Este PSI es medido de la rugosidad en un momento particular durante la vida de servicio del pavimento.

Tabla II.2.  
Índice de servicio presente



Fuente. Procedimiento estándar PCI según ASTM D 6433-03

### Índice de rugosidad internacional (IRI)

La irregularidad o rugosidad de la superficie de un camino refleja adecuadamente el grado de comodidad del tránsito; se ha desarrollado una gran variedad de equipos para medir la regularidad superficial de los pavimentos y se ha adoptado mundialmente un índice único conocido como "Índice de Rugosidad Internacional" (IRI), y fue aceptado como estándar de medida de la regularidad superficial de un camino por el Banco Mundial en 1986.

Para caminos pavimentados el rango de la escala del IRI es de 0 a 12 m/km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable; para no pavimentados la escala se puede extender hasta el valor 20. En la siguiente figura se presenta una clasificación que hace el Banco Mundial de las carreteras y aeropistas, dependiendo de los valores típicos del IRI, según las experiencias obtenidas en diversos países.

### **Métodos para medición de regularidad superficial**

Existen diversos métodos para medir la rugosidad, los cuales corresponden a diferentes tipos de equipos, los cuales se agrupan basándose en la forma de medición, diferenciándose tres clases:

**CLASE I:** Establecen la rugosidad a través de la determinación muy exacta del perfil longitudinal de un pavimento, con medidas cada 25 cm y una precisión de 0.5 mm. Estos métodos emplean equipos como el Rod and Level (Mira y Nivel)

**CLASE II:** Incluye varios tipos de perfilómetros, como el tipo Chloe rodante usado en la AASHO Road Test o el tipo de aparato conocido en España como Viógrafo.

**CLASE III:** Este usa sistemas que obtienen la regularidad superficial de la respuesta de la rugosidad del tipo de camino.

Los métodos Clase I y II son denominados Métodos Geométricos o Directos y los métodos Clase III son denominados métodos Dinámicos o Indirectos.

Cuando los equipos de la Clase III son apropiadamente calibrados, las respuestas de las medidas pueden ser puestas en una escala común (IRI – International Roughness Index). Sin embargo, las propiedades dinámicas de cada vehículo son únicas y cambian con el tipo, por lo que las mediciones deben ser transformadas mediante una ecuación de relación, para convertirlas a la escala IRI

### **2.2.2.3. Evaluación estructural deflectométrica**

Las medidas deflectométricas se han usado desde hace mucho tiempo para evaluar la capacidad estructural de un pavimento, in situ. Este método usa la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie del pavimento. Estas deflexiones reflejan una respuesta global del sistema pavimento – sub rasante bajo una carga dada y nos proporcionan de información.

Para interpretar esta información en forma cuantitativa, en un pavimento flexible se compara al pavimento – sub rasante con un modelo matemático, utilizando las deflexiones medidas para determinar los parámetros estructurales del sistema. Se puede decir que esta metodología es inversa al proceso de diseño, ya que utilizamos respuestas del sistema para establecer las carreteras estructurales.

En pavimentos rígidos, está basada en condiciones de sitio y del informe obtenido de la condición. Si la condición indica la existencia potencial de daños asociados a la carga, entonces la prueba de deflexión debería ser conducida para determinar la severidad del problema. Las medidas de deflexión deberían ser tomadas en juntas y grietas para determinar si existe pérdida de soporte y si la transferencia de carga a lo largo de las juntas y grietas es adecuada.

Al realizar los ensayos en el mismo pavimento, esta metodología nos muestra el fiel reflejo de la compleja interacción entre sus componentes (capas estructurales y sub rasante) y estos ensayos pueden ser realizados en cualquier momento de su vida, sin disturbarla ni destruirla; siendo esta una de las características de la evaluación por métodos no destructivos.

#### **2.2.2.3.1. Equipos para evaluación**

Pueden ser divididos en tres categorías, basado en el tipo de cargas aplicadas en el pavimento: Cargas estáticas o de movimiento lento, cargas dinámicas

vibratorias o cargas dinámicas con impulso. Las respuestas generadas con cada equipo de medición de deflexiones son distintas.

### **Cargas Estáticas o de Movimiento Lento**

La Viga Benkelman y el Deflectómetro Lacroix son los más conocidos dispositivos en esta categoría. Siendo el Deflectógrafo Lacroix simplemente la automatización de la Viga Benkelman y mide las deflexiones del pavimento de manera casi continua bajo la carga del eje posterior de un camión. Las medidas de deflexión se realizan de manera automática entre las ruedas duales a ambos lados del eje trasero del vehículo y van quedando registradas en un papel mientras el vehículo se desplaza a una velocidad continua de unos 3 kilómetros por hora.

### **Cargas Dinámicas Vibratorias**

El Dynaflect y el Road Rater son los más conocidos en esta categoría. Las deflexiones son generadas por dispositivos de vibración que impone una fuerza dinámica elíptica a fuerzas estáticas. Las deflexiones son medidas por aceleradores o sensores de velocidad. Estos sensores son colocados directamente debajo del centro de la carga y en distancias específicas del centro, usualmente a 0.30 metros.

Una ventaja de este tipo de equipo a diferencia del equipo estático es que un punto de la referencia no se requiere. Una referencia inercial se usa para que el cambio en la desviación pueda compararse a la magnitud de la fuerza dinámica. La desventaja del método, es que las cargas reales aplicadas a los pavimentos no están en la forma de estado de vibración sostenido y que el uso de carga estática relativamente grande puede tener un poco de efecto en las conductas de esfuerzos de materiales sensibles.

### **Cargas Dinámicas con Impulso**

Las deflexiones son generadas por tipos de cargas en caída. Variando la cantidad de peso y la altura de caída, pueden ser generadas diferentes fuerzas de impulso. El funcionamiento normal es mover el camión montado y el

dispositivo a la situación de la prueba, completando la secuencia de la prueba por caídas de peso a cada altura seleccionada.

La mayor ventaja de este método es la habilidad con que exactamente se modela una carga de la rueda en movimiento en magnitud y duración, y el uso de una carga estática relativamente pequeña comparados a la carga de impulso.

#### **2.2.2.3.2. Factores que influyen en las deflexiones**

Los mayores factores que influyen en las deflexiones son las cargas, clima y la condición del pavimento. Estos factores deben ser cuidadosamente considerados para una evaluación no destructiva.

##### **Cargas**

La magnitud y duración de carga tiene una gran influencia en la deflexión del pavimento. Es deseable que el mecanismo de la evaluación no destructiva sea aplicando una carga en el pavimento similar a la actual carga de diseño. Aunque se pueda simular la magnitud de la carga de diseño, a veces no se puede con la duración o frecuencia.

##### **Clima**

La temperatura y la humedad son dos factores climáticos que afectan la deflexión del pavimento. En los pavimentos de asfalto las altas temperaturas producen que la carpeta de asfalto se ablande y se incremente la deflexión. En los pavimentos de concreto la gradiente térmica influye en la forma de cambio global significativamente en las deflexiones cerca de las juntas y fallas. Las medidas tienen variación si son medidas en la noche, temprano en la mañana o en la tarde.

##### **Condición del Pavimento**

La condición del pavimento tiene un significativo efecto en las medidas de las deflexiones. En pavimentos de asfalto las deflexiones obtenidas en áreas con fallas y ahuellamientos son normalmente más altas que aquellos libres de

esfuerzos. Para pavimentos de concreto las fallas en las juntas incrementan las mediciones de deflexiones. Las deflexiones tomadas cerca o encima de una alcantarilla pueden ser mucho más altas, y las secciones de los pavimentos en corte o en relleno pueden mostrar significativamente diferentes deflexiones. Estas condiciones deben ser consideradas cuidadosamente cuando se selecciona el lugar de evaluación.

#### **2.2.2.3.3. Metodología para la interpretación de deflexiones**

La metodología empleada en el presente capítulo está basada en la interpretación de curvas de deflexiones medidas con la Viga Benkelman. Para pavimentos flexibles se utiliza el Modelo Matemático de Hogg, teniendo presente el concepto de la Deflexión Admisible. Para pavimentos rígidos se utiliza procedimientos establecidos por el Instituto del Asfalto.

Está compuesta de una parte fija y una parte móvil; la parte fija o estructura portante esta soportada por tres apoyos que descansan en la superficie del pavimento; la parte móvil, constituida por el brazo de medida está conectada a la estructura portante por medio de un pivote de giro y uno de sus extremos (punta) hace contacto con la superficie del pavimento, en el punto donde se requiere medir la deflexión. El otro extremo está en contacto con un deformímetro montado en la estructura portante. El pivote divide el brazo de medida en dos sectores entre los cuales existe una relación llamada "Constante de la Viga".

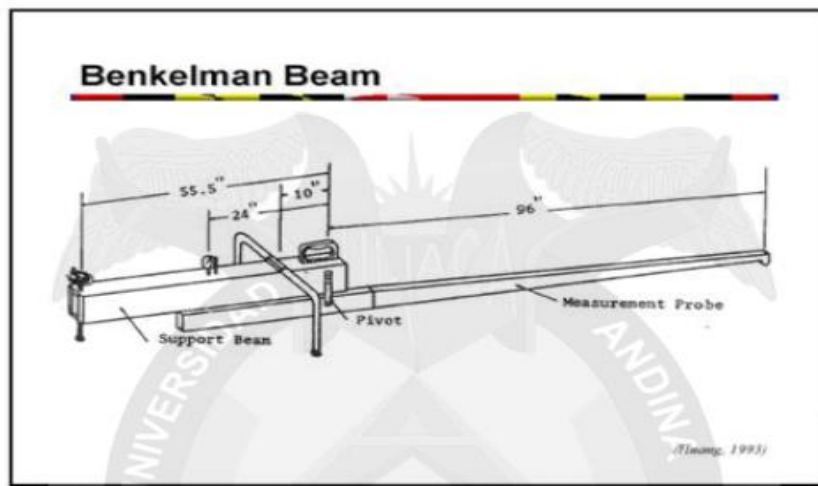
La metodología empleada está basada en la interpretación de curvas de deflexiones medidas con la Viga Benkelman. Para pavimentos flexibles se utiliza el Modelo Matemático de Hogg, teniendo presente el concepto de la Deflexión Admisible. Para pavimentos rígidos se utiliza procedimientos establecidos por el Instituto del Asfalto.

Está compuesta de una parte fija y una parte móvil; la parte fija o estructura portante esta soportada por tres apoyos que descansan en la superficie del pavimento; la parte móvil, constituida por el brazo de medida está conectada a



la estructura portante por medio de un pivote de giro y uno de sus extremos (punta) hace contacto con la superficie del pavimento, en el punto donde se requiere medir la deflexión. El otro extremo está en contacto con un deformímetro montado en la estructura portante. El pivote divide el brazo de medida en dos sectores entre los cuales existe una relación llamada “Constante de la Viga”.

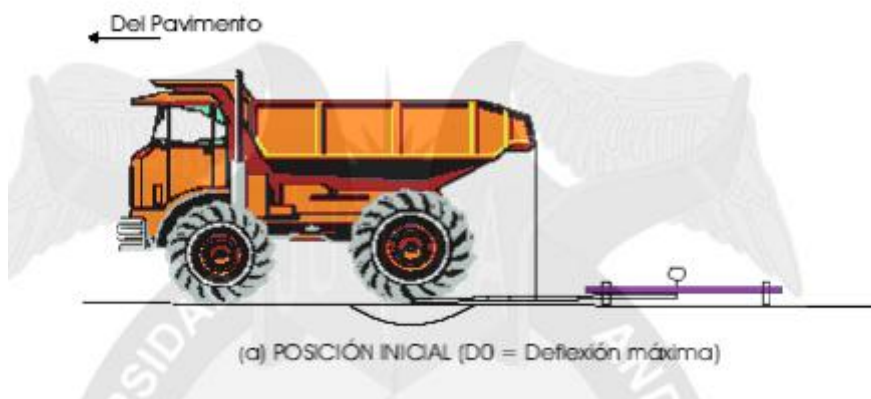
Figura II.9  
Viga Benkelman



Fuente: Diseño y Construcción de Pavimentos, 1991

El vehículo de carga consiste en un camión de dos ejes, y se mide bajo la carga de un eje posterior simple de llanta doble de 18 kips (18000 libras) y presión de inflado de 5.6 kg/cm<sup>2</sup> (80 lb/pulg<sup>2</sup>)

Figura II.10.  
Vehículo de carga



Fuente: Diseño y Construcción de Pavimentos, 1991

Las mediciones deben hacerse normalmente a distancias de 50 metros en forma alterna a cada lado de la calzada de tal manera que sean representativas de las condiciones generales del pavimento.

En pavimentos rígidos se toma las deflexiones máximas para determinar la capacidad de transferencia de carga. Siendo muy importante determinar el movimiento diferencial de una losa respecto de la otra.

### **Deflexión admisible**

La deflexión es un parámetro utilizado para la verificación de la capacidad estructural de un pavimento. Métodos empíricos proponen el uso de fórmulas para el cálculo de la deflexión admisible o deflexión tolerable (es la máxima que resiste el pavimento antes de llegar a un estado crítico) la cual es utilizada con la finalidad de comparar las medidas obtenidas en campo con este valor para determinar si la estructura del pavimento brinda un soporte estructural adecuado. Entre las fórmulas empleadas para calcular la deflexión admisible se encuentran:

De acuerdo con el criterio del Instituto del Asfalto:  $D_{adm} = 25.64 N^{-0.2383}$

De acuerdo con el criterio de CONREVIAl que utiliza la siguiente expresión :  $D_{adm} = (1.15/N)^{0.25}$

De acuerdo con el criterio de California, para un espesor de concreto asfáltico existente de 5cm.  $D_{adm} = 6.237 N^{-0.165}$

En estas fórmulas, N es el número de ejes equivalentes utilizado para el diseño de pavimento. Estas fórmulas por ser empíricas son muy sensibles a parámetros como el tráfico de la vía, espesor de la carpeta asfáltica y características de los materiales y son de aplicación para la zona y condiciones

de carga bajo las cuales han sido desarrolladas. Así por ejemplo, para un tráfico N de  $3.48 \cdot 10^6$  EAL vemos que con las distintas fórmulas obtenemos los siguientes valores de deflexión admisible:

Tabla II.3  
Deflexiones admisibles calculadas con diversos métodos

CRITERIO	FORMULA	Def. adm. (1/100 mm)
Instituto de Asfalto	$D_{adm} = 25.64 N^{-1}$	70.8
CONREVIAl	$D_{adm} = (1.15/N)^{0.25}$	75.3
California	$D_{adm} = 6.237 N^{-0.165}$	52.0

Fuente: Cálculo de deflexiones admisibles

Como se puede apreciar en el cuadro, los valores de la deflexión admisible mediante fórmulas empíricas son extremadamente sensibles a la fórmula empleada para su cálculo. En rigor, no es suficiente una comparación de los valores deflectométricos obtenidos, sino que, además, es necesaria la aplicación de métodos racionales, que utilicen métodos mecanísticos, y nos permitan verificar la capacidad estructural de la solución adoptada.

### Modelo matemático de HOGG

El modelo conocido como el “Modelo de Hogg” constituye la base matemática de la metodología. En este modelo, las capas del pavimento están caracterizadas por una placa de espesor delgado y una rigidez a la flexión. La sub rasante está representada por un medio elástico, lineal, homogéneo e isotrópico.

La metodología consiste, básicamente, en comparar las curvas de deflexiones medidas, con las curvas de deflexiones teóricas, obtenidas “cargando” el Modelo de Hogg con la misma configuración y magnitud de carga utilizada en los ensayos de campo.

La concordancia entre una curva experimental con algunas de las teorías corresponde, generalmente, a una única combinación de parámetros elásticos del modelo, que de esa manera pasan a caracterizar al pavimento evaluado. La metodología se complementa con otros conceptos de la teoría de capas elásticas y con observaciones experimentales para determinar ciertas propiedades de ingeniería de los materiales que pueden usarse para establecer las necesidades de refuerzo.

La expresión matemática desarrollada para el cálculo de las deformaciones en la superficie del sistema viene dada por una integral infinita de funciones Bessel y funciones hiperbólicas, la cual para el caso de una carga uniformemente distribuida circular de radio "a" tiene la siguiente forma:

$$\Delta_{(z=0;r)} = \frac{(1 + \mu_0)(3 - 4\mu_0)p \cdot a}{2(1 - \mu_0)E_0} \int_0^{\infty} \frac{J_0(mr/l_0)J_1(ma/l_0)}{m^4 + m\phi(mh/l_0)}$$

$$\phi = \frac{\text{Senh}(m) \cdot \text{Cosh}(m) + \frac{m}{3 - 4\mu_0}}{\text{Senh}^2(m) - \frac{m^2}{(3 - 4\mu_0)}}$$

Siendo "m" la variable de integración.

}

## **CAPITULO III**

### **PROPUESTA TECNICA DE LA INVESTIGACION**

#### **3.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCION DE LA POBLACION**

La carretera se encuentra en la parte sur del departamento de puno, a una altura promedio de 3820 m.s.n.m. la carretera es la vía principal de integración con los distritos del departamento de puno.

- Distrito : platería - acora
- Provincia : puno
- Departamento : puno
- Región : puno

La carretera se encuentra en la parte sur del departamento de puno, a una altura promedio de 3820 m.s.n.m. la carretera es la vía principal de integración con los distritos del departamento de puno.

#### **3.2. EVALUACION ESTRUCTURAL DEFLECTOMETRICO**

En el presente capítulo, el tema de Evaluación Estructural del Pavimento se refiere básicamente en evaluar el Comportamiento Estructural del pavimento, para lo cual se realiza ensayos deflectométricos, realizados con el equipo Viga Benkelman, el cual precisa las deflexiones en un punto de carga, con los que se determina algunos parámetros que nos indican cómo se encuentra la condición estructural del pavimento.

La metodología utilizada para pavimentos flexibles es muy amplia y está determinado por el Modelo Matemático de Hogg, para pavimentos rígidos se sigue procedimientos de deflexiones establecidos por el Instituto del Asfalto. Como se ha visto en el capítulo anterior, el pavimento flexible de la carretera Puno –llave, aparentemente se encuentra en una condición superficialmente

regular, luego de haber sido conservado con tratamientos superficiales. Pero existen asentamientos en varios tramos de la carretera, donde la estructura del pavimento flexible, al parecer, sufre de fallas estructurales.

La falla de la estructura se deriva de dos causas fundamentales:

1. Si la capacidad mencionada es excedida más allá del valor que determinan las deformaciones recuperables por elasticidad instantánea y retardada, se desarrollan deformaciones permanentes en cada aplicación de las cargas, las que se acumulan modificando los perfiles de la calzada hasta valores que resultan intolerables para la comodidad, seguridad y rapidez del tránsito y aún pueden provocar el colapso de la estructura.
2. Si la capacidad mencionada no es excedida pero las deformaciones recuperables son elevadas, los materiales y en particular las capas asfálticas sufren el fenómeno denominado fatiga cuando el número de aplicaciones de las cargas pesadas es elevado, que se traduce en reducción sus características mecánicas. En este caso la deformación horizontal por tracción en la parte inferior de las capas asfálticas al flexionar la estructura, puede exceder el límite crítico y se llega a la iniciación del proceso de fisuramiento.

### **3.2.1 Evaluación estructural deflectométrica**

Las medidas deflectométricas se han usado desde hace mucho tiempo para evaluar la capacidad estructural de un pavimento, in situ. Este método usa la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie del pavimento. Estas deflexiones reflejan una respuesta global del sistema pavimento – sub rasante bajo una carga dada y nos proporcionan de información.

Para interpretar esta información en forma cuantitativa, en un pavimento flexible se compara al pavimento – sub rasante con un modelo matemático, utilizando las deflexiones medidas para determinar los parámetros estructurales del sistema. Se puede decir que esta metodología es inversa al proceso de

diseño, ya que utilizamos respuestas del sistema para establecer las carreteras estructurales.

En pavimentos rígidos, está basada en condiciones de sitio y del informe obtenido de la condición. Si la condición indica la existencia potencial de daños asociados a la carga, entonces la prueba de deflexión debería ser conducida para determinar la severidad del problema. Las medidas de deflexión deberían ser tomadas en juntas y grietas para determinar si existe pérdida de soporte y si la transferencia de carga a lo largo de las juntas y grietas es adecuada.

Al realizar los ensayos en el mismo pavimento, esta metodología nos muestra el fiel reflejo de la compleja interacción entre sus componentes (capas estructurales y sub rasante) y estos ensayos pueden ser realizados en cualquier momento de su vida, sin disturbarla ni destruirla; siendo esta una de las características de la evaluación por métodos no destructivos.

### **3.2.2. Procedimiento de medición de deflexiones.**

Primeramente se verifica que se cumpla con las condiciones para el ensayo, como carga del eje trasero del camión y presión de las llantas.

El eje vertical del centro de gravedad de las llantas a usarse se hace coincidir con el punto de ensayo, para esta operación es aceptable una tolerancia de 3 pulg. Al rededor del punto. Se inserta entre los neumáticos el extremo del brazo móvil de la Viga y sobre el punto de ensayo. Por ser inaccesible visual como manual realizar lo anterior mencionado, se hace uso de la plomada haciendo coincidir el brazo móvil con el eje vertical producido por la plomada, colocándose en el eje del centro de gravedad del par de neumáticos. Posteriormente tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte extrema del camión, se realiza marcas en la Viga Benkelman a 0, 50, 100 y 200, para luego solo hacer coincidir la varilla con las marcas. Seguidamente se verifica que la viga este alineada longitudinalmente con la dirección del camión.

Se pone el extensómetro en cero, mientras el camión se desplaza muy lentamente se procede a tomar las lecturas conforme la varilla vertical coincide con las marcas, y se hace una lectura final cuando el camión se ha alejado lo suficiente del punto de ensayo y que el indicador del dial ya no tenga movimiento y registre deflexión cero. En pavimentos flexibles es necesario medir la temperatura de la superficie del pavimento en un punto en no menos de 254 mm (10 pulg.) del borde del pavimento, realizando un pequeño orificio en el pavimento de 4 cm de profundidad y registrando la medida de la temperatura y al mismo tiempo registrar también la temperatura ambiente. En pavimentos compuestos no es necesario tomar la temperatura de la superficie, ya que no requiere realizar correcciones por temperatura.

Los puntos de ensayo en el pavimento flexible se realizan cada 50 metros. Notando que el pavimento compuesto tiene una condición buena, los ensayos se realizan en grietas pronunciadas, notorias, por la fuerte reflexión que presentan del pavimento rígido. Teniendo presente que en pavimentos rígidos las deflexiones son para determinar e identificar las áreas dañadas, como deflexiones diferenciales en las juntas y grietas debidas a la pérdida de transferencia de carga, o por efectos relacionados con la humedad en las grietas.

### **3.2.3. Método de análisis para pavimentos flexibles**

A continuación se presentan los diferentes pasos de interpretación con los diferentes algoritmos.

#### **Modelo de carga**

La carga en el ensayo con la Viga Benkelman proviene del eje trasero simple con llanta doble de un camión. La carga del eje es del orden de las 18000 libras (8.17 toneladas) y la presión de inflado es de 80 psi.

El modelo de carga se asume que la presión de inflado es igual a la presión de contacto, que la huella de contacto de cada llanta es circular y de radio "A" y,



que hay una distancia de 3A entre los centros de cada llanta, por equilibrio se establece la siguiente relación:

$$A = \sqrt{\frac{P}{\pi p}}$$

Dónde:

A = Radio de la huella circular de contacto

P = Carga sobre una llanta

p = Presión de inflado

De esta manera, si la carga del eje es 18000 libras (4500 libras por llanta) y la presión de inflado es 80 psi.

$$A = (4500/80\pi)^{1/2} = 4.23'' = 10.75 \text{ cm}$$

### Determinación de R5

R5 es la distancia "R" del centro geométrico de la llanta doble en dirección longitudinal, en el cual se obtiene que la relación DR/D0 = 0.5 en la curva de deflexiones. Para el Modelo de Hogg se ha establecido que R5 puede determinarse usando la siguiente ecuación:

$$R5 = R \frac{A^C - B}{[A(D0/DR - 1)]^C - B}$$

Dónde:

R = Distancia a la que se mide la deflexión DR.

D0 = Deflexión máxima

DR = Deflexión a la distancia R

A, B y C = Coeficientes de correlación que adoptan los siguientes valores

**Tabla III.1.**

Para la determinación de R5

H/LØ	μ	A	B	C
α	Cualquier Valor	3.115	0	0.584
$\frac{10}{DR/DØ} > 0.7$	0.5	2.460	0	0.592
$\frac{10}{DR/DØ} < 0.7$	0.5	371.1	2	0.219
$\frac{10}{DR/DØ} > 0.426$	0.4	2.629	0	0.548
$\frac{10}{DR/DØ} < 0.426$	0.4	2283.4	3	0.2004

Fuente: teorías del modelo matemático de HOGG

**Determinación de la longitud elástica (L0)**

La longitud elástica (L0) del pavimento puede calcularse usando la ecuación:

$$L_0 = \frac{Y.R5 + \sqrt{(Y.R5)^2 - 4A.X.R5}}{2}$$

Dónde:

R5 = Calculado en la ecuación anterior

A = Radio de la huella circular de carga

X e Y = Coeficiente de correlación que adopta los siguientes valores

**Tabla III.2**

Para la determinación de I0

H/LØ	μ	X	Y
10	0.5	0.183	0.620
10	0.4	0.192	0.602
α	Cualquier Valor	0.180	0.525

Fuente: teorías del modelo matemático de hogg

### **3.2.4. Determinación del módulo de elasticidad equivalente del pavimento (E\*)**

El Modulo de Elasticidad Equivalente del Pavimento (E\*) representa a todas las capas del pavimento por encima de la subrasante.

Para un pavimento flexible típico, compuesto de carpeta asfáltica y base granular, el modulo E\* representa a la carpeta y la base combinadas con un espesor total igual a la suma de los espesores de cada capa. Una solución aproximada ha sido propuesta por Ullidtz (1977, 1980) y se basa en los conceptos del módulo de elasticidad combinado (E\*), de la carpeta asfáltica y la base, con un espesor HC = H1 + H2 se determina usando el concepto del espesor equivalente. Este espesor equivalente se determina de la siguiente ecuación:

$$HE = 0.9 * HC(E * / E0)^{1/3}$$

### **3.2.5. Ejemplo de aplicación del método no destructivo**

Para la aplicación del método no destructivo calculares desde la progresiva 1388+000 a la progresiva 1388+500, en 500.00 metros, el comportamiento de las deflexiones estructurales.

Para la obtención de los resultado se tiene un lectura inicial de 0.00 para cada uno de los puntos de inicio, la segunda lectura es a 25.00 cm los cuales son registrados de acuerdo al Extensómetro, luego la lectura a 75.00 cm y la lectura final después que el camión se aleja totalmente de la Viga Benkelman es 18.00. En cada tiempo punto se tomó las lecturas de la temperatura ambiente y la temperatura del pavimento los cuales se muestran para cada punto, al mismo tiempo se mide el tiempo de cada punto este ejemplo es para el lado derecho.

**Tabla III.3****Deflexiones de los 500.00 primeros metros**

PROGRESIVA KM	LECTURA DE VIGA EN DIALES				TEMP. AMBIENTE °C	TEMP. PAVIMENTO °C	HORA
	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	Lf (Dmáx)			
1388+000	0.00	6	14	18	15.4	21.2	08:02
1388+050	0.00	6	13	15	15.5	21.4	08:04
1388+100	0.00	7	11	13	16.2	22.7	08:07
1388+150	0.00	7	14	18	17.6	22.4	08:10
1388+200	0.00	6	15	21	15.0	22.7	08:13
1388+250	0.00	5	13	20	15.9	22.9	08:16
1388+300	0.00	5	14	18	15.8	23.8	08:19
1388+350	0.00	5	15	19	16.2	23.5	08:22
1388+400	0.00	6	15	20	16.6	23.7	08:25
1388+450	0.00	6	16	19	16.8	23.5	08:27
1388+500	0.00	7	15	18	17.0	24.6	08:30

Fuente: Elaboración propia

De esta misma manera se desarrolló el ensayo de la Viga Benkelman para cada uno de los puntos hasta llegar al último punto del kilómetro, de esa manera poder conocer el comportamiento de la carretera en estudio Puno – Ilave

Para el siguiente cuadro realizamos las deflexiones diales en 0.00cm y 0.25 cm en cada uno de los puntos de la progresiva del siguiente cuadro.

**Tabla III.4**

**Deflexiones de los 500.00 primeros metros y cálculo de deflexiones diales**

PROGRESIVA KM	LECTURA DE VIGA EN DIALES				TEMP. AMBIENTE °C	TEMP. PAVIMENTO °C	HORA	DEFLEXION DIALES	
	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	Lf (Dmáx)				0 cm.	25 cm
1388+000	0.00	6	14	18	15.4	21.2	08:02	18.00	12
1388+050	0.00	6	13	15	15.5	21.4	08:04	15.00	9
1388+100	0.00	7	11	13	16.2	22.7	08:07	13.00	6
1388+150	0.00	7	14	18	17.6	22.4	08:10	18.00	11
1388+200	0.00	6	15	21	15.0	22.7	08:13	21.00	15
1388+250	0.00	5	13	20	15.9	22.9	08:16	20.00	15
1388+300	0.00	5	14	18	15.8	23.8	08:19	18.00	13
1388+350	0.00	5	15	19	16.2	23.5	08:22	19.00	14
1388+400	0.00	6	15	20	16.6	23.7	08:25	20.00	14
1388+450	0.00	6	16	19	16.8	23.5	08:27	19.00	13
1388+500	0.00	7	15	18	17.0	24.6	08:30	18.00	11

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la deflexión dial se realiza una resta de la longitud final que es la deflexión máxima con la deflexión inicial que para el caso es de 0.00

$$\begin{aligned} \text{Deflexión Dial (0.00 cm)} &= 18.00 - 0.00 \\ &= 18.00 \end{aligned}$$

De igual manera para 25.00cm, es la resta entre de la longitud final que es la deflexión máxima con la deflexión a 25.00 cm.

$$\begin{aligned} \text{Deflexion Dial (25.00)} &= 18.00 - 6.00 \\ &= 12.00 \end{aligned}$$

Las deflexiones diales para cada punto se realiza de esa manera en el presente cuadro solamente mostramos para los 500.00 primeros metros.

De la misma manera se presenta el siguiente cuadro de resumen calculando los resultados de las deflexiones.

### 3.3. APLICACIÓN PARA LA PRIMERA UNIDAD DE MUESTRA CON EL MÉTODO PCI

La realización de las tablas de muestreo, se basa en la bibliografía usada, está conformada por las 19 fallas que caracterizan a un pavimento asfáltico, su densidad en porcentaje, su severidad, y su valor de deducción ya explicados en el capítulo anterior. esta tabla se realizó en hojas de cálculo de excel, el trabajo fue de gabinete.

esta etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. esta información se registrara en las tablas de muestreo ya adecuados para tal fin. realizamos el recorrido desde la progresiva 1388+000 a 1388+025, marcando los componentes y unidades de muestreo de la vía, además de a notar los tipos de falla encontrados, y su severidad.

para el trabajo de campo es necesario contar con equipos y herramientas como son:

#### 1. EQUIPOS:

- Cámara fotográfica y de video.

#### 2. HERRAMIENTAS: -

- Wincha
- Fichas de inspección
- Regla o flexometro
- 02 Latas de pintura (roja: para los componentes, blanca, para las unidades muestreo), con brocha.
- Estacas
- Yeso

**Paso 1.** En este primer paso realizamos en inventario de todos los tipos de falla como se muestra en el primer cuadro.

**Tabla III.5.**

**Cuadro de fallas para el cálculo del PCI**

Progresiva	carril	Exudación	Grieta de deflexión	Fisura long. Y transv.	Parche	Ahuellamiento
1388+000-1388+025	D y I	4.50 H	5.50 M	3.00 M	2.50 M	1.00 L
					1.20 L	
					1.50 M	

FUENTE: Elaboración propia

Este inventario se realiza para la primera muestra que comienza desde la progresiva del kilómetro 1388+000 – 1388+025, el cual es en 25.00m, la cantidad de todas las fallas. El inventario de la carretera en estudio, es inventariado a cada 25.00m que comienza en la progresiva del kilómetro 1388+000 hasta la progresiva 1391+000.

**Paso 2.** En el siguiente cuadro calculamos el valor de deducción para ellos se muestra el siguiente cuadro en el cual los cálculos realizados se muestra lo siguiente:

En el presente cuadro mostramos las cantidades de falla, en el cual calculamos la magnitud de falla.

- La suma de estas fallas es según la severidad de cada una de estas
- Calculamos el área en cada progresiva con chutes a cada 25.0 metros.
- Para calcular esta área multiplicamos el ancho de calzada 6.75 por 25.00 igual 168 m<sup>2</sup>
- Para el cálculo de la densidad, realizamos la suma de las áreas de falla para lo cual multiplicamos por cien y esta dividimos por el área del tramo o chute.
- Para el primer caso que es la falla por EXUDACION se determina la DENSIDAD de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{DENSIDAD} &= ((\text{AREA} * 100)/\text{AREA TOTAL}) \\ &= ((4.50 * 100)/168) \\ \text{DENSIDAD} &= 2.68 \end{aligned}$$

**Paso 3.** Determinar el máximo valor deducido corregido (CDV), mediante los siguientes pasos:

- Si ninguno o solamente un valor deducido individual es mayor que dos. El valor total es usado en lugar del máximo CDV.
- Para determinar el PCI; de otro modo, el máximo CDV debe ser determinado usando el procedimiento descrito en 3.2. – 3.5.
- Crear una lista de valores deducidos individuales en orden descendente. Por ejemplo, en la tabla anterior esta lista será 16.00, 14.00, 11.00, 6.00, 5.00 y 2.00.
- Determinar el número de deducciones permisibles, “m”, o empleando la siguiente fórmula (ver Ec.):

$$m_1 = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV)$$

Dónde:

$m_1$ : Número máximo admisible de “valores deducidos”, incluyendo fracción, para la unidad de muestreo.

HDV: El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo.

$$m_1 = 1.00 + (9/98) (100 - 16.00) = 8.71$$

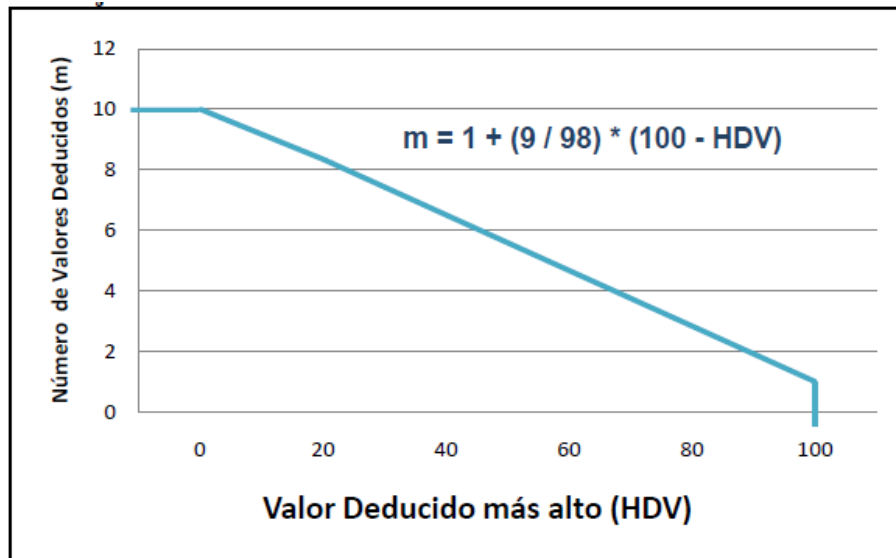
- El número de valores deducidos individuales es reducido al máximo admisible de valores deducidos “m”, incluyendo su parte fraccionaria. Los valores son 16.00, 14.00, 11.00, 6.00, 5.00 y 1.80 (el valor 1.80 es obtenido multiplicando 2.00 por 0.9).

Si contamos con un número de valores deducidos menor a “m”, todos los valores



**Figura III.1**

Ajuste del número de valores deducidos de “m”



**FUENTE:** Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03.

Para el cálculo del VALOR DEDUCIDO, es colocar los números en orden ascendente los tipos de fallas como es el caso de 16.00 hasta 1.80, para ellos aplicamos el valor de deducción de la siguiente manera:

**Tabal III.6**

**Cuadro de cálculo del índice de condición del pavimento**

#	VALOR DEDUCIDO							TOTAL
1	16.00	14.00	11.00	6.00	5.00	1.80		53.80
2	16.00	14.00	11.00	6.00	5.00	2.00		54.00
3	16.00	14.00	11.00	6.00	2.00	2.00		51.00
4	16.00	14.00	11.00	2.00	2.00	2.00		47.00
5	16.00	14.00	2.00	2.00	2.00	2.00		38.00
6	16.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00		26.00

**FUENTE:** Elaboración Propia

- Determinar el máximo valor deducido corregido (CDV) en forma iterativa como se muestra.
- Determinar el valor deducido total (CDT) mediante la suma de los valores deducidos individuales. El valor deducido total que se obtiene de la suma es 53.80.

De la misma manera se obtiene el CDV, el cual resulta un valor de 28.80 que es el valor máximo, de la misma manera se calcula para todos los totales iterados sus CDV, con sus respectivos “q”.

De los resultados obtenidos se busca el valor más alto que en este caso para el ejemplo del primer chuteo es 28.80.

La condición real, es cuando el pavimento de la carretera es como si estuviera en condiciones Excelentes, razón por la cual el dato es 100.00.

Obtenido esos resultados, dará origen a conocer la condición del Pavimento haciendo una resta de la condición real con MAX CDV, obteniendo el PCI de 71.20, con lo que este pequeño tramo de 25.00 metros está clasificado como MUY BUENO.

**Tabla III.7**

**Cuadro de cálculo del índice de condición del pavimento**

TOTAL	q	CDV	MAX CDV	CONDICION REAL	PCI	
53.80	5	24.60				
54.00	5	24.80				
51.00	4	26.80				
47.00	3	28.80	28.80	100	71.20	MUY BUENO
38.00	2	28.00				
26.00	1	26.00				

**FUENTE:** Elaboración propia

### 3.4. Aplicación del rugosímetro de merlin

El Rugosímetro MERLÍN es un equipo pensado especialmente para uso de países en vías de desarrollo, su diseño es versátil y sencillo. Fue desarrollado por el Laboratorio de Investigaciones de Transportes y Caminos de Inglaterra (TRRL) como una variación de un perfilómetro estático y debido a la exactitud de sus resultados es calificado como un método Clase I.

Para facilidad de desplazamiento y operación el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el otro elemento vertical tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo. El elemento horizontal se proyecta hacia la parte trasera con dos manijas que permiten levantar y movilizar el equipo sobre la rueda en forma similar a una carretilla. En la parte central del elemento horizontal se proyecta hacia abajo una barra.

Vertical que no llega al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil. El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el piso, mediante un patín empernado y ajustable, el cual se adecua a las imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo a la posición que adopta del extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento. La relación de brazos entre los segmentos extremo inferior del patín móvil – pivote y pivote – puntero es 1 a 10, de manera que un movimiento vertical del extremo inferior del patín móvil de 1 mm, produce un desplazamiento de 1 cm del puntero.

Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones de 5 mm de espesor cada una que va adherida en el borde del tablero sobre el cual se desliza el puntero, como muestra la siguiente figura.

Figura III.2

Estructura de un pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

### Calculo de la rugosidad y de psi

Se define un histograma de distribución de frecuencias de las 200 mediciones, descartando 10 medidas en los extremos que son poco representativas, para posteriormente establecer el valor  $d$  (expresada en milímetros, rugosidad del pavimento en unidades merlín). para expresar el valor  $d$  en milímetros se multiplica el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad (5mm).

Luego de determinar el valor  $D$ , usamos las ecuaciones de relación con la escala IRI, establecidas por el TRRL:

$$IRI = 0.593 + 0.0471 D$$

Cuando:  $2.40 < IRI < 15.90$

$$IRI = 0.0485 D$$

Cuando:  $IRI < 2.40$

Estas dos ecuaciones fueron desarrolladas para una condición de relación de brazos de rugosímetro de 1 a 10, esta relación en la práctica suele variar y depende del desgaste que experimenta el patín del brazo móvil del instrumento. Entonces se determina un Factor de Corrección que permita llevar los valores a condiciones estándar.

Para determinar el factor de corrección se hace uso de un pequeño rectángulo de acero de aproximadamente 4 cm de largo, 2 cm y 6.20 mm de espesor y se procede de la siguiente manera:

1. Se determina el espesor del rectángulo en décimas de milímetro, siendo el espesor es de 6.20 mm.
2. Se coloca el rugosímetro en una superficie plana y se efectúa la lectura que corresponde a la posición que adopta el puntero cuando el patín móvil se encuentra sobre el piso que es de 25. Se levanta el patín y se coloca el rectángulo de calibración debajo de él, apoyándola sobre el piso. Esta acción hace que el puntero sobre el tablero se desplace, asumiendo una relación de brazos de 1 a 10, una distancia igual al espesor del disco multiplicado por 10 es 6.20 mm (6.2\*10), lo que significa, considerando que cada casillero mide 5 mm, el puntero se encuentra entre el casillero 12 y 13, asumiendo 12.50. Si la relación de brazos del equipo sea igual a la asumida. Como no sucedió esto se halla el factor de corrección mediante la siguiente expresión:

$$FC = (EP * 10) / [(LI - LF) * 5]$$

Dónde:

EP | : Espesor del rectángulo

LI : Posición inicial del puntero

LF : Posición final del puntero

Entonces:

$$FC = (6.20 * 10) / [(25 - 12.50) * 5]$$

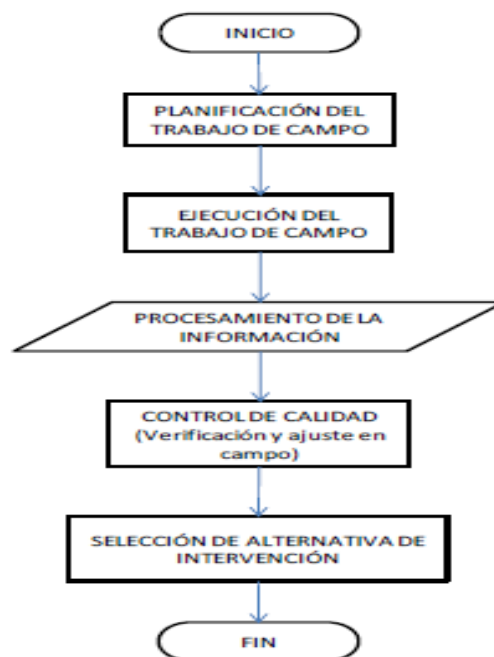
$$FC = 0.992$$

### 3.5. Propuesta de técnicas para evaluación superficial de pavimentos

Considerando que el hombre recibe la mayor parte de la información del mundo exterior mediante “cono visual”, además la inmensa mayoría de experimentos y ensayos realizados sobre materiales nos proporcionan sus resultados en última instancia, en forma óptica. Esta información es, generalmente indirecta. La vista puede proporcionarnos información de primera mano inalcanzable con otros medios como es la percepción del color, de la forma, la definición de la imagen, la sensación del relieve. Otras características del ojo humano: vista + capacidad mental (interpretación) + intuición.

Sin embargo debe quedar claro que hay una diferencia radical entre VER y MIRAR. Para ver, es preciso no solo mirar, sino mirar adecuadamente conforme a una técnica específica donde el evaluador o personal que realiza labores de relevamiento de la información de campo, debe contar con abundante conocimiento sobre el comportamiento del pavimento y los agentes influyentes en el deterioro de la misma, con la cual se garantizara guiar la interpretación visual en los muchos casos en que sea ambigua.

Figura III.3  
Diagrama de flujo del procedimiento de evaluación



Fuente: Elaboración propia

### 3.4.1. Planificación del trabajo de campo.

En esta fase primordial, se planifica las actividades necesarias que se debe realizar en campo. La recolección de información brinda tres importantes propósitos para el proceso de evaluación y estudio de los deterioros superficiales que se presentan en una carretera:

1. Brinda información cualitativa requerida para determinar los tipos de deterioro encontrados en la vía y clasificarlos según la metodología ESBVT, en deterioros de estructura y de superficie.
2. Proporciona la información cuantitativa requerida para la evaluación en gabinete de las cantidades, índices de deterioro, frecuencias, estado de la vía.
3. Permite realizar comparaciones y correlaciones del estado de la vía con otros parámetros medidos en el estudio de rehabilitación y mantenimiento de carreteras, como el Índice de Rugosidad IRI, Deflexiones, etc.

Figura III.4  
Diagrama de flujo del procedimiento de evaluación



Fuente: Elaboración propia

Todos los datos que se obtengan deberán ser analizados de manera cuidadosa y sistemática. Los procedimientos para ello, variarán de un pavimento a otro, dependiendo de los hallazgos durante el proceso de recolección de la

información. La obtención de datos producto del estudio de fallas del tramo estudiado tiene como objetivos:

- a) Delimitar zonas de diferente comportamiento a lo largo del proyecto.
- b) La inspección periódica de la superficie del pavimento brinda datos sobre la progresión de los daños, aplicables a los modelos de administración del mantenimiento.
- c) Los diversos tipos de fallas suelen estar relacionados con determinados mecanismos de deterioro. Aquellos que básicamente están asociados a la acción de las cargas del tránsito, exigen trabajos de rehabilitación con fortalecimiento estructural, en tanto que los asociados a los materiales y el clima deben enfrentarse, ante todo, buscando remediar las causas de dichas deficiencias o minimizando el impacto sobre el comportamiento del pavimento. Es evidente, sin embargo, que algunos problemas muy severos motivados en los materiales o aspectos ambientales, pueden exigir la reconstrucción del pavimento.
- d) Por último el resultado del inventario visual es la base de una programación idónea de los trabajos posteriores de evaluación destructiva y no destructiva de la calzada.

#### **3.4.2. Procedimiento para recolección de datos en el terreno.**

Existen diversos métodos en la etapa del inventario de los deterioros de los pavimentos, pero el principio de registro es similar, y corresponde a la calificación de cada muestra, según los catálogos de defectos superficiales de cada uno de ellos.

Dadas las limitaciones que implica el registro en papel de los defectos, especialmente en tramos de muestreo largo, han llevado a que diversas agencias viales automaticen el proceso, mediante el uso de computadores portátiles en donde es posible agilizar el registro.



Generalmente se usa el método visual en las carreteras en la etapa de elaboración de los estudios para la rehabilitación de sus pavimentos.

Con la finalidad de facilitar la recolección de la información correspondiente al inventario de los deterioros del pavimento, el procesamiento y su posterior análisis, se presenta para el registro de los deterioros en campo en la figura III.6, la planilla de recolección de datos de campo para la evaluación superficial con el método ESBVT, el cual incluye una parte para el registro de los datos y otra parte para la representación gráfica de los deterioros, con lo cual se podrá tener una visión clara del comportamiento que presenta el pavimento a nivel superficial; de igual forma, la información registrada puede ser utilizada en el procesamiento y en el diagnóstico de los deterioros presentes en el pavimento básico.

El procedimiento para la recolección de datos involucra un recorrido a pie, realizando la inspección visual del estado del pavimento, paralelamente al cual se deberá realizar el llenado de la planilla de recolección de datos de campo, el registro gráfico en este formato se deberá realizar mediante un croquis, con las simbologías correspondientes a cada tipo de defecto superficial que se indica en el formato.

Para adelantar este proceso de registro se deberán tener en cuenta los criterios de medición que se presentan a continuación, así como, las pautas para el llenado adecuado de los formatos estandarizados con los datos necesarios para la correcta definición del estado global del pavimento.

Los reportes sobre los deterioros que se presenten en los pavimentos, deberán servir para determinar el Índice de Deterioro superficial "Is" de una manera adecuada.

## CAPITULO IV

### PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo, el tema de Evaluación Estructural del Pavimento Flexible será discutido con los datos obtenidos e interpretados mediante gráficos en el cual se observara los resultados obtenidos mediante los métodos aplicados como: Índice del Condición Del Pavimento, el Rugosimetro Merlin y la Viga Benkelman, estos resultados darán la situación real en el cual se encuentra la carretera Puno – Ilave.

Para la interpretación de los resultados de la evaluación de la carretera Puno – Ilave, para lo cual utilizaremos las diferentes formas de interpretación de los resultados por todos los resultados obtenidos.

Se harán los recuentos en forma de gráficos, los datos recogidos del campo para poderlos trabajar en gabinete, lo cual daremos a conocer el comportamiento estructural de la carretera.

Para la interpretación de la mejor manera y poder obtener los datos para así poder graficar de la manera más eficiente, entendible e interpretable, los datos de muestreo serán separados por kilómetros. La cantidad total de la carretera en evaluación es de un total de 3 kilómetros, para lo cual se graficara en tres partes, de tal manera de cada una de las muestras salga un resultado final de la condición del pavimento en estudio, al final de este resultado se promediara los tres resultados y al final se sacara un resultado el cual indicara el resultado final mediante este método.

#### **4.1. Resultados obtenidos del índice de condición del pavimento**

De cuadro en el cual se realizó la evaluación mediante el índice de condición del pavimento se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla IV.1**  
**Número total de fallas según su tipo**

<b>N° DE FALLAS SEGÚN SU TIPO</b>		
<b>FALLA</b>	<b>TIPO DE FALLA EN PAVIMENTO FLEXIBLE</b>	<b>N° DE FALLAS</b>
1	PIEL DE COCODRILO	63
2	EXUDACION	16
3	GRIETAS DE DEFLEXION	17
4	FISURAS DE BORDE	23
5	FISURA LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL	209
6	PARCHES	67
7	BACHES	4
8	AHUELLAMIENTO	49
9	HINCHAMIENTO	43
10	HABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO	51
<b>TOTAL</b>		<b>542</b>

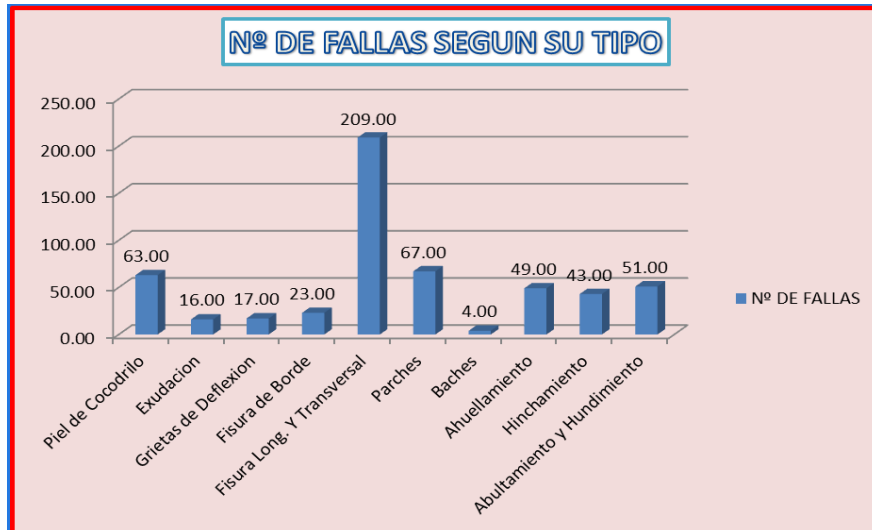
Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados nos da un total de 542 fallas en todo el tramo 1388+000 al 1391+000 de la vía, y la falla que se presenta en mayor cantidad son las Grietas longitudinales y transversales con un número de 209.00 en total.

En el grafico siguiente se puede observar las siguientes fallas según su tipo y su cantidad existente en la vía en estudio.

**Figura IV.1**

Representación de número total de fallas según su tipo

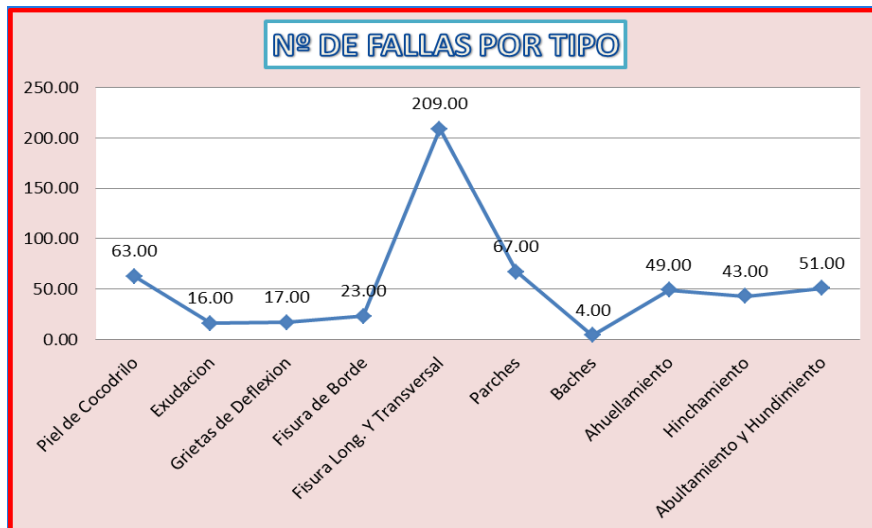


Fuente: Elaboración propia.

Se pueden observar en los gráficos que los picos más altos se dan en las fallas de Grietas Longitudinales y Transversales y como en la falla parches.

**Figura IV.2**

Representación del tipo de falla más alto



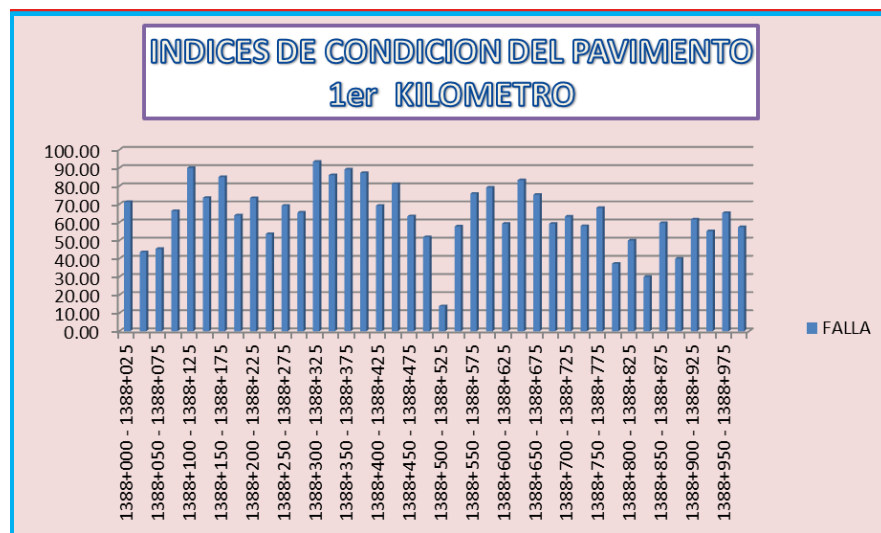
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1. Resultados obtenidos por unidades de muestra con número de fallas

El tramo en estudio se clasifico en 40 unidades de muestra en 1.00 kilómetro, cada una de 25 m., cabe indicar también que son 3.00 kilómetros siendo cada una inspeccionada se obtuvieron un número total de fallas existentes, para estos resultados los gráficos serán por kilómetro, los cuales se especifican en los anexos.

Figura IV.3

Representación de los índices de condición del pavimento



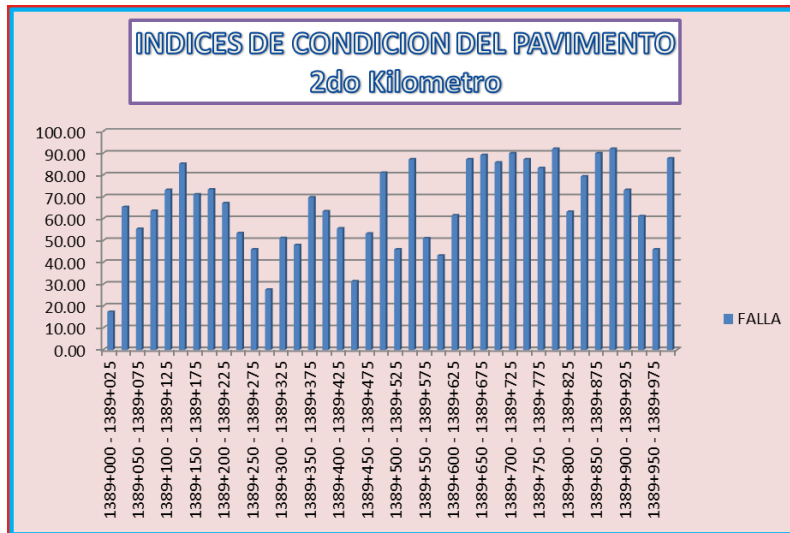
Fuente: Elaboración propia.

Según el grafico anterior podemos decir que en el kilómetro 1388+300 - 1388+325 existen 93.40 de falla, según lo indica que este tiene una condición de Excelente, también podemos indicar que en el kilómetro de 1388+500 - 1388+525, existe un mínimo de 13.80 de falla lo que indica una condición de muy Mala.

Realizada la evaluación al primer kilómetro el cual según la condición es Muy Buena porque el índice de condición del pavimento tiene un cantidad de 71.20 de falla, el estudio de cada una de las progresivas se realizó de esa manera para poder obtener el índice de cada una de las progresivas y de esa manera saber la condición real en el que se encuentra la carretera en estudio.

Figura IV.4

Representación de los índice de condición del pavimento



Fuente: Elaboración propia

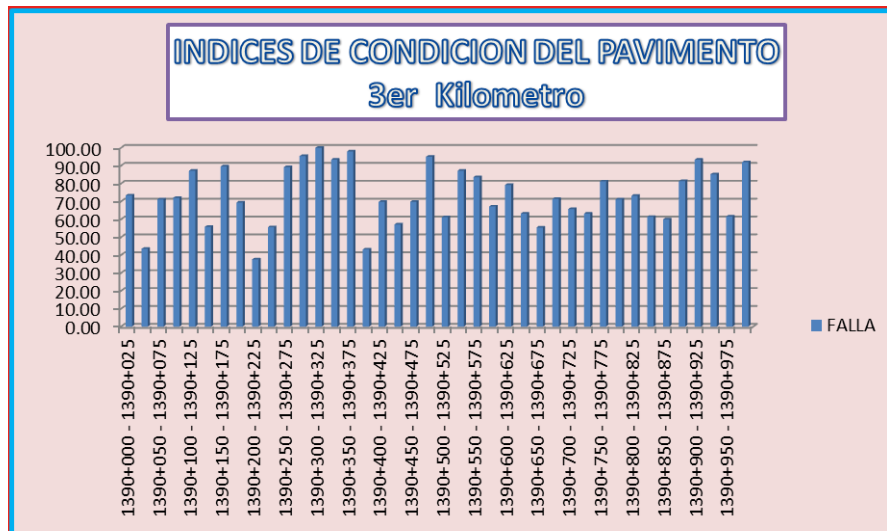
Según el grafico anterior podemos decir que en el kilómetro 1389+775 - 1389+800 existen 92.00 de falla, según lo indica que este tiene una condición de Excelente, también podemos indicar que en el kilómetro de 1389+000 - 1389+025, existe un mínimo de 17.40 de falla lo que indica una condición de Muy Mala.

En la progresiva, 1389+000 - 1389+025 se tiene los tipos de falla como: Piel de Cocodrilo, Fisura Longitudinal y Transversal, Parches, Ahuellamiento, hinchamiento y abultamiento hundimiento, estos tipos de fallas están con una severidad de Medio (M) y Bajo (L), también indicaremos que en esta progresiva se ha presentado una mayor cantidad de numero de fallas es la razón por la cual la condición del pavimento es Muy Mala.

En otra parte de la progresiva 1389+775 - 1389+800, se cuenta con las fallas Fisura Longitudinal y Transversal con una severidad de Bajo (L), Y la falla de tipo Parche con una severidad de Bajo (L), el cual indica una condición del pavimento de manera excelente de esa manera se realiza la evaluación.

Figura IV.5]

Representación de los índice de condición del pavimento



Fuente: Elaboración propia

Según el grafico anterior podemos decir que en el kilómetro 1390+200 - 1390+225 existen 37.60 de falla, según lo indica que este tiene una condición de Mala, también podemos indicar que en el kilómetro de 1390+300 - 1390+325, existe un mínimo de 100.00 de falla lo que indica una condición de Excelente.

Los niveles más altos y bajos serán interpretados la condición que tienen de Mala y Excelente. En la progresiva que corresponde la progresiva 1390+200 - 1390+225, de la carretera Puno – llave, cuenta con una condición de Mala la razón es porque en esta progresiva se tiene las fallas como Piel de Cocodrilo, Fisura Longitudinal Trasversal, Ahuellamiento, Hinchamiento y Abultamiento Hundimiento con severidades de Medio (M) y Bajo (L).

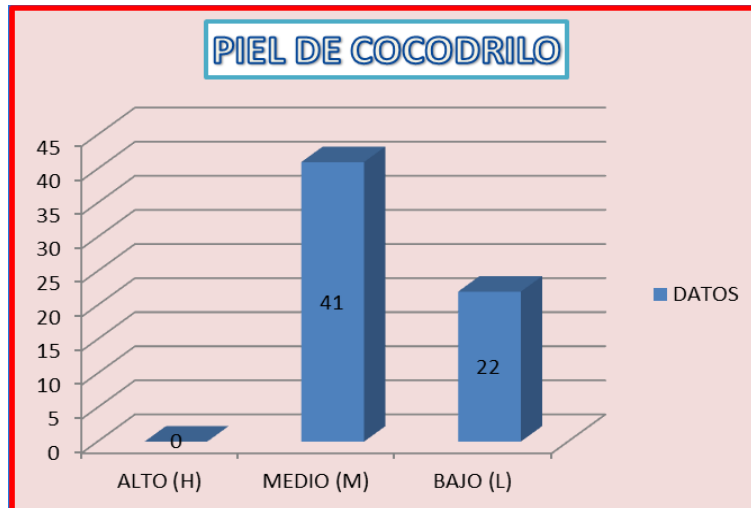
Las condiciones del pavimento indican de manera Excelente, la progresiva 1390+300 - 1390+325, el cual tiene como fallas Fisura Longitudinal Trasversal con una severidad de Bajo (L), el cual no tiene mucha incidencia para repercutir en la condición del pavimento, para lo cual realizada la evaluación se han utilizado de manera correcta los monogramas para el cálculo de los valores deducidos según severidad de cada falla.

#### 4.1.2. Resultados obtenidos por tipo de falla y severidad:

El grado de severidad que existe en mayor cantidad sea la severidad media

**Figura IV.6**

Severidad de la falla piel de cocodrilo

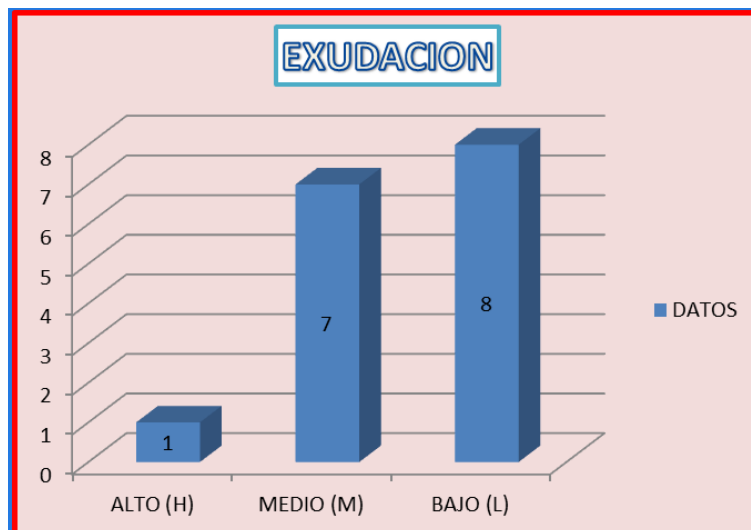


Fuente: Elaboración propia

El grado de severidad de la falla por exudación que existe en mayor cantidad es de severidad baja con un numero de 8.00 fallas, también se tiene en la misma falla la severidad media con un numero de 7.00 fallas, en este tipo de falla también se cuenta con 1.00 unidad de falla el cual es de una severidad alta.

**Figura IV.7**

Severidad de la falla exudación



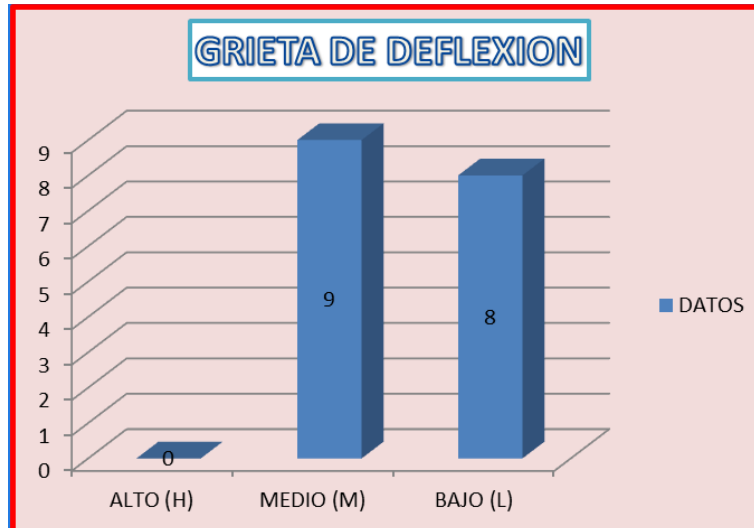
Fuente: Elaboración propia



En este tipo de falla que es denominado Grieta de Deflexión se un total de 9.00 fallas con una severidad de medio, al mismo tiempo se cuenta con una severidad de baja con 8.00 fallas.

**Figura IV.8**

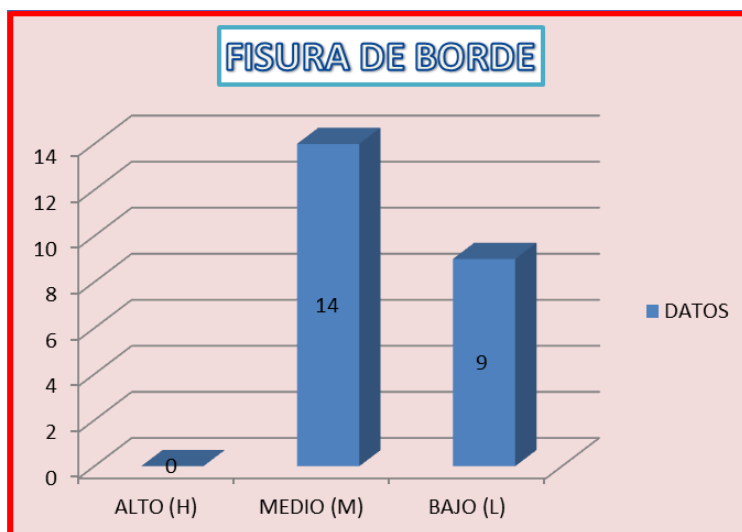
Severidad de la falla deflexion



Fuente: Elaboración propia

La falla por fisura de borde tiene una incidencia con una severidad de Medio (M), con una cantidad de 14.00 de falla, también se cuenta con una severidad de Bajo (L) con una cantidad de 9.00 de falla. Este tipo falla tiene mayor incidencia en la severidad Medio, se realizó una verificación de acuerdo a los datos obtenidos, la razón es porque los vehículos salen de la calzada para recoger o dejar pasajero.

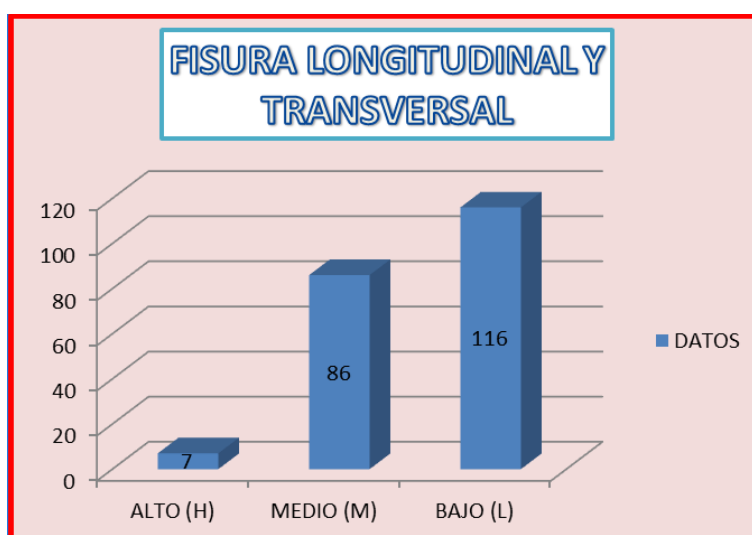
**Figura IV.9**  
**Severidad de la falla fisura de borde**



Fuente: Elaboración propia

Podemos obtener que la severidad Bajo (L) tiene una cantidad de 116.00 de falla, también se tiene la severidad Medio (M) con 86.00 de falla, en este tipo de falla se tiene la severidad Alto (H) con 7.00 de falla, este es la falla con mayor cantidad.

**Figura IV.10**  
**Severidad de la falla fisura longitudinal y transversal**

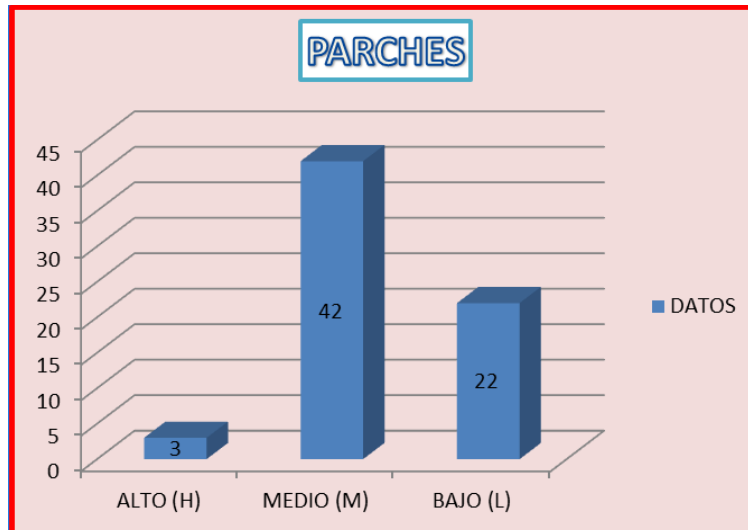


Fuente: Elaboración propia

El estudio realizado para el cálculo del índice de condición del pavimento, se demuestra con las severidades de Alto (H) con 3.00 de falla, también se tiene severidad Medio (M) con 42.00 de falla, se muestra también el nivel Bajo (L) con 22.00 de falla.

**Figura IV.11**

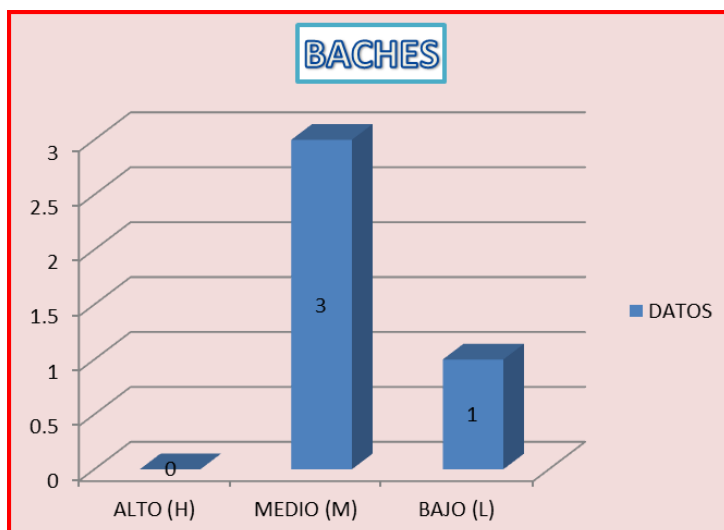
Severidad de la falla parches



Fuente: Elaboración propia

La severidad en este tipo de falla es Medio (M) con 3.00 de falla, también se tiene la severidad Bajo (L) con 1.00 de falla, la cantidad de este tipo de falla a un es insignificante por eso se muestra el siguiente gráfico.

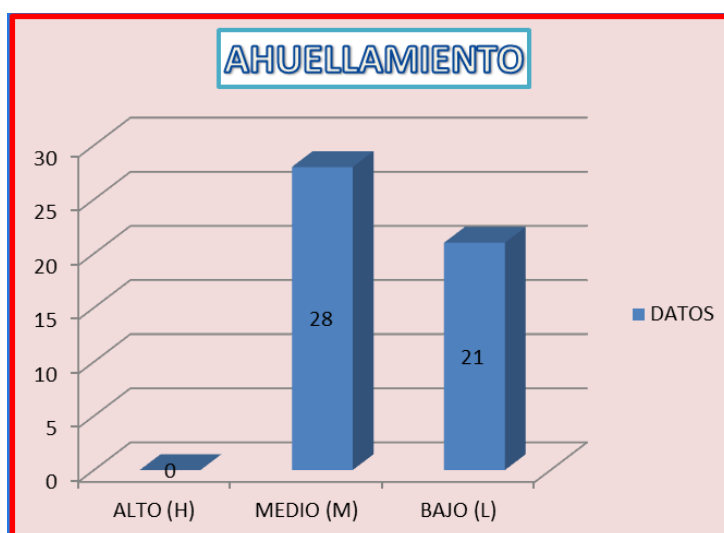
**Figura IV.12**  
**Severidad de la falla baches**



Fuente: Elaboración propia

La falla por Ahuellamiento que tiene severidad Medio (M) con 28.00 de falla, lo mismo se tiene con la severidad de Bajo (L) con 21.00 de falla.

**Figura IV.13**  
**Severidad en el ahuellamiento**

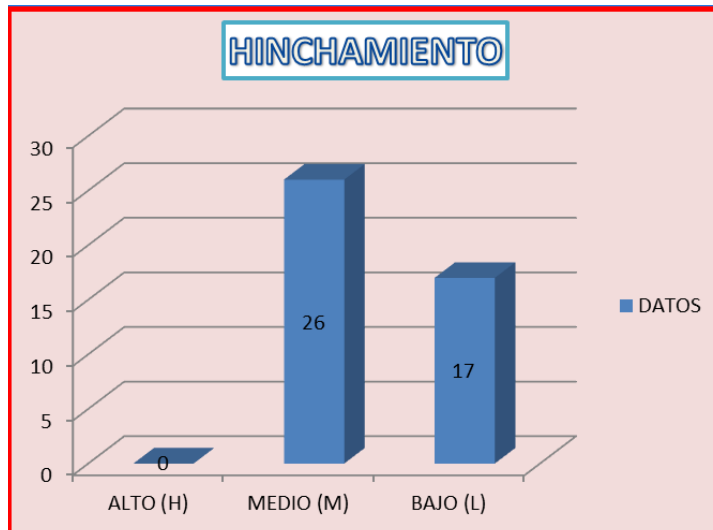


Fuente: Elaboración propia

Podemos obtener que según la severidad Media (M) con 26.00 de falla, también se tiene la severidad de Bajo (L) con 17.00 de falla, en este tipo de

falla tiene el Nivel Medio con mayor número de falla, lo que indica es que aumante de Medio a Alto (H).

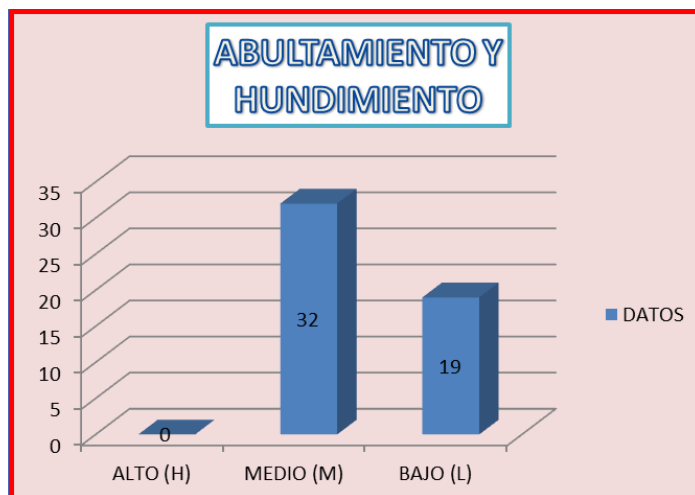
**Figura IV.14**  
**Severidad de la falla hinchamiento**



Fuente: Elaboración propia

Las fallas en la carretera Puno – llave de las diferentes fallas que se tiene como abultamiento y hundimiento también en este tipo de falla la severidad es Medio (M) es de mayor consideración.

**Figura IV.15**  
**Severidad de la falla abultamiento y hundimiento**



Fuente: Elaboración propia

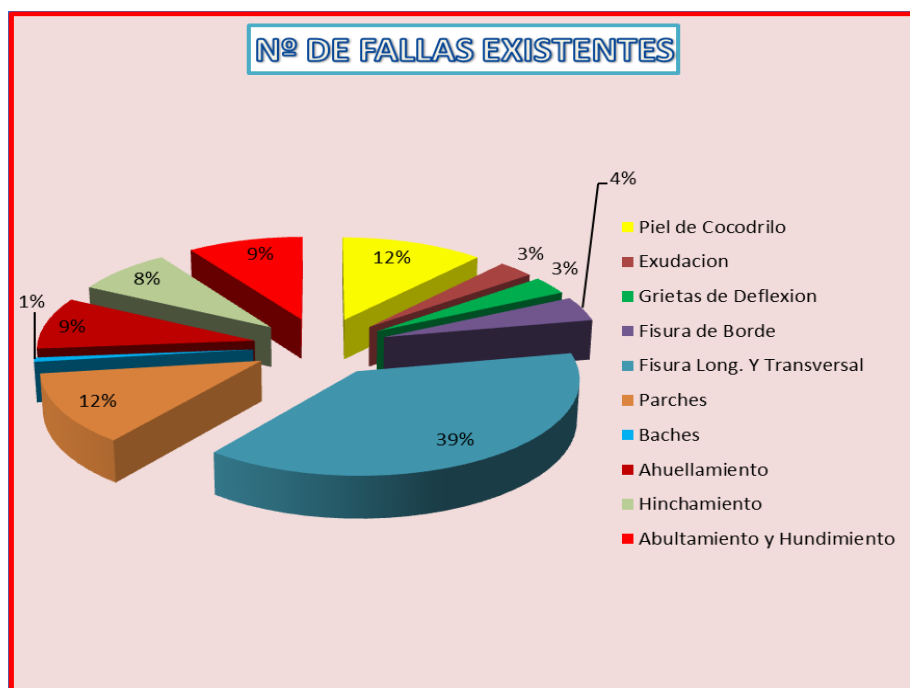
#### 4.1.3. Resultados obtenidos de acuerdo a su incidencia

Finalmente en el cuadro siguiente se pueden obtener solo las fallas y sus porcentajes de incidencia de cada una de las fallas.

En el grafico que se muestra se puede observar que el 39% de fallas son de grietas longitudinales y transversales, el 12% es de Parches, el 9% es de Ahuellamiento al mismo tiempo con el mismo porcentaje de falla esta abultamiento y hundimiento y el 12% de piel de cocodrilo y así se tiene las diferentes fallas, con su respectivo porcentaje de falla.

Al momento de hacer el estudio en la carretera Puno – Ilave, se verifico que existía las fallas mencionadas, para lo cual indicamos que se muestra que son de severidad Media (M), lo que mas adelante con el transito diario por esta carretera seguirá incrementando los otros tipos de falla que en esta evaluación no mencionamos, también indicamos que se un Nivel Medio para a un nivel alto.

**Figura IV.16**  
**Representación de las incidencias de cada falla**



Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Resultados obtenidos de acuerdo al cálculo del pci:

Tabla IV.2

Resumen de los PCI 1er kilometro

<b>PROGRESIVA</b>	<b>PCI</b>	
1388+000 - 1388+025	71.20	MUY BUENO
1388+025 - 1388+050	43.60	REGULAR
1388+050 - 1388+075	45.40	REGULAR
1388+075 - 1388+100	66.30	BUENO
1388+100 - 1388+125	90.00	EXCELENTE
1388+125 - 1388+150	73.50	MUY BUENO
1388+150 - 1388+175	85.00	EXCELENTE
1388+175 - 1388+200	63.90	BUENO
1388+200 - 1388+225	73.40	MUY BUENO
1388+225 - 1388+250	53.60	REGULAR
1388+250 - 1388+275	69.20	BUENO
1388+275 - 1388+300	65.40	BUENO
1388+300 - 1388+325	93.40	EXCELENTE
1388+325 - 1388+350	86.00	EXCELENTE
1388+350 - 1388+375	89.20	EXCELENTE
1388+375 - 1388+400	87.20	EXCELENTE
1388+400 - 1388+425	69.20	BUENO
1388+425 - 1388+450	81.20	MUY BUENO
1388+450 - 1388+475	63.40	BUENO
1388+475 - 1388+500	51.80	REGULAR
1388+500 - 1388+525	13.80	MUY MALO
1388+525 - 1388+550	57.80	BUENO
1388+550 - 1388+575	75.80	MUY BUENO
1388+575 - 1388+600	79.20	MUY BUENO
1388+600 - 1388+625	59.20	BUENO
1388+625 - 1388+650	83.20	MUY BUENO
1388+650 - 1388+675	75.20	MUY BUENO
1388+675 - 1388+700	59.20	BUENO
1388+700 - 1388+725	63.20	BUENO
1388+725 - 1388+750	58.00	BUENO
1388+750 - 1388+775	68.00	BUENO
1388+775 - 1388+800	37.20	MALO
1388+800 - 1388+825	50.00	REGULAR
1388+825 - 1388+850	30.00	MALO
1388+850 - 1388+875	59.60	BUENO
1388+875 - 1388+900	40.00	REGULAR
1388+900 - 1388+925	61.60	BUENO
1388+925 - 1388+950	55.20	BUENO
1388+950 - 1388+975	65.20	BUENO
1388+975 - 1389+000	57.40	BUENO
<b>PROMEDIO</b>	<b>64.27</b>	<b>BUENO</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV.3  
RESUMEN DE LOS PCI 2do KILOMETRO

CALCULO DEL SEGUNDO KILOMETRO DEL PCI		
PROGRESIVA	PCI	
1389+000 - 1389+025	17.40	MUY MALO
1389+025 - 1389+050	65.40	BUENO
1389+050 - 1389+075	55.40	BUENO
1389+075 - 1389+100	63.60	BUENO
1389+100 - 1389+125	73.20	MUY BUENO
1389+125 - 1389+150	85.20	EXCELENTE
1389+150 - 1389+175	71.20	MUY BUENO
1389+175 - 1389+200	73.40	MUY BUENO
1389+200 - 1389+225	67.20	BUENO
1389+225 - 1389+250	53.40	REGULAR
1389+250 - 1389+275	46.00	REGULAR
1389+275 - 1389+300	27.60	MALO
1389+300 - 1389+325	51.20	REGULAR
1389+325 - 1389+350	48.00	REGULAR
1389+350 - 1389+375	69.80	BUENO
1389+375 - 1389+400	63.40	BUENO
1389+400 - 1389+425	55.60	BUENO
1389+425 - 1389+450	31.40	MALO
1389+450 - 1389+475	53.20	REGULAR
1389+475 - 1389+500	81.10	BUENO
1389+500 - 1389+525	46.00	REGULAR
1389+525 - 1389+550	87.20	MUY BUENO
1389+550 - 1389+575	51.10	REGULAR
1389+575 - 1389+600	43.20	REGULAR
1389+600 - 1389+625	61.60	BUENO
1389+625 - 1389+650	87.60	MUY BUENO
1389+650 - 1389+675	89.20	EXCELENTE
1389+675 - 1389+700	85.80	EXCELENTE
1389+700 - 1389+725	90.00	EXCELENTE
1389+725 - 1389+750	87.20	EXCELENTE
1389+750 - 1389+775	83.20	EXCELENTE
1389+775 - 1389+800	92.00	EXCELENTE
1389+800 - 1389+825	63.20	BUENO
1389+825 - 1389+850	79.40	MUY BUENO
1389+850 - 1389+875	90.00	EXCELENTE
1389+875 - 1389+900	92.00	EXCELENTE
1389+900 - 1389+925	73.20	MUY BUENO
1389+925 - 1389+950	61.20	BUENO
1389+950 - 1389+975	46.00	REGULAR
1389+975 - 1390+000	87.60	MUY BUENO
<b>PROMEDIO</b>	<b>66.24</b>	<b>BUENO</b>

Fuente: Elaboración propia



Tabla IV.4

RESUMEN DE LOS PCI 3er KILOMETRO

CALCULO DEL SEGUNDO KILOMETRO DEL PCI		
PROGRESIVA	PCI	
1390+000 - 1390+025	73.40	MUY BUENO
1390+025 - 1390+050	43.50	REGULAR
1390+050 - 1390+075	71.20	MUY BUENO
1390+075 - 1390+100	72.00	MUY BUENO
1390+100 - 1390+125	87.20	EXCELENTE
1390+125 - 1390+150	55.80	BUENO
1390+150 - 1390+175	89.60	MUY BUENO
1390+175 - 1390+200	69.40	BUENO
1390+200 - 1390+225	37.60	MALA
1390+225 - 1390+250	55.60	BUENO
1390+250 - 1390+275	89.20	EXCELENTE
1390+275 - 1390+300	95.40	EXCELENTE
1390+300 - 1390+325	100.00	EXCELENTE
1390+325 - 1390+350	93.40	EXCELENTE
1390+350 - 1390+375	98.00	EXCELENTE
1390+375 - 1390+400	43.20	REGULAR
1390+400 - 1390+425	69.80	BUENO
1390+425 - 1390+450	57.10	BUENO
1390+450 - 1390+475	69.80	BUENO
1390+475 - 1390+500	95.00	EXCELENTE
1390+500 - 1390+525	61.20	BUENO
1390+525 - 1390+550	87.20	EXCELENTE
1390+550 - 1390+575	83.60	MUY BUENO
1390+575 - 1390+600	67.20	BUENO
1390+600 - 1390+625	79.20	MUY BUENO
1390+625 - 1390+650	63.20	BUENO
1390+650 - 1390+675	55.40	BUENO
1390+675 - 1390+700	71.40	MUY BUENO
1390+700 - 1390+725	65.80	BUENO
1390+725 - 1390+750	63.20	BUENO
1390+750 - 1390+775	81.20	MUY BUENO
1390+775 - 1390+800	71.20	MUY BUENO
1390+800 - 1390+825	73.20	MUY BUENO
1390+825 - 1390+850	61.40	BUENO
1390+850 - 1390+875	60.00	BUENO
1390+875 - 1390+900	81.40	MUY BUENO
1390+900 - 1390+925	93.40	EXCELENTE
1390+925 - 1390+950	85.20	EXCELENTE
1390+950 - 1390+975	61.60	BUENO
1390+975 - 1391+000	92.00	EXCELENTE
<b>PROMEDIO</b>	<b>73.11</b>	<b>MUY BUENO</b>

Fuente: Elaboración propia

Realizada la evaluación por Progresivas como muestras, la carretera Puno – Ilave se dividió en tres kilómetros, para lo cual se tiene el primer cuadro en ello indica que el primer kilómetro tiene una condición Buena con 64.27 de índice de condición del pavimento. De la misma manera el segundo kilometro indica una condición de Buena con 66.24 de índice de condición del pavimento.

El tercer kilometro indica una condición de Muy Buena con 73.11 de índice de condición del pavimento, divido estos tres resultados indicamos que la condición de la carretera Puno – Ilave tiene una condición de Buena con 67.87 de índice de condición del pavimento.

La descripción del pavimento según la escala de condición del pavimento AASHO, 1962. Con este resultado interpretaremos la condición buena, de la misma manera la circulación del tránsito es cómoda, con fallas insipientes como: depresiones debidas a pequeñas deformaciones, defectos y/o agrietamientos de la superficie intermitentes (bajo o moderado) se requiere acciones de mantenimiento rutinario pero periódico.

#### **4.2. RESULTADOS OBTENIDOS DEL INDICE DE SERVICIO PRESENTE. RUGOSIMETRO MERLIN,**

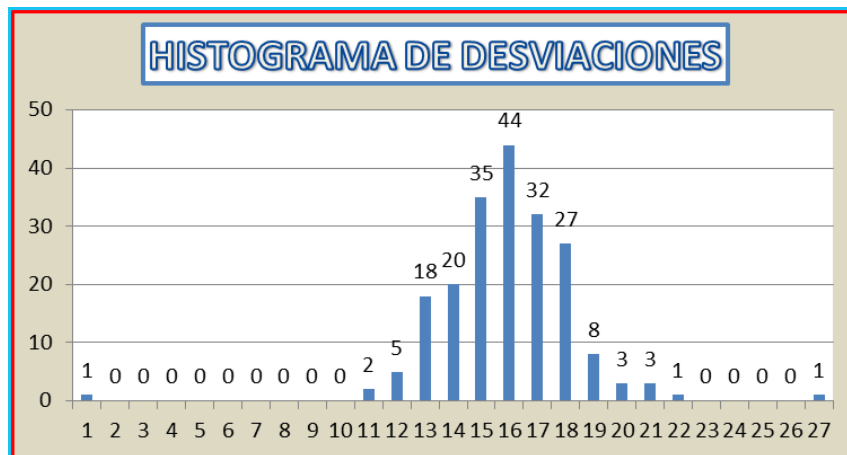
El método para el cálculo de la rugosidad en la estructura del pavimento flexible de la carretera Puno – Ilave, para ello se ha empleado el Rugosimetro Merlin, para lo cual interpretaremos los datos obtenidos.

##### **4.2.1. Análisis Estadístico**

Para el kilómetro 1388+000-1388+400, se obtenido 200.00 datos de los cuales de ambos extremos se descartan los más bajos en cantidad y se trabaja con los más altos para el cálculo del índice rugosidad internacional (IRI) el cual nos indica que es 2.15 con el dato obtenido calculamos el índice de servicio presente (PSI) es 3.00, obtenido este dato podemos indicar lo la serviciabilidad de BUENO.

La serviciabilidad de grado BUENO, indica que es una carretera en el cual van iniciándose las fisuras longitudinales y transversales, los parches, etc. De más fallas van apareciendo a lo largo de la carretera.

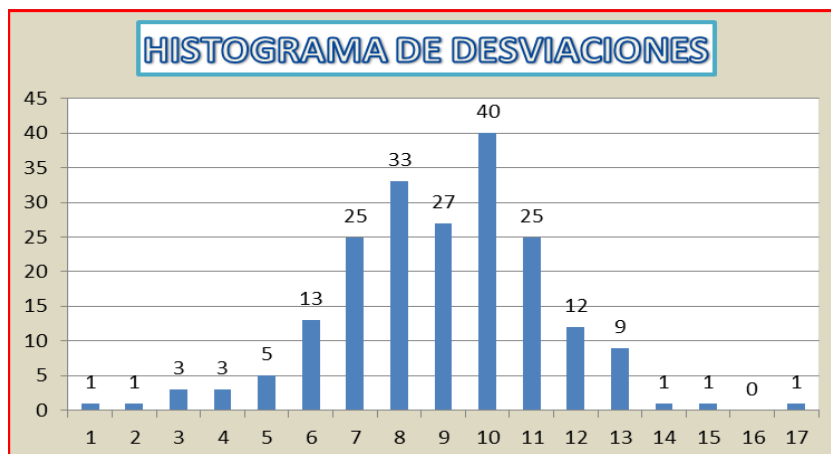
Figura IV.17  
Histograma de desviaciones



Fuente: Elaboración propia

Para este otro tramo 1388+400-1388+800, indicamos que se toma en cuenta solo los picos más altos para realizar el cálculo de índice de rugosidad internacional el cual es 2.43, con ese dato calculamos el índice de servicio presente es 3.00, de la misma manera tiene un grado de serviciabilidad BUENO.

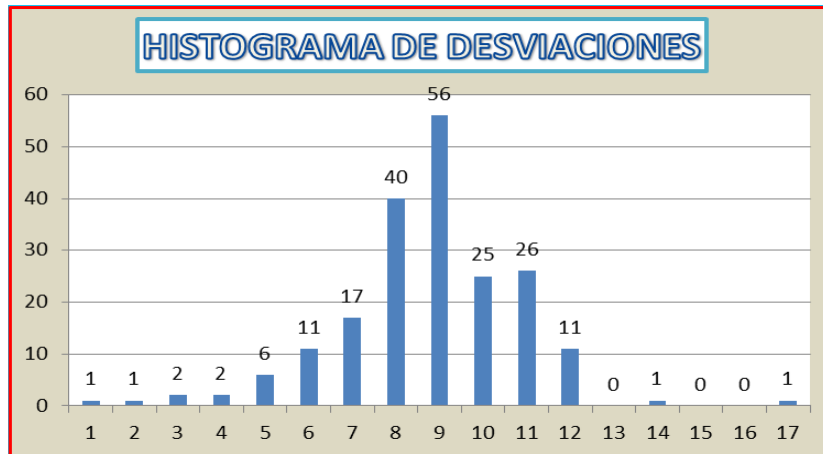
Figura IV.18  
Histograma de desviaciones



Fuente: Elaboración propia

En el carril derecho de la progresiva 1388+800-1389+200, el IRI es 2.15 con ello el PSI es 3.00 con ello se dice que esta parte de la carretera es BUENO.

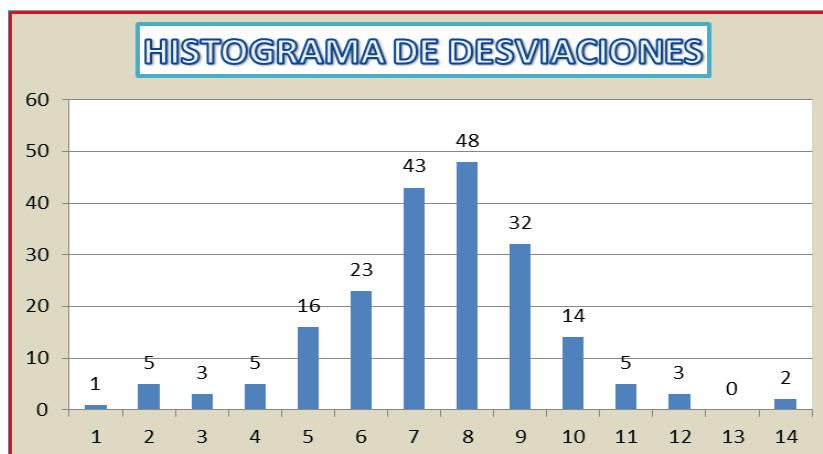
Figura IV.19  
Histograma de desviaciones



Fuente: Elaboración propia.

En el carril derecho de la progresiva 1390+000-1390+400, el IRI es 2.10 con ello el PSI es 3.00 con ello se dice que esta parte de la carretera es BUENO.

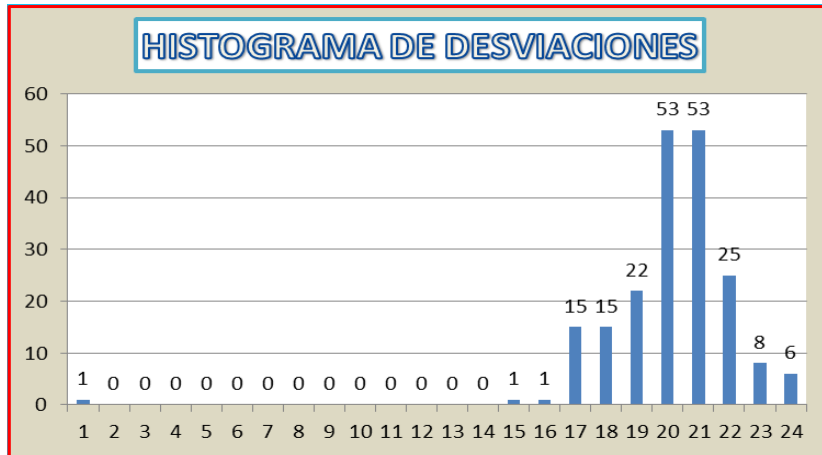
Figura IV.20  
Histograma de desviaciones



Fuente: Elaboración propia.

En el carril derecho de la progresiva 1390+400-1390+800, el IRI es 2.01 con ello el PSI es 3.00 con ello se dice que esta parte de la carretera es BUENO.

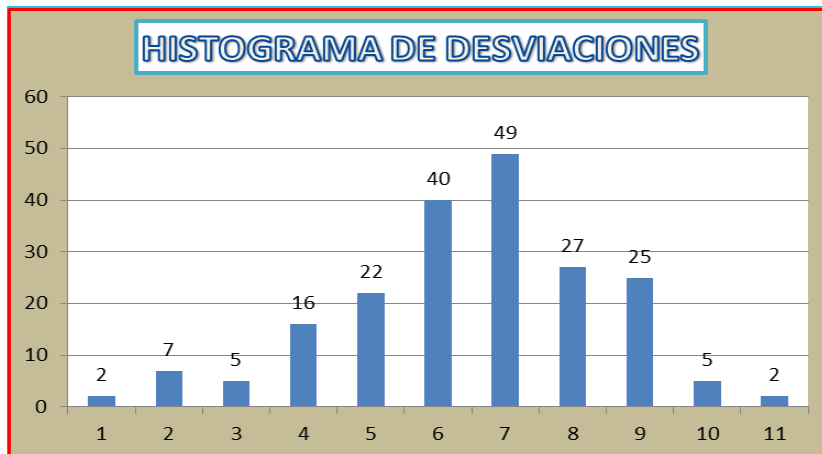
Figura IV.21  
Histograma de desviaciones



Fuente: Elaboración propia.

En el carril izquierdo de la progresiva 1389+000-1389+400, el IRI es 2.16 con ello el PSI es 3.00 con ello se dice que esta parte de la carretera es BUENO.

Figura IV.22  
histograma de desviaciones



Fuente: Elaboración propia.

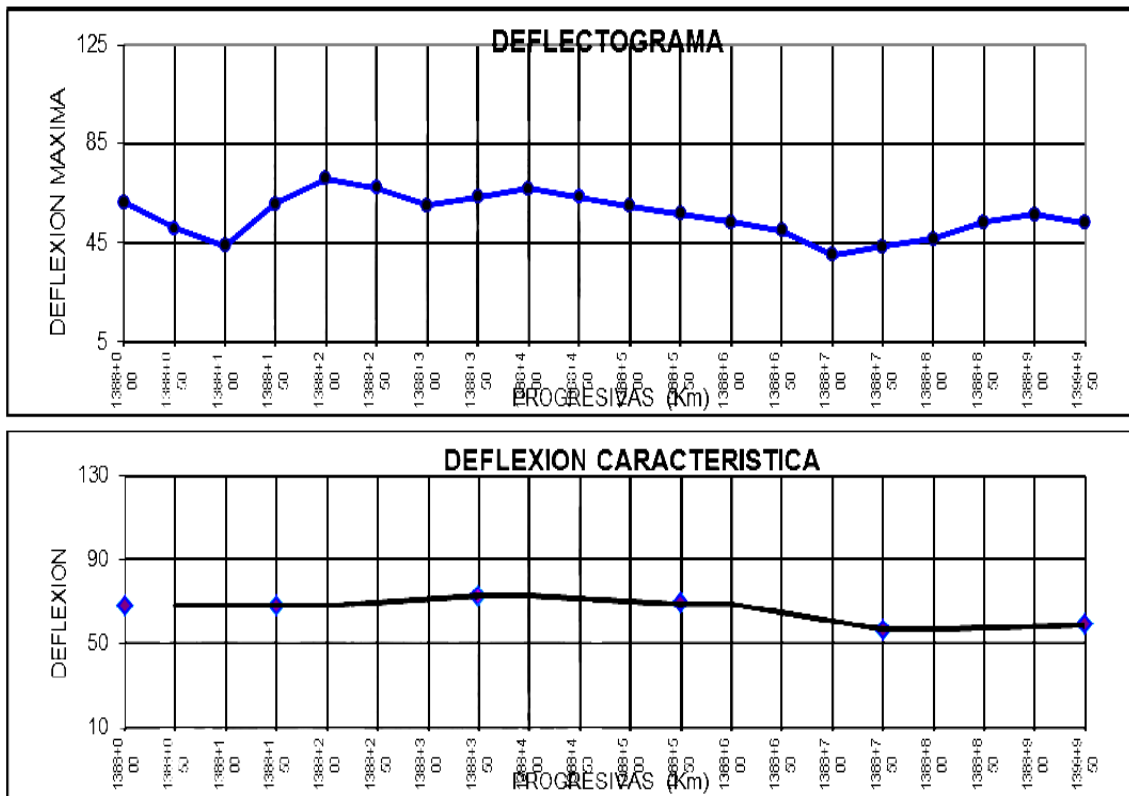
En el carril izquierdo de la progresiva 1391+800-1392+200, el IRI es 1.73 con ello el PSI es 4.00 con ello se dice que esta parte de la carretera es MUY BUENO, con esto podemos indicar que mientras más bajo sea el Índice de rugosidad internacional, el Índice de Servicio Presente es más alto.

### 4.3. RESULTADOS OBTENIDOS DEFLECTOMETRIA.

Las deflexiones comprendidas entre las progresiva 1388+000 – 1389+000, en el carril derecho tiene una deflexión promedio  $45.20 \cdot 10^{-2}$  mm esto nos indica que la capacidad de soporte es REGULAR.

Figura IV.23

Deflexión. Progresiva 1390+000 – 1391+000 carril derecho

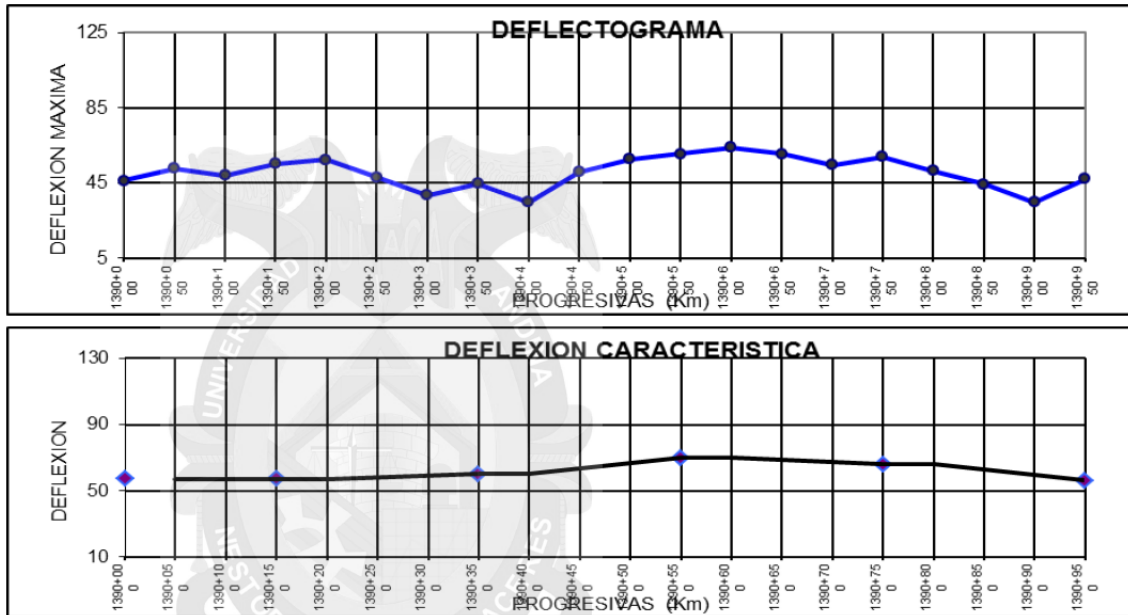


Fuente: Elaboración propia

Las deflexiones comprendidas entre las progresiva 1390+000 – 1391+000, en el carril derecho tienen una deflexión promedio  $43.80 \cdot 10^{-2}$  mm. Esto nos indica que la capacidad de soporte es REGULAR.

Figura IV.24

Deflexión. Progresiva 1390+000 – 1391+000 carril izquierdo

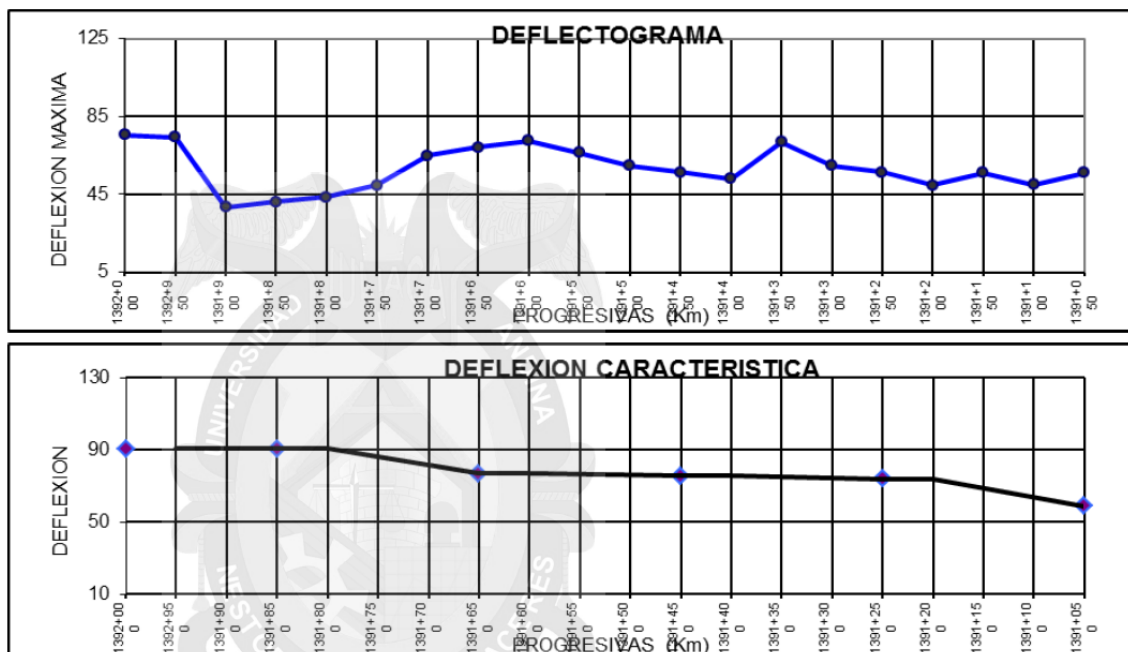


Fuente: Elaboración propia

Las deflexiones comprendidas entre las progresiva 1392+000 – 1391+000, en el carril de lado izquierdo tienen una deflexión promedio  $51.30 \cdot 10^{-2}$  mm. Esto nos indica que la capacidad de soporte es REGULAR.

Figura IV.25

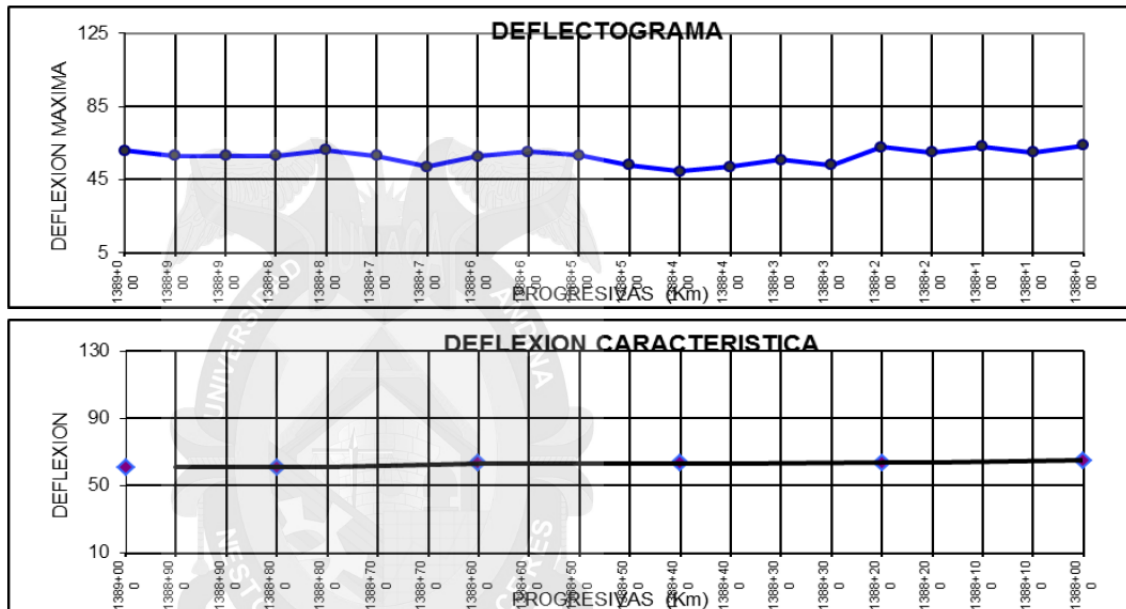
Deflexión. Progresiva 1390+000 – 1391+000 carril derecho



Las deflexiones comprendidas entre las progresiva 1389+000 – 1388+000, en el carril de lado izquierdo tienen una deflexión promedio 52.00 \* 10-2 mm. Esto nos indica que la capacidad de soporte es REGULAR.

Figura IV.26.

Deflexión. Progresiva 1389+000 – 1388+000 carril izquierdo



Fuente: Elaboración propia

El ensayo realizado con la viga benkelman nos indica que la capacidad de soporte es de grado REGULAR, para ellos mostramos los diagramas de deflexiones

Las deflexiones que se presentan en la carretera Puno – Ilave, es un indicador de las fallas en la carretera, ya que esta carretera es de alto tránsito, la carretera es un medio de comunicación para los diferentes pueblos del Sur del departamento de Puno.



## CONCLUSIONES

Tras haber desarrollado la evaluación de la vía objeto de estudio podemos llegar a las siguientes conclusiones:

**Primero:** Realizada la evaluación a la carretera Puno – Ilave, 1388+000 al 1391+000, aplicando el método no destructivo (índice de condición del pavimento, rugosidad merlin y deflexiones con la viga Benkelman), la solución más adecuada es el mantenimiento rutinario pero periódico correctivo.

**Segundo:** En el pavimento flexible de la carretera Puno – Ilave, tramo 1388+000 al 1391+000, al presentar una condición BUENO y deflexiones MUY BAJOS es deducible que no tiene problemas estructurales.

**Tercero:** Aplicando el método no destructivo del índice de condición del pavimento las fallas más significativas son: fisura longitudinal y transversal, piel de cocodrilo, parches, ahuellamiento, abultamiento y hundimiento con mayores porcentajes de incidencia y a niveles estructurales se encuentra con deflexiones muy bajas lo que indica que la carretera esta compacta.

**Cuarto:** En la carretera Puno – Ilave, tramo 1388+000 al 1391+000, se aplicó el método no destructivo con lo que se determinó un índice de condición de pavimento BUENO, circulación cómoda, con fallas incipientes como: depresiones debidas a pequeñas deformaciones, defectos y/o agrietamientos de la superficie de rodadura.

## ECOMENDACIONES

A continuación se proporcionan algunas recomendaciones que podrían ser tomadas en cuenta:

**Primero:** El criterio de deflexiones admisibles debe tomarse con sumo cuidado, puesto que utilizan formulas empíricas muy sensibles y que dependen de las condiciones zonales para los cuales fueron desarrollados. Es necesario analizar complementarios métodos racionales para verificar las capacidades estructurales del pavimento.

**Segundo:** Se tiene la falla fisura longitudinal y transversal con mayor porcentaje de incidencia para lo cual evitar para que esta de origen a las otras fallas con mayor severidad.

**Tercero:** Mantener el estado actual en el que se encuentra la carretera Puno – Ilave, tramo 1388+000 al 1391+000, para tener una serviciabilidad adecuada durante el viaje.

**Cuarto:** Realizar el mantenimiento dependiendo de los niveles de falla

## BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO, (1992), Guía para “Diseño de Estructuras de Pavimentos”, Comité Ejecutivo.
- ASTM D6433- American Society for Testing and Materials, (2003), “Procedimiento Estándar para la inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos”
- Chang Albitres C., Bustos M.,(2007), curso internacional “Evaluación económica de Proyectos Viales”, Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima
- Chang Albitres C., Bustos M.,(2007), Evaluación, Diseño, Construcción, Gestión “Pavimentos un enfoque al futuro”, Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima
- Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica, (2002), Catalogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles, volumen N°11, México
- Danieleski, M. L., (2004) “Propuesta de Metodología para la evaluación superficial de pavimentos urbanos: Aplicación a redes viales de Porto Alegre”. Tesis (Maestría Profesional en Ingeniería). Porto Alegre.
- DNIT, (2003), Departamento Nacional de Infraestructura de Transporte. Evaluación objetiva de Superficies de Pavimentos Flexibles y Semirigidos–PRO 006, Rio de Janeiro
- DNIT, (2003), Departamento Nacional de Infraestructura de Transporte. Términos de defectos en Pavimentos Flexibles y Semirigidos–PRO 005, Rio de Janeiro
- GERMAN VIVAR ROMERO “Diseño y Construcción de Pavimentos” Lima –

Perú 1991

GERMAN VIVAR ROMERO – WILFREDO GUTIERREZ LAZARES “  
Pavimentos de Concreto y Asfalto Mantenimiento y Reparación” Lima  
– Perú 1ra Edición 1996

Gutiérrez Lázares J.W. (2007), “Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú”, Tesis de Maestría FIC- UNI. Lima

INVIAS, Instituto Nacional de Vías, (2002), “Guía Metodológica Para El Diseño De Obras De Rehabilitación De Pavimentos Asfálticos De Carreteras”. Colombia.

Kraemer C., Pardillo J.M., Rocci S., Romana M., Sánchez V.(2004), Ingeniería de Carreteras Vol. II. Mc. Graw Hill. España.

Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, (2010), Secretaria de Integración Económica Centroamericana SIECA.

Menéndez Acurio J.R.,(2009), “Ingeniería de Pavimentos”, materiales, Diseño y Conservación, Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima.

MTC, (2001),Proyecto Sistema de Gestión de Carreteras, Normas y Manuales técnicos Subsistema de Inventario Calificado Volumen 3: Anexo 3 a 12, Asociación BCEOM – OIST, Lima.

MTC.,(2005),“Estudios de Pre Inversión a nivel de Factibilidad Proyecto Mejoramiento y Rehabilitación de la Carretera Cañete – Huancayo, Ruta 22. Tramo: Lunahuaná – Dv. Yauyos Chupaca. Lima.

MTC.,(2006), Manual técnico de mantenimiento periódico para la red vial departamental no pavimentada. Lima.

- MTC.,(2008), Manual de diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito. Lima.
- MTC, Glosario de Términos de uso frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial, aprobado con R.M.N°660-2008-MTC/02.Lima.
- Pinilla valencia, Julián A., (2007), “Auscultación, Calificación Del Estado Superficial Y Evaluación Económica De La Carretera Sector Puente De La Libertad – Maltería Desde El K0+000 Hasta El K6+000”, tesis Universidad nacional de Colombia, Colombia.
- Porto Prestes, Marilez, (2001), “Métodos de Evaluación Visual de Pavimentos Flexibles – Estudio Comparativo”, Universidad Federal de Rio Grande de Escuela de Ingeniería, Tesis de Maestría. Porto Alegre.
- SEDESOL, Secretaria de Desarrollo Social, Programa de Asistencia Técnica en Transporte Urbano para las Ciudades Medias Mexicanas, “Manual de Elaboración del Inventario del Estado Funcional de Pavimentos”, Tomo VI. México.
- Solminihac Tampier, Hernán. (2001),”Gestión de infraestructura vial”, Edición N°2. Universidad Católica de Chile. Santiago.
- Tenorio Mananay Armando,(2005) “Modelos de Predicción de Deterioro de Pavimentos”, Tesis UNI-FIC. Lima.
- Visconti, Tobias, (2000),“O Sistema Gerencial de Pavimentos”, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem Instituto de Pesquisas Rodoviaras Divisao de Apoio Tecnológico- DNER. Brasil
- Vizir, (1996), “Método con ayuda de computador para la estimación de necesidades en el mantenimiento de una red carretera”, Laboratorio Central de Puentes y Carreteras (LPCP), París.

## **ANEXOS**

### **Anexo 1**

#### **MATRIZ DE CONSISTENCIA**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIEMNSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
<p><b>Problema general:</b> ¿Cuáles serán las fallas estructurales del pavimento flexible identificados por métodos no destructivos en la carretera Puno – llave, región Puno?</p> <p><b>Problema específico:</b> ¿Cuáles serán las fallas estructurales del pavimento flexible identificado con el método de deflectometría en la carretera Puno – llave, región Puno?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Evaluar las fallas estructurales del pavimento flexible por métodos no destructivos en la carretera Puno – llave, región Puno</p> <p><b>Objetivo específico:</b> Evaluar las fallas estructurales del pavimento flexible con el empleo del método de deflectometría en la carretera Puno – llave, región Puno</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> Las fallas estructurales del pavimento flexible identificados por métodos no destructivos no son significativos en la carretera Puno – llave, región Puno.</p> <p><b>Hipótesis específica:</b> Las fallas estructurales del pavimento flexible con el empleo del método de deflectometría presentan valores bajos en la carretera Puno – llave, región Puno</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE (x) Métodos no destructivos</p>	<p>pavimento flexible</p>	<p>Fallas en la estructura</p>	<p><b>TIPO:</b> Cuantitativa, aplicado,</p> <p><b>NIVEL:</b> Descriptivo.</p> <p><b>DISEÑO:</b> No Experimental, Evaluativa</p> <p><b>MÉTODO:</b> Deductivo-inductivo</p> <p><b>POBLACIÓN:</b> Via asfaltado Puno - llave</p> <p><b>MUESTRA:</b> Tramo 1388+000 al 1391+000</p> <p><b>TÉCNICAS:</b> Observación Estructurada calculos</p> <p><b>INSTRUMENTOS:</b> Fichas De Observación</p> <p><b>PROCEDIMIENTOS:</b> Varianza. Desviación estándar</p>
<p>¿Cuáles serán las fallas estructurales del pavimento flexible con la aplicación del método PCI en la carretera Puno – llave, región Puno</p> <p>Evaluar las fallas estructurales del pavimento flexible con el empleo de Rugosímetro Merlin en la carretera Puno – llave, región Puno</p>	<p>Las fallas estructurales del pavimento flexible con la aplicación del método PCI presenta calificación buena en la carretera Puno – llave, región Puno</p> <p>Las fallas estructurales del pavimento flexible con el empleo de Rugosímetro Merlin presenta grado de servicialidad BUENO, en la carretera Puno – llave, región Puno</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE (y) fallas estructurales</p>	<p>Método de deflectometría</p>	<p>deflexión diales deflexion mm x 10 DR/DØ &gt; 0.7 DR/DØ &gt; 0.426</p>	<p>Excelente Muy Bueno Bueno Regular Malo Muy Malo Fallado</p>	<p><b>TIPO:</b> Cuantitativa, aplicado,</p> <p><b>NIVEL:</b> Descriptivo.</p> <p><b>DISEÑO:</b> No Experimental, Evaluativa</p> <p><b>MÉTODO:</b> Deductivo-inductivo</p> <p><b>POBLACIÓN:</b> Via asfaltado Puno - llave</p> <p><b>MUESTRA:</b> Tramo 1388+000 al 1391+000</p> <p><b>TÉCNICAS:</b> Observación Estructurada calculos</p> <p><b>INSTRUMENTOS:</b> Fichas De Observación</p> <p><b>PROCEDIMIENTOS:</b> Varianza. Desviación estándar</p>

<p>¿Cuáles serán las fallas estructurales del pavimento flexible identificados con el Rugosímetro Merlin en la carretera Puno – Ilave , región Puno?</p>	<p>Evaluar las fallas estructurales del pavimento flexible con el empleo de Rugosímetro Merlin en la carretera Puno – Ilave , región Puno</p>	<p>Las fallas estructurales del pavimento flexible con el empleo de Rugosímetro Merlin presenta grado de servicialidad BUENO, en la carretera Puno – Ilave , región Puno</p>	<p>Fallas estructurales</p>	<p>Rugosímetro Merlin</p>	<p>Bueno Regular Malo</p>
--	---	--	-----------------------------	---------------------------	---------------------------

## Anexo 2

### FICHAS DE OBSERVACION METODO PCI



PROGRESIVA	CARRIL	PIEL DE COCODRILO	EXUDACION	GRIETAS DE DEFLEXION	FISURAS DE BORDE	FISURA LONG. TRANSV.	PARCHES	BACHES	AHUELLAMIENTO	HINCHAMIENTO	ABULTAMIENTO HUNDIMIENTO
1388+000 - 1388+025	De l		4.50 H	5.50 M		3.00 M	2.50 M 1.20 L 1.50 M		1.00 L		
1388+025 - 1388+050	De l	3.50 M		2.50 M 4.00 L		1.00 M 0.50 M 1.20 M 2.00 L	1.20 M 1.50 L		1.20 L	1.00 M	1.00 L
1388+050 - 1388+075	De l	4.00 M	3.00 L	3.00 M 1.50 M 2.00 L		9.00 M			1.00 M 2.00 L	2.50 M	2.00 M
1388+075 - 1388+100	De l	3.00 M		2.00 L		5.00 M					
1388+100 - 1388+125	De l		2.50 M	1.50 L		6.00 M 2.50 L 3.00 M					
			3.00 L			1.50 L 2.00 L					
1388+125 - 1388+150	De l		1.50 M 1.00 M 1.00 M			7.50 M 2.50 L					
			1.50 L								

PROGRESIVA	CARRIL	PIEL DE COCODRILO	EXUDACION	GRIETAS DE DEFLEXION	FISURAS DE BORDE	FISURA LONG. TRANSV.	PARCHES	BACHES	AHUELLAMIENTO	HINCHAMIENTO	ABULTAMIENTO HUNDIMIENTO
1388+150 - 1388+175	De l		4.50 H	5.50 M		3.00 M	2.50 M 1.20 L 1.50 M		1.00 L		
1388+025 - 1388+050	De l	3.50 M		2.50 M 4.00 L		1.00 M 0.50 M 1.20 M 2.00 L	1.20 M 1.50 L		1.20 L	1.00 M	1.00 L
1388+050 - 1388+075	De l	4.00 M	3.00 L	3.00 M 1.50 M 2.00 L		9.00 M			1.00 M 2.00 L	2.50 M	2.00 M
1388+075 - 1388+100	De l	3.00 M		2.00 L		5.00 M					
1388+100 - 1388+125	De l		2.50 M	1.50 L		6.00 M 2.50 L 3.00 M					
			3.00 L			1.50 L 2.00 L					
1388+125 - 1388+150	De l		1.50 M 1.00 M 1.00 M			7.50 M 2.50 L					
			1.50 L								

PROGRESIVA	CARRIL	PIEL DE COCODRILO	EXUDACION	GRIETAS DE DEFLEXION	FISURAS DE BORDE	FISURA LONG. TRANSV.	PARCHES	BACHES	AHUELLAMIENTO	HINCHAMIENTO	ABULTAMIENTO HUNDIMIENTO
1388+300 - 1388+325	De l		4.50 H	5.50 M		3.00 M	2.50 M 1.20 L 1.50 M		1.00 L		
1388+025 - 1388+050	De l	3.50 M		2.50 M 4.00 L		1.00 M 0.50 M	1.20 M 1.50 L		1.20 L	1.00 M	1.00 L
						1.20 M					
						2.00 L					
1388+050 - 1388+075	De l	4.00 M	3.00 L	3.00 M 1.50 M 2.00 L		9.00 M			1.00 M 2.00 L	2.50 M	2.00 M
1388+075 - 1388+100	De l	3.00 M		2.00 L		5.00 M					
				1.50 L		6.00 M					
1388+100 - 1388+125	De l		2.50 M			2.50 L 3.00 M					
			3.00 L			1.50 L 2.00 L					
1388+125 - 1388+150	De l		1.50 M 1.00 M 1.00 M			7.50 M 2.50 L					
			1.50 L								

PROGRESIVA	CARRIL	PIEL DE COCODRILO	EXUDACION	GRIETAS DE DEFLEXION	FISURAS DE BORDE	FISURA LONG. TRANSV.	PARCHES	BACHES	AHUELLAMIENTO	HINCHAMIENTO	ABULTAMIENTO HUNDIMIENTO
1388+425 - 1388+450	De l		4.50 H	5.50 M		3.00 M	2.50 M 1.20 L 1.50 M		1.00 L		
1388+025 - 1388+050	De l	3.50 M		2.50 M 4.00 L		1.00 M 0.50 M	1.20 M 1.50 L		1.20 L	1.00 M	1.00 L
						1.20 M					
						2.00 L					
1388+050 - 1388+075	De l	4.00 M	3.00 L	3.00 M 1.50 M 2.00 L		9.00 M			1.00 M 2.00 L	2.50 M	2.00 M
1388+075 - 1388+100	De l	3.00 M		2.00 L		5.00 M					
				1.50 L		6.00 M					
1388+100 - 1388+125	De l		2.50 M			2.50 L 3.00 M					
			3.00 L			1.50 L 2.00 L					
1388+125 - 1388+150	De l		1.50 M 1.00 M 1.00 M			7.50 M 2.50 L					
			1.50 L								

PROGRESIVA	CARRIL	PIEL DE COCODRILO	EXUDACION	GRIETAS DE DEFLEXION	FISURAS DE BORDE	FISURA LONG. TRANSV.	PARCHES	BACHES	AHUELLAMIENTO	HINCHAMIENTO	ABULTAMIENTO HUNDIMIENTO
1388+550 - 1388+575	Del		4.50 H	5.50 M		3.00 M	2.50 M 1.20 L 1.50 M		1.00 L		
1388+025 - 1388+050	Del	3.50 M		2.50 M 4.00 L		1.00 M 0.50 M	1.20 M 1.50 L		1.20 L	1.00 M	1.00 L
						1.20 M					
						2.00 L					
1388+050 - 1388+075	Del	4.00 M	3.00 L	3.00 M 1.50 M 2.00 L		9.00 M			1.00 M 2.00 L	2.50 M	2.00 M
1388+075 - 1388+100	Del	3.00 M		2.00 L		5.00 M					
				1.50 L		6.00 M					
1388+100 - 1388+125	Del		2.50 M			2.50 L 3.00 M					
			3.00 L			1.50 L 2.00 L					
1388+125 - 1388+150	Del		1.50 M 1.00 M 1.00 M			7.50 M 2.50 L					
			1.50 L								

PROGRESIVA	CARRIL	PIEL DE COCODRILO	EXUDACION	GRIETAS DE DEFLEXION	FISURAS DE BORDE	FISURA LONG. TRANSV.	PARCHES	BACHES	AHUELLAMIENTO	HINCHAMIENTO	ABULTAMIENTO HUNDIMIENTO
1388+675 - 1388+700	Del		4.50 H	5.50 M		3.00 M	2.50 M 1.20 L 1.50 M		1.00 L		
1388+025 - 1388+050	Del	3.50 M		2.50 M 4.00 L		1.00 M 0.50 M	1.20 M 1.50 L		1.20 L	1.00 M	1.00 L
						1.20 M					
						2.00 L					
1388+050 - 1388+075	Del	4.00 M	3.00 L	3.00 M 1.50 M 2.00 L		9.00 M			1.00 M 2.00 L	2.50 M	2.00 M
1388+075 - 1388+100	Del	3.00 M		2.00 L		5.00 M					
				1.50 L		6.00 M					
1388+100 - 1388+125	Del		2.50 M			2.50 L 3.00 M					
			3.00 L			1.50 L 2.00 L					
1388+125 - 1388+150	Del		1.50 M 1.00 M 1.00 M			7.50 M 2.50 L					
			1.50 L								

PROGRESIVA	CARRIL	PIEL DE COCODRILO	EXUDACION	GRIETAS DE DEFLEXION	FISURAS DE BORDE	FISURA LONG. TRANSV.	PARCHES	BACHES	AHUELLAMIENTO	HINCHAMIENTO	ABULTAMIENTO HUNDIMIENTO
1388+775 - 1388+800	De l		4.50 H	5.50 M		3.00 M	2.50 M 1.20 L 1.50 M		1.00 L		
1388+025 - 1388+050	De l	3.50 M		2.50 M 4.00 L		1.00 M 0.50 M	1.20 M 1.50 L		1.20 L	1.00 M	1.00 L
						1.20 M					
						2.00 L					
1388+050 - 1388+075	De l	4.00 M	3.00 L	3.00 M 1.50 M 2.00 L		9.00 M			1.00 M 2.00 L	2.50 M	2.00 M
1388+075 - 1388+100	De l	3.00 M		2.00 L		5.00 M					
				1.50 L		6.00 M					
1388+100 - 1388+125	De l		2.50 M			3.00 M					
			3.00 L			1.50 L 2.00 L					
1388+125 - 1388+150	De l		1.50 M 1.00 M 1.00 M			7.50 M 2.50 L					
			1.50 L								

PROGRESIVA	CARRIL	PIEL DE COCODRILO	EXUDACION	GRIETAS DE DEFLEXION	FISURAS DE BORDE	FISURA LONG. TRANSV.	PARCHES	BACHES	AHUELLAMIENTO	HINCHAMIENTO	ABULTAMIENTO HUNDIMIENTO
1388+875 - 1388+900	De l		4.50 H	5.50 M		3.00 M	2.50 M 1.20 L 1.50 M		1.00 L		
1388+025 - 1388+050	De l	3.50 M		2.50 M 4.00 L		1.00 M 0.50 M	1.20 M 1.50 L		1.20 L	1.00 M	1.00 L
						1.20 M					
						2.00 L					
1388+050 - 1388+075	De l	4.00 M	3.00 L	3.00 M 1.50 M 2.00 L		9.00 M			1.00 M 2.00 L	2.50 M	2.00 M
1388+075 - 1388+100	De l	3.00 M		2.00 L		5.00 M					
				1.50 L		6.00 M					
1388+100 - 1388+125	De l		2.50 M			3.00 M					
			3.00 L			1.50 L 2.00 L					
1388+125 - 1388+150	De l		1.50 M 1.00 M 1.00 M			7.50 M 2.50 L					
			1.50 L								

### **Anexo 3**

#### **CALCULO ROGUSIMETRO DE MERLIN**











## **Anexo 4**

### **EVALUACION DEFLECTOMETRICA / VIGA BENKELMAN**

## EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA - VIGA BENKELMAN

CARGA POR EJE 8 200 kg.

RELACION DE LONGITUDES DE BF 3.43:1

FACTOR DE CORRECCION (Kv) 1.0

CARGA POR ENSAYO 4 100 kg.

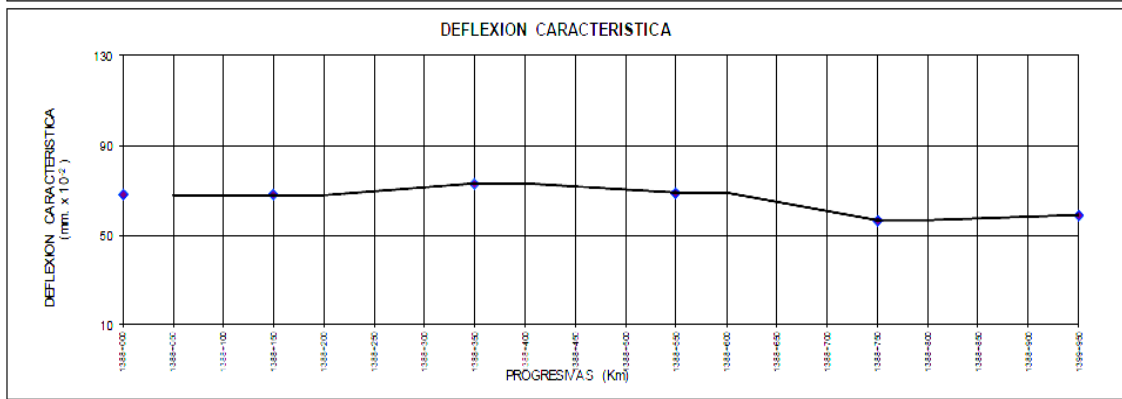
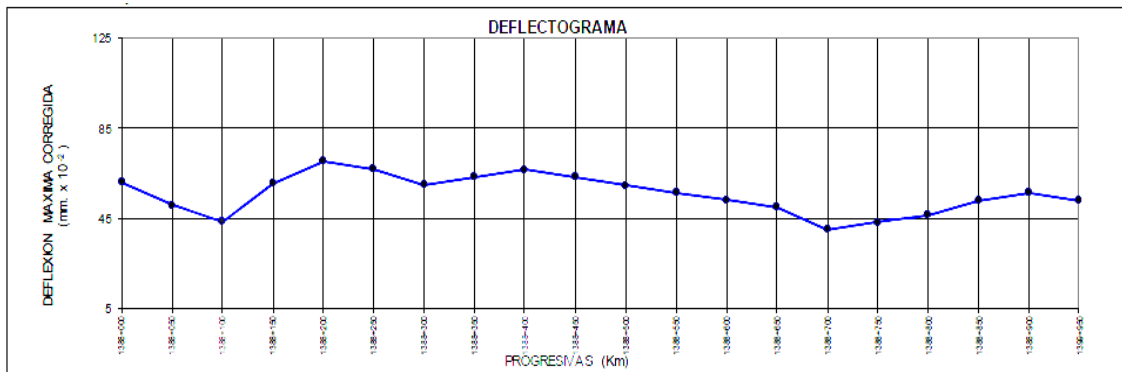
UNIDAD DE LECTURA 1/100 mm 0,01mm

DEFLEXION MAXIMA ADMISIBLE (D.M.A.)

PRESION DE INFLADO 80 psi.

1 x 10<sup>2</sup> mm

PROGRESIVA KM	LECTURA DE VIGA EN DIALES			TEMP. AMBIENTE °C	TEMP. PAVIMENTO °C	HORA	DEFLEXION DIALES		DEFLEXION mm x D <sup>2</sup>		CORRECCI ON TEMP. "K"	DEFLEXION CORREGIDA M.M. x D <sup>2</sup>					RADIO DE CURVATUR ARC (m)	TIPO SECCION			Deflexi ón Máx Admisi ble x D <sup>2</sup> mm	
	Lectura Inca Lo (0 cm)	L1 (25 cm)	L1 (75 cm)				L1 (D máx)	0 cm.	25 cm	0 cm.		25 cm	D <sub>0</sub>	D <sub>MP</sub>	D <sub>STD</sub>	D <sub>L</sub>		D <sub>H</sub>	T	CC		C 12L
1388+000	0.00	6	14	18	15.4	21.2	08:02	18.00	12	61.74	41.16	0.99	61.19				40.79	153.21				
1388+050	0.00	6	13	15	15.5	21.4	08:04	15.00	9	51.45	30.87	0.99	50.92				30.55	153.44				
1388+100	0.00	7	11	13	16.2	22.7	08:07	13.00	6	44.59	20.58	0.98	43.70				20.17	132.79				
1388+150	0.00	7	14	18	17.6	22.4	08:10	18.00	11	61.74	37.73	0.98	60.65	54.11	8.39	67.92	37.06	132.50				
1388+200	0.00	6	15	21	15.0	22.7	08:13	21.00	15	72.03	51.45	0.98	70.60				50.43	154.92				
1388+250	0.00	5	13	20	15.9	22.9	08:16	20.00	15	68.60	51.45	0.98	67.14				50.35	186.18				
1388+300	0.00	5	14	18	15.8	23.8	08:19	18.00	13	61.74	44.59	0.97	60.03				43.35	187.41				
1388+350	0.00	5	15	19	16.2	23.5	08:22	19.00	14	65.17	48.02	0.97	63.50	65.32	4.56	72.83	46.79	187.00				
1388+400	0.00	6	15	20	16.6	23.7	08:25	20.00	14	68.60	48.02	0.97	66.75				46.72	156.06				
1388+450	0.00	6	16	19	16.8	23.5	08:27	19.00	13	65.17	44.59	0.97	63.50				43.45	155.83				
1388+500	0.00	7	15	18	17.0	24.6	08:30	18.00	11	61.74	37.73	0.97	59.68				36.47	134.64				
1388+550	0.00	7	14	17	17	24.3	08:33	17.00	10	58.31	34.30	0.97	56.49	61.61	4.47	68.96	33.23	134.35				
1388+600	0.00	8	11	16	16.8	24.1	08:36	16.00	8	54.88	27.44	0.97	53.24				26.62	117.39				
1388+650	0.00	7	11	15	16.5	23.8	08:39	15.00	8	51.45	27.44	0.97	50.02				26.68	133.86				
1388+700	0.00	5	10	12	16.1	23.3	08:42	12.00	7	41.16	24.01	0.98	40.17				23.43	186.73				
1388+750	0.00	5	9	13	16.1	23.8	08:45	13.00	8	44.59	27.44	0.97	43.35	46.70	5.99	56.56	26.68	187.41				
1388+800	0.00	4	8	14	16.2	24.0	08:48	14.00	10	48.02	34.30	0.97	46.62				33.30	234.60				
1388+850	0.00	5	10	16	16.5	24.4	08:50	16.00	11	54.88	37.73	0.97	53.13				36.52	188.23				
1388+900	0.00	6	13	17	16.8	24.6	08:53	17.00	11	58.31	37.73	0.97	56.37				36.47	157.09				
1389+950	0.00	7	12	16	16.9	25.1	08:56	16.00	9	54.88	30.87	0.96	52.86	52.24	4.07	58.94	29.73	135.13				
1389+000	0.00	4	11	16	17.2	24.7	08:59	16.00	12	54.88	41.16	0.97	53.01				39.76	235.80				



PROGRESIVA KM	LECTURA DE VIGA EN DADES			TEMP. AMBIENTE °C	TEMP. PAVIMENTO °C	HORA	DEFLEXION DIALES		DEFLEXION mm x D <sup>2</sup>		CORRECCION TEMP. °K	DEFLEXION CORREGIDA M.M. x D <sup>2</sup>					RADIO DE CURVATURA ARC (m)	TIPO SECCION			Deflexion Maxima Admisible x D <sup>3</sup> /mm	
	Lectura Inicial (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)				L (Dmax)	0 cm.	25 cm.	0 cm.		25 cm.	D <sub>0</sub> 0 cm.	DMP D <sub>1</sub>	DSTD D <sub>std</sub>	D <sub>v</sub>		D <sub>n</sub> 25 cm.	T	CC		C V2L
1390+000	0.00	5	11	14	16.8	25.1	09:14	14.00	9	48.02	30.87	0.96	46.25				29.73	189.19				
1390+050	0.00	6	12	16	16.7	25.5	09:16	16.00	10	54.88	34.30	0.96	52.71				32.94	158.11				
1390+100	0.00	5	11	15	16.9	26.5	09:19	15.00	10	51.45	34.30	0.95	49.06				32.71	191.10				
1390+150	0.00	7	14	17	16.6	27.5	09:22	17.00	10	58.31	34.30	0.95	55.20	50.80	3.95	57.30	32.47	137.48				
1390+200	0.00	8	15	18	16.4	29.9	09:25	18.00	10	61.74	34.30	0.93	57.47				31.93	122.34				
1390+250	0.00	8	13	15	16.6	29.6	09:28	15.00	7	51.45	24.01	0.93	47.99				22.40	122.08				
1390+300	0.00	7	11	12	16.8	29.5	09:31	12.00	5	41.16	17.15	0.93	38.42				16.01	139.43				
1390+350	0.00	8	12	14	16.9	30.1	09:34	14.00	6	48.02	20.58	0.93	44.64	47.13	7.95	60.21	19.13	122.51				
1390+400	0.00	4	9	11	17.2	31.5	09:37	11.00	7	37.73	24.01	0.92	34.73				22.10	247.41				
1390+450	0.00	6	11	16	17.5	30.2	09:39	16.00	10	54.88	34.30	0.93	50.98				31.86	163.46				
1390+500	0.00	5	12	18	18.7	29.6	09:42	18.00	13	61.74	44.59	0.93	57.59				41.60	195.34				
1390+550	0.00	7	15	19	17.5	30.1	09:45	19.00	12	65.17	41.16	0.93	60.58	50.97	11.54	69.96	38.26	140.01				
1390+600	0.00	8	16	20	16.7	29.9	09:48	20.00	12	68.60	41.16	0.93	63.86				38.32	122.34				
1390+650	0.00	8	15	19	16.9	30.1	09:51	19.00	11	65.17	37.73	0.93	60.58				35.07	122.51				
1390+700	0.00	7	15	17	17.1	29.5	09:54	17.00	10	58.31	34.30	0.93	54.43				32.02	139.43				
1390+750	0.00	7	15	17	16.9	18.8	09:57	17.00	10	58.31	34.30	1.01	58.84	59.43	3.93	65.89	34.61	128.98				
1390+800	0.00	6	13	16	16.9	28.6	10:00	16.00	10	54.88	34.30	0.94	51.55				32.22	161.64				
1390+850	0.00	7	12	14	17.5	30.8	10:02	14.00	7	48.02	24.01	0.93	44.42				22.21	140.70				
1390+900	0.00	6	10	11	17.5	31.9	10:05	11.00	5	37.73	17.15	0.92	34.64				15.74	165.40				
1390+950	0.00	7	11	15	16.8	32.4	10:08	15.00	8	51.45	27.44	0.91	47.07	44.42	7.16	56.19	25.11	142.26				
1391+000	0.00	5	11	14	16.6	32.5	10:11	14.00	9	48.02	30.87	0.91	43.90				28.22	199.30				

